

INNOVACIÓN PARA UN DESARROLLO URBANO SENSIBLE AL AGUA

EMALCSA#120



**EMPRESA MUNICIPAL DE AGUAS DE LA
CORUÑA (EMALCSA)**

LÍNEA DE FOMENTO DE LA INNOVACIÓN DESDE LA DEMANDA - PROGRAMA
OPERATIVO PLURIREGIONAL DE ESPAÑA (POPE) FEDER 21-27



INDICE

1. RESUMEN	5
2. OBJETIVOS	6
2.1 Objetivos globales	6
2.2 Objetivos específicos	8
3. DESCRIPCIÓN TÉCNICA.....	12
3.1 Necesidad del proyecto. Antecedentes	12
3.2 Razones que justifican el desarrollo del proyecto para la mejora del servicio público administrado por el organismo comprador.....	17
3.3 Justificar el encuadre del Proyecto en la Estrategia Española del Ciencia Tecnología e Innovación 2021-2027 (EECTI) y en el Plan Estatal de Investigación Científica, Técnica y de Innovación (PECTI), que conforman la Estrategia de Especialización Inteligente de España	30
3.4 Si se trata del desarrollo de un nuevo producto o un nuevo proceso, describir el producto o proceso precedente si lo hubiese. Describir la tecnología o TIC que se pretende desarrollar con la determinación de las especificidades funcionales (según UNE-EN 16271:2023) y el estado o fase de la evaluación tecnológica, con mención expresa justificada de los niveles TRL de los que se parte y los que se espera alcanzar conforme al anexo G del Programa de Trabajo Horizonte 2020 UE-H2020.	40
3.4.1 Descripción del producto o proceso precedente	40
3.4.2 Descripción de la tecnología que se pretende desarrollar.....	41
3.4.3 Justificación de los TRLs	62
3.5 Describir el nuevo producto, proceso o servicio o la mejora de los mismos, con sus principales características y técnicas y funcionales, destacando los aspectos diferenciales más significativos y los riesgos tecnológicos potenciales. Reseñar aspectos ergonómicos y de diseño en su caso, así como la sujeción a normas y homologaciones	63
3.5.1 Describir el nuevo producto o servicio. También ponemos aquí los aspectos diferenciales más significativos, y los riesgos tecnológicos.....	63
3.5.2 Aspectos ergonómicos y de diseño en su caso, así como la sujeción a normas y homologaciones.....	71
3.6 Definir, ponderar y relacionar hitos técnicos y presupuesto económico.....	74
3.7 Si es posible adjuntar un croquis general inicial o diagrama de bloques (no definitivo) del producto, proceso o servicio.....	75
4. PARA LOS PROYECTOS O FASES DEL PROYECTO DE COMPRA PÚBLICA PRECOMERCIAL: INVESTIGACIÓN CIENTÍFICA, ORIENTADA AL SERVICIO PÚBLICO, PARA EL DESARROLLO O MODIFICACIÓN DE LAS TECNOLOGÍAS NO COMERCIALIZADAS.....	77

4.1	Necesidad de abordar fases científicas del proyecto dirigidas a la obtención de tecnologías no disponibles en el mercado para la mejora del servicio público.	77
4.2	Descripción de las líneas de actuación en investigación del proyecto destinadas a la obtención de tecnologías no comercializadas hasta el momento	83
4.3	Descripción de las tecnologías no comerciales a desarrollar. Características funcionales a alcanzar en cada uno de los productos, procesos o servicios.	96
4.4	Tareas para la obtención de nuevas tecnologías o modificaciones	97
5.	PARA LOS PROYECTOS O FASES DEL PROYECTO DE COMPRA PÚBLICA DE TECNOLOGÍA INNOVADORA: INNOVACIONES TECNOLÓGICAS DEL PROYECTO Y TECNOLOGÍA A APLICAR.....	99
5.1	Innovaciones tecnológicas que presenta el proyecto (señalar si las innovaciones son a nivel nacional o internacional) y ventajas para el solicitante ..	99
5.2	Indicar las tecnologías más significativas incorporadas, indicando expresamente si se incorporan innovaciones o conocimientos previos propiedad del solicitante, o previstas para desarrollar en el proyecto	101
5.3	Descripción del estado de desarrollo de estas tecnologías entre las empresas de la competencia a nivel nacional e internacional.	104
5.4	Si se va a patentar la tecnología desarrollada en el proyecto señalar que diferencias más importantes existen con otras patentes. Descripción de posibles modelos de utilidad a solicitar a la OEPM, desarrollados por el proyecto	106
5.5	Referencias bibliográficas más relevantes Innovaciones tecnológicas que presenta el proyecto.....	109
6.	IMPACTO SOCIOECONÓMICO DEL PROYECTO	112
6.1	Descripción de las ventajas económicas, sociales e innovadoras o competitivas para el servicio público beneficiado.	112
6.2	Valoración económica de los beneficios y ahorros sociales obtenidos, sean beneficios nuevos o mejoras por ahorros producidos directamente en la explotación del servicio público afectado, a causa de la implementación del proyecto. Análisis técnico-económico por aplicación de criterios estándar para la selección de inversiones: VAN, TIR, plazo de recuperación de la inversión, etc. Incluir un ACB a quince años con tasa de descuento del 4% lineal.	116
6.3	Descripción y valoración de las externalidades del proyecto, como beneficios y/o ahorros obtenidos de forma indirecta en otros ámbitos de la sociedad.....	120
7.	EJECUCIÓN DEL PROYECTO Y CRONOGRAMA	121
7.1	Plan de trabajo. Líneas de actuación	121
7.2	Estructura propia. Recursos, personal y departamentos adscritos al proyecto con identificación de roles y trabajos.....	121
7.3	Para cada línea de actuación: Descripción detallada de las tareas a realizar para la obtención del nuevo o mejorado producto, proceso o servicio, con énfasis en las novedades tecnológicas e innovadoras.	122

7.4	Nuevas contrataciones.....	124
7.5	Empleo inducido por proyecto de CPI.....	125
7.6	Cronograma	127
7.7	Plan de comunicación y publicidad	128
7.8	Medidas de la lucha contra el fraude implantadas o a implantar	134
8.	PRESUPUESTO.....	136
8.1	Relacionar desagregadamente en un cuadro las líneas de trabajo, licitaciones CPI y cronograma con los hitos técnicos y presupuesto económico reflejados en el apartado 3.6. Para cada línea de trabajo, detallar las inversiones materiales e inmateriales y los gastos en personal, materiales y otros necesarios, aun no siendo elegibles.....	136
9.	RESULTADOS ESPERADOS.....	137
9.1	Nuevas tecnologías o modificaciones desarrolladas	137
9.2	Nuevos bienes o servicios innovadores en mercado.	140
9.3	Mejoras del servicio público	141
9.4	Impactos e indicadores. Identificación, construcción, metodología y resultados esperados.	143
9.5	Estimación de indicadores de realización y resultado FEDER.....	144
9.6	Despliegue, estimaciones numéricas y presupuestarias.....	145

1. RESUMEN

El objetivo principal del proyecto **Emalcsa#120** es establecer una conexión integral entre el ciclo natural del agua y su evolución en un contexto de lucha contra el cambio climático, protección del medio ambiente y biodiversidad, así como garantizar la calidad sanitaria del agua en medio de la emergencia de nuevos contaminantes y amenazas. Estos desafíos representan un nuevo enfoque para la estrategia de mejora continua de la compañía.

Para lograrlo, el proyecto propone tres líneas de desarrollo interrelacionadas, las cuales se llevarán a cabo simultáneamente y se enmarcan en dos desafíos tecnológicos globales.

RETO 1: Monitorización sistemas de agua

- **Sistemas inteligentes en redes de agua basados en conducciones con capacidades mejoradas:** El objetivo principal es diseñar, desarrollar e implementar un sistema innovador de conducción para el transporte de agua potable, con mejoras en sus características estructurales y capacidades de autodetección.

- **Plataforma automatizada de estaciones de alerta temprana para monitorización de aguas:** El objetivo es implementar plataformas de bajo coste con soportes configurables altamente flexibles y desarrollar algoritmos para el seguimiento e interpretación de parámetros cualitativos y cuantitativos del agua y sus procesos. Esto se llevará a cabo en el contexto de los sistemas urbanos de agua, como parte integral de la gestión del suministro de agua a la población.

RETO 2: Mejoras en los sistemas de bombeo

- **Sistema Integrado de Bombeo en Régimen Hiperlaminar (SIBRH):** El objetivo es desarrollar una tecnología de bombeo de líquidos que consuma una fracción de la potencia eléctrica utilizada por los sistemas de bombeo actuales, incluso los más eficientes. Esto se logrará mediante un cambio en el régimen del flujo que circula por las tuberías, pasando de un flujo turbulento a uno laminar, caracterizado por altos niveles de caudal.

Enfrentar estos desafíos permitirá a EMALCSA crear soluciones innovadoras que faciliten la gestión integrada del ciclo del agua, promoviendo el progreso social y la conservación del medio ambiente. Esto asegurará la continuidad y la calidad del servicio de abastecimiento de agua en un entorno cada vez más exigente.

2. OBJETIVOS

2.1 Objetivos globales

El proyecto **Emalcsa#120** se plantea como parte de la estrategia de la Empresa Municipal de Aguas de La Coruña (en adelante, EMALCSA), con el objetivo de desarrollar tecnologías innovadoras orientadas al sector del agua, que impulsen plenamente el potencial de la eficiencia energética, las actividades de I+D, la reducción de costes, la optimización en el uso de los recursos o la gestión integrada de los sistemas de agua urbana, como factor de crecimiento económico y competitividad, de innovación tecnológica y científica y sobre todo de una mejor prestación de servicios públicos a los ciudadanos.

El objetivo global del proyecto es conectar la **interacción entre el ciclo natural del agua, y su evolución en un escenario de lucha contra el cambio climático, la protección del medio ambiente y la biodiversidad o la garantía de calidad sanitaria del agua** en un contexto de aparición de nuevos contaminantes y amenazas, que suponen un nuevo horizonte en cuanto a la estrategia de la compañía para su proceso de mejora constante.

Teniendo en mente este objetivo global, los 2 retos tecnológicos en los que se estructura el proyecto **Emalcsa#120** se fundamentan en impulsar el desarrollo de actuaciones de innovación para contribuir a la mejora de los servicios públicos a la ciudadanía:

RETO 1: Monitorización sistemas de agua.

- **Subreto 1.1: Sistemas inteligentes en redes de agua basados en conducciones con capacidades mejoradas**, cuyo objetivo global es el diseño, desarrollo e implementación de un sistema de conducciones innovadoras destinadas al transporte de agua potable que presenten características estructurales y de autodetección mejoradas. El enfoque innovador se centra en la utilización del propio sistema de tuberías y los elementos de unión de las canalizaciones como dispositivos transmisores de la información de la red de aguas. Por otro lado, se pretende que el sistema de tuberías a desarrollar esté completamente monitorizado y sirva de elemento generador de inteligencia en relación con todas las incidencias de la red y parámetros de gestión de uso habitual. De esta manera el sistema actuará de forma proactiva y predictiva, mejorando la calidad del agua y evitando que uno de los recursos cruciales para la población como es el recurso hídrico se pierda por posibles fugas o intrusiones no detectadas (o detectadas de forma tardía) en las canalizaciones.
- **Subreto 1.2: Plataforma automatizada de estaciones de alerta temprana para monitorización de aguas**, con el objetivo global de implementar plataformas de bajo coste que presenten soportes configurables de alta flexibilidad y desarrollar algoritmos para el seguimiento/interpretación de parámetros

cualitativos y cuantitativos del agua y sus procesos, en el contexto de los sistemas de agua urbanos como elementos de integración de la gestión del abastecimiento a la población. De esta forma, se optimizan los recursos demandados por las instalaciones del sistema de agua urbana (concepto DUSA) y se impulsan los procesos para la optimización de la calidad del agua y el servicio. La implementación de plataformas automatizadas de monitorización del agua ayudará a minimizar el riesgo derivado de la pérdida de calidad del agua, tanto en el ámbito de las aguas naturales como de las aguas tratadas, mediante el control en tiempo real de los parámetros relevantes que contribuyan a una mayor eficiencia de las operaciones de tratamiento y distribución, y con ello, a una mayor eficiencia y seguridad en todos los procesos relacionados con el abastecimiento a la población y a la protección del medio natural.

RETO 2: Mejoras en los sistemas de bombeo

➤ **Subreto 2.1: Sistema Integrado de Bombeo en Régimen Hiperlaminar (SIBRH).**

El principal objetivo de esta línea de desarrollo es el de obtener una nueva tecnología de bombeo de líquidos, que consuma una fracción de la potencia eléctrica que emplean los sistemas actuales de bombeo, incluso los más eficaces. Se propone desde un planteamiento disruptivo, en el que se promueve un ahorro significativo en la potencia eléctrica consumida, pero no de la mano de bombas más eficaces, sino actuando sobre el origen mediante desarrollos que posibiliten el **cambio de régimen del flujo que circula por las tuberías**. En las tecnologías habituales el transporte de los líquidos, para el caso de impulsiones forzadas, se realiza en régimen turbulento. La presente propuesta propone transportarlos en régimen laminar, el cual presenta muchas menos pérdidas de carga, y por lo tanto de energía, que el primero. Es la propia naturaleza la que singulariza al régimen laminar como el más eficaz desde el punto de vista energético, aunque también la propia naturaleza favorece la transición al régimen turbulento cuando el caudal aumenta. Se pretende, en este proyecto, revertir esa predisposición natural de los flujos a volverse turbulentos y forzarlos a que se mantengan en el régimen laminar (flujo hiperlaminar). Por tanto, el principal objetivo global consiste en **desarrollar un Sistema Integrado de Bombeo en Régimen Hiperlaminar (SIBRH), capaz de cubrir las necesidades de abastecimiento de agua de EMALCSA**. La implantación de dicho SIBRH significaría un ahorro muy significativo en los costes operativos de EMALCSA, que se aplicaría año tras año, amortizándose en un breve periodo de tiempo las inversiones necesarias para fabricar e implantar un SIBRH en una red de distribución de aguas de la envergadura como la que gestiona EMALCSA.

El abordaje de estos retos permitirá a EMALCSA **desarrollar soluciones innovadoras que faciliten la gestión integrada del ciclo del agua y que contribuyan al progreso de la sociedad y a la conservación del medio natural, garantizando la continuidad y calidad en la prestación del servicio de abastecimiento de agua en un contexto más exigente.**

De esta forma, el alcance del proyecto **Emalcsa#120**, se ajusta a las finalidades de las ayudas objeto de la convocatoria FID, ya que se plantea el desarrollo y adquisición de tecnologías innovadoras que:

- a) **Mejorarán la eficacia y la eficiencia de los servicios públicos** ofrecidos por la Empresa Municipal de Aguas de La Coruña (EMALCSA).
- b) **Fomentará la innovación y la competitividad empresarial**, atrayendo fondos para la I+D+i empresarial mediante las contrataciones asociadas al proyecto.
- c) **Reforzará la comercialización** de las innovaciones, empleando a EMALCSA como entidad de referencia en la gestión de los sistemas de agua urbanos, para el desarrollo de soluciones que aumenten la eficiencia de los procesos, optimicen y garanticen los niveles de calidad del agua gestionada, maximicen las características de sostenibilidad medioambiental de sus instalaciones e impulsen el compromiso social de los servicios públicos ofrecidos, de manera que puedan ser adaptadas en el futuro a otras áreas, aplicaciones y ámbitos de actuación.
- d) **Estimulará el emprendimiento y la innovación**, incluyendo en este ámbito a las PYMES y a los centros de investigación del sistema gallego.

2.2 Objetivos específicos

Los objetivos específicos del proyecto **Emalcsa#120**, se pueden dividir en dos ámbitos, desde un punto de vista estratégico y desde un punto de vista técnico.

Así, **desde un punto de vista estratégico**, los objetivos específicos se resumen en:

- **Desarrollar sistemas de monitorización avanzada** para la gestión integral de los sistemas agua urbanos desde un enfoque holístico, garantizando la optimización y conservación de recursos hídricos y minimizando las pérdidas a lo largo de la red de distribución.
- **Implementar sistemas inteligentes en redes de agua** que permitan una monitorización constante de la calidad del agua. Esto asegura un suministro de agua potable de alta calidad y cumplir con los estándares ambientales y sanitarios, más allá de los requerimientos legales y con una

fuerte influencia en la confianza de la sociedad en las actividades de los servicios públicos.

- **Mejorar los sistemas de bombeo** mediante el desarrollo de tecnologías que mejoren la eficiencia energética de los procesos de distribución de agua a través del uso del régimen laminar. De esta forma, se puede aumentar la eficiencia energética, reducir los costes operativos y minimizar el impacto ambiental asociado con el consumo energético.
- Establecer una plataforma automatizada de **estaciones de alerta temprana** para la monitorización de la calidad de las aguas, que contribuya a aumentar la resiliencia ante eventos climáticos extremos y desastres naturales, permitiendo respuestas rápidas y efectivas.
- Alinear los desarrollos con los **objetivos de sostenibilidad** y las normativas ambientales vigentes, asegurando la gestión responsable del recurso hídrico y cumpliendo con las regulaciones locales y europeas.
- **Fomentar la innovación en el ámbito tecnológico del agua** como recurso esencial para la vida, incorporando sistemas inteligentes, tecnologías eficientes y soluciones integradas y avanzadas para la gestión del ciclo del agua.
- Implementar medidas para **reducir las pérdidas en la red** de distribución, mejorando la eficiencia operativa y disminuyendo los costes asociados con la gestión de agua no contabilizada.
- Impulsar la **concienciación y la participación ciudadana** en dinámicas proactivas para la implicación de la comunidad en la conservación y uso eficiente del recurso hídrico, a través de la visión DUSA, en la que la integración de los elementos naturales (cuena), deben tenerse en cuenta en los aspectos de producción (Gestión del Agua Urbana).
- Fomentar el **desarrollo de capacidades tecnológicas** en el área metropolitana de A Coruña en particular, de Galicia de manera más general, promoviendo la adopción de conocimientos avanzados y colaboraciones empresariales o científicas sobre la gestión del agua en el ámbito local.
- Fortalecer la **confianza pública** sobre la calidad del agua y la prestación de los servicios desde una visión comprometida y activa, en relación con la conservación del medio natural como elemento clave para la garantía del agua distribuida.
- Desarrollar pilotos de demostración que puedan servir como modelos replicables en otras aplicaciones e instalaciones, fomentando la adopción de **buenas prácticas en la gestión del agua**.

Por su parte, los **objetivos específicos de carácter técnico** del proyecto **Emalcsa#120** relacionados con las mejoras multidisciplinares en el despliegue de los sistemas de monitorización para control de calidad del agua:



- Disponer de **sistemas de monitorización multipropósito** que aporten características de mantenimiento predictivo y detección preventiva a los diferentes sistemas de conducción de aguas.
- Disponer de un **sistema de monitorización multiplataforma rentable y con óptimo ratio coste-beneficio**, aprovechando la inteligencia aportada tanto por los sistemas físicos como lógicos de las soluciones Emalcsa#120.
- **Desarrollo de compounds de materiales poliméricos de carácter sostenible** al emplear materiales reciclados para su obtención, principalmente de tipo poliolefínicos; con aditivos y cargas que permitan alcanzar posteriormente desarrollos de tuberías con propiedades mejoradas, principalmente con efecto barrera al oxígeno, antimicrobianas y de resistencia mecánica.
- **Desarrollo de un prototipo innovador diseñado para optimizar las propiedades de los sistemas de tubos actuales** y a su vez, servir de elemento informador de todas las incidencias ocurridas en la red, así como los parámetros de gestión de uso habitual. El sistema final, no sólo contribuirá de manera eficiente a una mejor gestión del agua, sino también de manera muy importante a evitar todas las acciones derivadas de la pérdida de ésta, cubriendo las necesidades de los sistemas de abastecimiento actuales.
- Disponer de una **red de alertas flexible y dinámica con soportes reconfigurables y con alto grado de robustez**, partiendo de configuraciones modulares en bloques de sensores que puedan intercambiarse en función de diferentes necesidades sobre una base tecnológica común.
- Implementar una **red de sistemas de limpieza y mantenimiento de los bloques de carácter autónomo**, así como **sistemas de verificación y calibración automáticos**.
- **Ampliar el rango de parámetros** que se puedan implementar en los bloques de sensores, incluyendo **nuevos controles**, tanto para agua natural como agua potable, relacionados con **contaminantes emergentes y microplásticos**.

Desde el punto de vista de la línea de actuación sobre la **mejora funcional de los sistemas de bombeo**, para ser capaces de crear y mantener un régimen laminar de modo permanente, los **objetivos técnicos específicos** asociados, como son:

- **Desarrollar un sistema laminarizador que presente un rendimiento suficiente como para satisfacer las necesidades de** instalaciones de impulsión de aguas, como las que gestiona **EMALCSA**, y que tienen una gran importancia en la huella de carbono de la compañía y en su factura energética.
- **Acondicionar el funcionamiento de bombas estándar de agua a las necesidades del SIBRH**, mediante la sincronización de ambos elementos.
- **Diseñar y construir un sistema de control para el SIBRH** que sea adaptativo y constituido por las ecuaciones que gobiernan la evolución

del flujo hiperlaminar, de forma que permita el funcionamiento en paralelo de bomba y laminarizador.

- La consecución de soluciones de potabilización de alto rendimiento y valor tecnológico, que lleven asociadas el **abaratamiento de los costes de inversión y la reducción de la complejidad** en instalaciones existentes.
- La **optimización de las labores de mantenimiento y operación** de las instalaciones de conducción de fluidos, basada en la implementación de paradigmas más estables, y que, por lo tanto, maximicen las características de robustez y fiabilidad del sistema integral en su conjunto.
- La **mejora sustancial del rendimiento energético en los sistemas de impulsión**, introduciendo soluciones tecnológicas de alto valor añadido que van al foco en el que se pueden obtener unas mejoras más significativas, el propio flujo del fluido.

3. DESCRIPCIÓN TÉCNICA

3.1 Necesidad del proyecto. Antecedentes

La Empresa Municipal de Aguas de La Coruña (EMALCSA), es una sociedad anónima de capital municipal desde el año 1977. Nacida originariamente en el año 1903 como sociedad privada, desde el año 1967 es propiedad en exclusiva del Ayuntamiento de A Coruña. Sus competencias comprenden la gestión de forma directa del sistema de agua urbana en A Coruña y su entorno metropolitano. Dicha gestión incluye la captación, potabilización y distribución del agua y la posterior recogida de las aguas usadas, su depuración y su devolución al medio natural, en los ayuntamientos de A Coruña y Carral, así como el abastecimiento en alta a 6 ayuntamientos de su entorno metropolitana. Además, y de acuerdo con sus estatutos, presta otros servicios al propio ayuntamiento y gestiona el complejo Casa del Agua en la ciudad de A Coruña desde el año 2003. Como consecuencia del desarrollo de sus infraestructuras durante el último tercio del pasado siglo, EMALCSA es también responsable del suministro en alta a otros 7 ayuntamientos de su entorno, lo que supone una población servida de unos 400.000 habitantes.

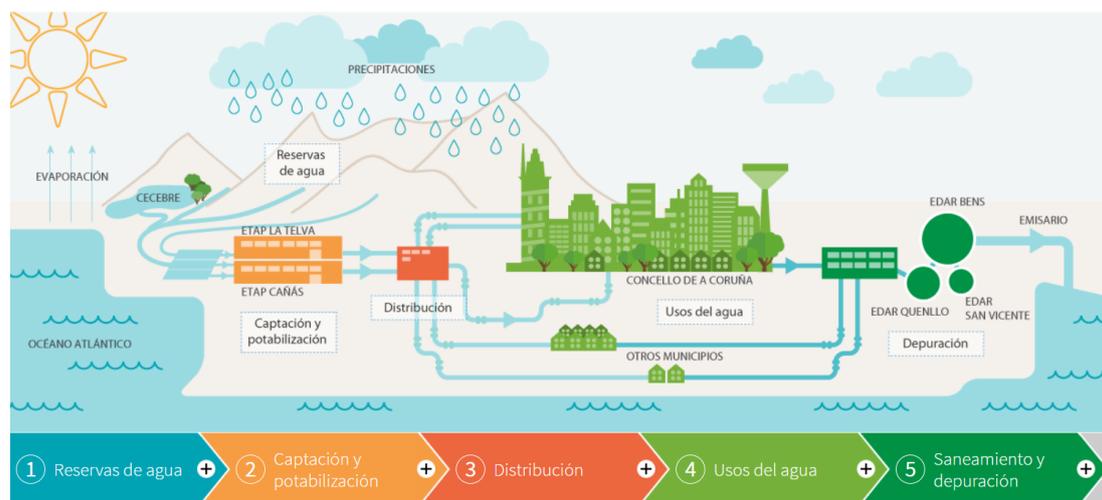


Figura 1: Esquema de las fases del ciclo integral del agua en el área metropolitana de A Coruña

Para este suministro, EMALCSA toma los recursos de acuerdo con las concesiones otorgadas de la cuenca del Río Mero y que suponen un caudal potencial de tratamiento de 2,3 m³/seg. La empresa tiene en el embalse de Cecebre su principal infraestructura de regulación, que garantiza los caudales necesarios en todos los momentos del año. La cuenca del Río Mero tiene apenas 300 km² de extensión, lo que supone que menos del 1% de la superficie de Galicia tiene la responsabilidad de abastecer al 15% de la población, lo que nos da una idea de la importancia de su protección y correcta explotación.

En sus 120 años de historia, EMALCSA ha podido desempeñar su función de abastecer de agua en cantidad y calidad suficiente a las demandas de la sociedad coruñesa, permitiendo con ello su desarrollo y crecimiento, de tal

manera que el agua no ha sido nunca un condicionante. La presencia en el área de un puerto de gran actividad, o de empresas como la cervecera Estrella Galicia, la refinería de Repsol y la embotelladora de Coca Cola, consumidores intensivos de agua, suponen la mejor demostración de la capacidad de la cuenca y de la compañía para responder, así como el crecimiento de la población y su bienestar a lo largo de diferentes momentos históricos.

Este bagaje y obligaciones que asume la empresa, suponen una gran responsabilidad de cara al futuro, dado que los retos de la sociedad moderna, relacionados con temas tan complejos como la **lucha contra el cambio climático, la protección del medio ambiente y la biodiversidad o la garantía de calidad sanitaria del agua en un contexto de aparición de nuevos contaminantes y amenazas**, suponen un nuevo horizonte en cuanto a la estrategia de la compañía en su proceso de mejora constante.

En la actualidad ya no es suficiente suministrar agua en cantidad y calidad suficiente. Ahora los retos de los operadores están del lado de la **gestión de la demanda** como herramienta de protección del recurso, la **participación social** como mecanismo para mejorar nuestra gobernanza y la **innovación** permanente como palanca para poder acometer los retos de futuro. En este contexto EMALCSA desarrolla desde hace más de 10 años una intensa actividad de I+D+i en la búsqueda de nuevas y mejores soluciones para su día a día y también para las nuevas amenazas y exigencias de su actividad. Esta actividad incluye de forma expresa la creación de alianzas y entornos de colaboración con empresas e instituciones tanto del ámbito local como regional, como enfoque multidisciplinar para alcanzar los objetivos planteados.

En este sentido, en la sociedad moderna la implicación de los gestores va más allá de captar el agua, potabilizarla y distribuirla con eficacia, y necesitan ser capaces de desarrollar modelos más sostenibles y con alta confianza social, donde las técnicas de economía circular y la descarbonización son pilares que permitan diseñar sistemáticas de **suministro de agua más eficientes, respetando el medio natural y manteniendo siempre la calidad de vida de los ciudadanos**. En base a este planteamiento, se desarrolló a través de una colaboración con el grupo GEAMA, y bajo la Dirección del profesor Dr. Joaquín Suárez un nuevo enfoque en la planificación y la gestión del agua denominado **DUSA (Desarrollo Urbano Sensible al Agua)**. Este enfoque trata de modificar la visión tradicionalmente lineal del esquema de *Ciclo Integral del Agua*, utilizado de forma universal en este sector, por otra más sistémica, donde los elementos y procesos que componen la actividad del suministro se relacionan entre sí de manera orgánica, mediante un balance permanente de entradas y salidas de recursos y buscando la optimización de los distintos elementos que componen el *mix* del agua urbana. **DUSA** trata de integrar, mediante un proceso flexible, participativo e iterativo, los elementos del sistema de agua urbana con el

desarrollo de las ciudades y la gestión de la cuenca fluvial, de manera que podamos mejorar la sostenibilidad de estos mediante la maximización de los resultados económicos, sociales y ambientales de una manera equitativa. **Este enfoque promueve una aproximación al desarrollo urbano que se adapte a las características naturales de los emplazamientos, protegiendo los ecosistemas naturales y optimizando el uso del agua.**

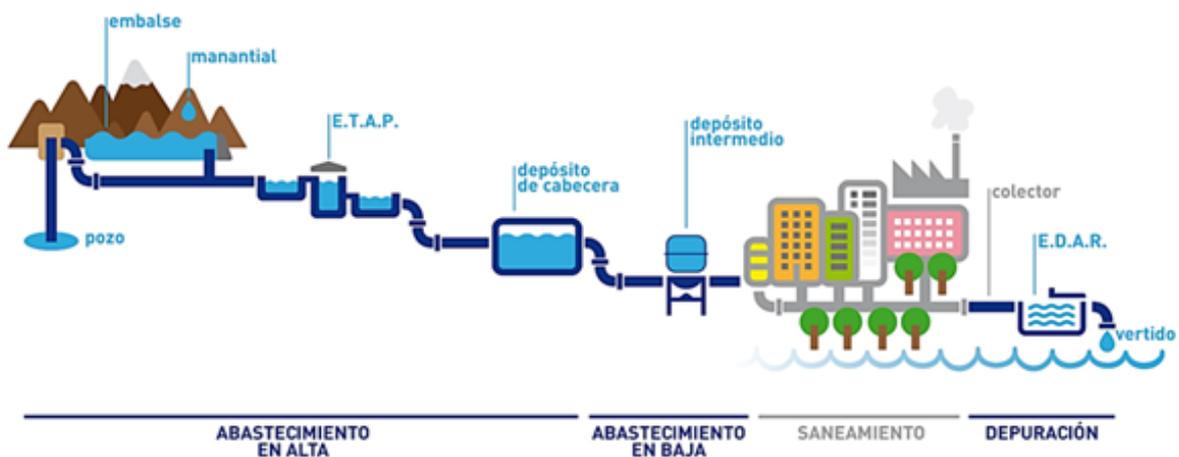


Figura 2: Visión de ciclo tradicional y representación lineal real del proceso de gestión del agua



Figura 3: Esquema genérico DUSA (J. Suárez 2017)

Si nos centramos en el ámbito del abastecimiento, el punto de oportunidad identificado actualmente se centra en la diversificación de las fuentes de suministro, pasando de una gestión orientada a la oferta a través de las fuentes naturales, a una gestión de la demanda, donde la tecnología y los hábitos suponen oportunidades de mejora y donde en la actualidad debemos dar un paso más en la búsqueda de cómo implementar estas ideas en sistemas muy apalancados en prácticas y esquemas tradicionales. Este paso está vinculado a conocer la calidad del agua, en cada ámbito, y entender que distintos usos requieren distintas calidades y eso supone en el contexto del sistema una oportunidad para mejorar las fuentes de suministro aportando agua desde otros contextos diferentes al natural.

Partiendo de este enfoque conceptual, EMALCSA plantea una serie de propuestas que permitan establecer nuevas soluciones innovadoras en distintos procesos e infraestructuras que habiliten a la empresa para prestar de forma más eficiente el servicio que tienen encomendado, desde una visión más sostenible, como la que se propone en el marco **DUSA**.

Con carácter general, los objetivos que podemos definir, dentro de los tres **ejes que definen la sostenibilidad en los sistemas de gestión de aguas**, serían:

- AMBIENTALES:

- Conservación y recuperación de espacios naturales y limitar al máximo las alteraciones de los equilibrios ecológicos.
- Racionalización de la demanda del suministro, potenciando uso de fuentes complementarias y el uso de diferentes calidades de agua para diferentes usos.
- Protección activa de las aguas superficiales y subterráneas, manteniendo la diversidad y riqueza de los hábitats.
- SOCIALES:
 - Crear entornos urbanos de mayor calidad natural.
 - Crear corredores y nodos que unan espacios de actividad social significativa.
- ECONÓMICOS:
 - Ahorro de costes en potabilización.
 - Ahorro de costes en red mediante mejora del dimensionamiento y extensión.
 - Mejora del valor de mercado de las propiedades a través de la mejora de las condiciones del entorno.
 - Mejora de la eficiencia energética en todos los procesos, tanto públicos como privados.



Figura 4: Esquema de los ejes que definen la sostenibilidad en los sistemas de gestión de aguas¹

Todos estos objetivos están directamente relacionados con la visión que EMALCSA tiene del servicio que gestiona y para lo que es necesario involucrar al sector del conocimiento para incorporar nuevas tecnologías y planteamientos, que nos permitan alcanzar los objetivos y dar respuesta a los retos planteados.

¹ <https://institutodelagua.es/recursos-hidricos/gestao-de-recursos-hidricos-para-industriarecursos-hidricos/>

En este contexto, y como se mencionaba previamente, **el proyecto Emalcsa#120 se plantea como parte de la estrategia de EMALCSA para alcanzar una gestión integrada, enfocada a mejorar y regular la interacción entre el ciclo natural del agua, y su evolución en un escenario de lucha contra el cambio climático, la protección del medio ambiente y la biodiversidad o la garantía de calidad sanitaria del agua en un contexto de aparición de nuevos contaminantes y amenazas**, que suponen un nuevo horizonte en cuanto a la estrategia de la compañía para su proceso de mejora constante. En este sentido, el desarrollo de nuevas tecnologías orientadas al sector del agua supone una oportunidad extraordinaria para **aprovechar plenamente el potencial de la eficiencia energética**, el impulso de las actividades de I+D, la reducción de costes, la optimización en el uso de los recursos o **la gestión integral del ciclo del agua, como factor de crecimiento económico y competitividad**, de innovación tecnológica y científica.

Teniendo en mente estos objetivos globales, los 2 retos generales del proyecto **Emalcsa#120** (que abordan 3 subretos en total), se fundamentan en impulsar el desarrollo de actuaciones de innovación para contribuir a la mejora de los servicios públicos a la ciudadanía, apostando por la Compra Pública de Innovación (CPI) como herramienta para ejecutar el proyecto, enfocado en las siguientes líneas de investigación y desarrollo:

RETO 1: Monitorización sistemas de agua.

- **Subreto 1.1:** Plataforma de control inteligente de la red de agua basada en sistemas de conducción con capacidades ampliadas.
- **Subreto 1.2:** Plataforma automatizada de estaciones de alerta temprana para optimizar el control de la calidad del agua y su garantía sanitaria.

RETO 2: Mejoras en los sistemas de bombeo y potabilización.

- **Subreto 2.1:** Desarrollo de piloto de demostración para bombeo de agua en régimen hiperlaminar.

El abordaje de estos retos permitirá a EMALCSA **desarrollar soluciones innovadoras que faciliten la gestión del ciclo integral del agua y que contribuyan al progreso de la sociedad y a la conservación del medio natural, garantizando la continuidad y calidad en la prestación del servicio de abastecimiento de agua en un contexto más exigente.**

3.2 Razones que justifican el desarrollo del proyecto para la mejora del servicio público administrado por el organismo comprador

Partiendo de las competencias que posee EMALCSA como entidad que gestión de forma directa el ciclo integral del agua en A Coruña y su entorno metropolitano (incluyendo la captación, potabilización y distribución del agua



y la posterior recogida de las aguas usadas, su depuración y su devolución al medio natural), en este apartado se contextualizarán y enlazarán las razones que justifican el desarrollo del proyecto **Emalcsa#120**, con los retos y subretos definidos para estructurar las necesidades actuales en los ámbitos monitorización del agua y aumento de eficiencia de las instalaciones.

RETO 1: MONITORIZACIÓN DE SISTEMAS DE AGUA

Menos del 1% de la superficie de Galicia, lo que supone la cuenca completa del Río Mero, tiene la responsabilidad de “prestarnos” el agua que permite abastecer a más de **400.000 habitantes** y una importante industria agroalimentaria y textil en el área de **A Coruña**, compuesta por 8 ayuntamientos: **Arteixo, Culleredo, Oleiros, Cambre, Sada, Bergondo y Carral**, además de la propia Coruña, que supone más de la mitad de la población abastecida.

Para llevarlo a cabo, EMALCSA dispone de recursos propios para la realización de las analíticas y controles establecidos pero, para poder realizar su labor de forma más eficaz, **siempre ha existido una alta sensibilidad hacia un mayor control de la calidad del servicio y del agua distribuida, potenciando las acciones de monitorización de la calidad de agua**, tanto en la cuenca como en distribución, en paneles instrumentados y en el desarrollo de sistemas de captación de datos de alta frecuencia, teniendo en cuenta las características propias de las condiciones orográficas de las infraestructuras de distribución en A Coruña.

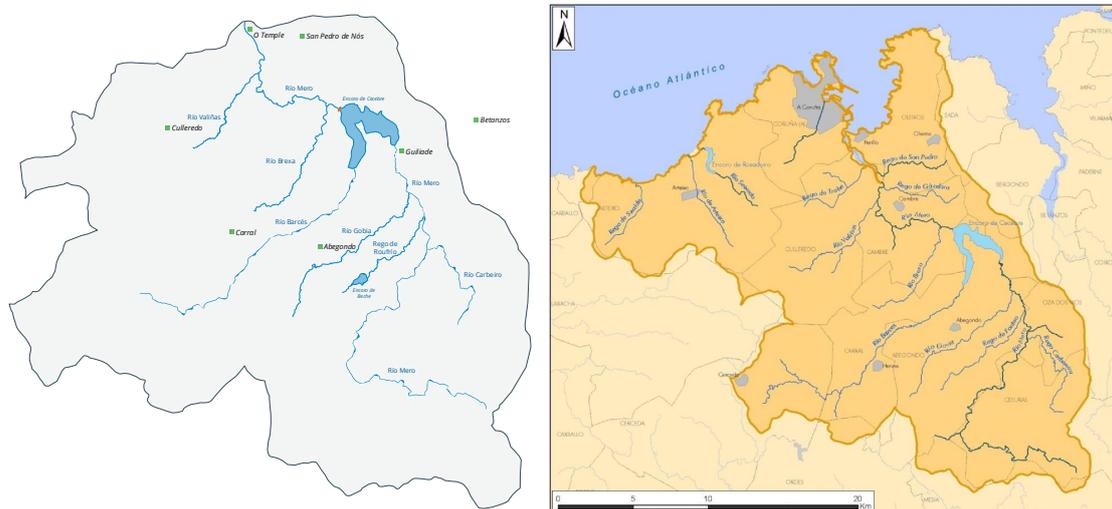


Figura 5: Cuenca del Río Mero. Superficie, con una superficie de 283,5 km² y ejemplo de sistema de abastecimiento 11, según planificación hidrológica GALICIA COSTA

En este contexto, desde hace más de 10 años, desde EMALCSA se han desarrollado, de la mano del organismo de cuenca *Augas de Galicia*, la *UNIVERSIDADE DE A CORUÑA*, y otros agentes territoriales, como la Reserva de

la Biosfera Mariñas Coruñesas e Terras do Mandeo que abarca todo el territorio, entre otros, de la cuenca del Río Mero, trabajos enfocados a la mejora del conocimiento hidrológico y limnológico con el propósito de **acondicar los tratamientos y garantizar la calidad del agua suministrada a la población en un contexto de cambios, derivados tanto de la propia dinámica de las masas de agua como de la influencia humana o de los efectos del cambio climático.**

Para su desarrollo EMALCSA ha desplegado en los últimos años, como consecuencia de su preocupación por un servicio excelente, una serie de infraestructuras de monitorización que permiten conocer, más allá de lo legalmente establecido, el comportamiento tanto cualitativo como cuantitativo de las aguas que capta y potabiliza, así como de sus dinámicas hidrológicas.

El actual sistema desplegado consta de sondas multiparamétricas en los tres puntos críticos del sistema, las dos ETAP y la Presa de Cecebre, ésta última montada sobre un perfilador que permite realizar 6 controles diarios en profundidad, con un paso de 0,5 m y una profundidad máxima de 14 m, para conocer el estado de la columna de agua. Los parámetros de interés que se monitorizan mediante estos equipos de forma estándar son:

- Oxígeno disuelto.
- Temperatura.
- pH.
- Conductividad eléctrica.
- Potencial redox.
- Turbidez.
- Concentración de clorofila.
- Concentración de ficocianina.
- Materia orgánica disuelta (fDOM).
- Nivel de profundidad.

Además, se captan datos meteorológicos como temperatura, precipitación, ETP y viento, y se realizan, mediante sondas radar, aforamientos en las colas del embalse, correspondientes a las aportaciones de los ríos Mero y su afluente el Barcés, y control de caudales mediante estimación en válvulas y compuertas de la presa, así como el agua tratada en las dos ETAP (señaladas en el mapa como WTP A TELVA y WTP CAÑAS).

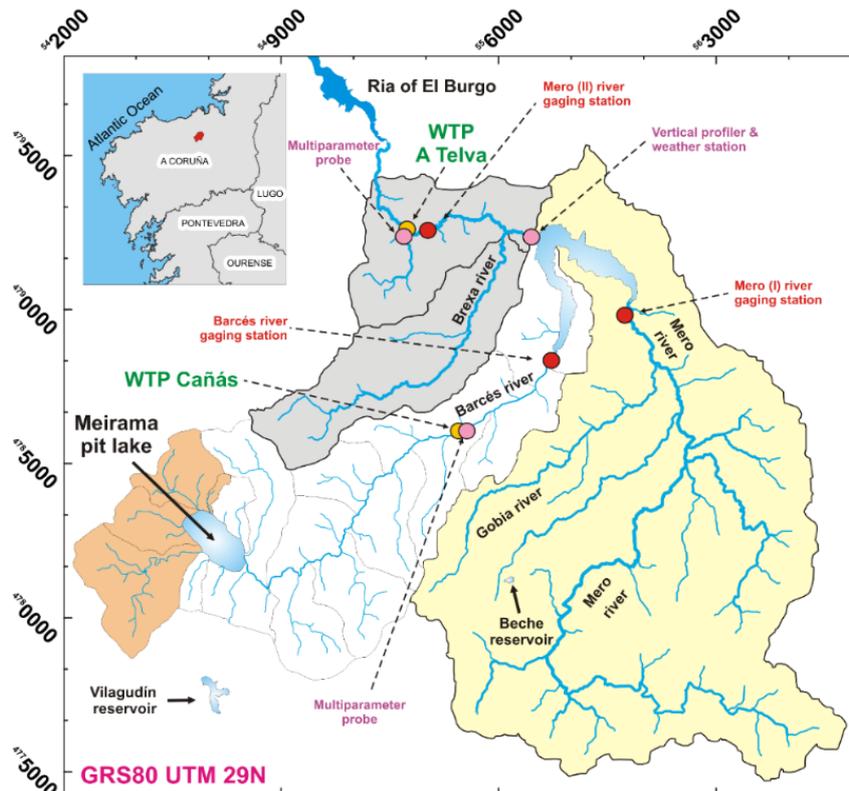


Figura 6: Configuración actual del sistema de monitorización de cuenca del Rio Mero gestionado por EMALCSA

Por otro lado, y como se destacaba previamente, el sistema que gestiona EMALCSA es responsable del suministro de agua no solo al ayuntamiento de A Coruña con sus 250.000 habitantes, sino también a los 7 ayuntamientos de su entorno metropolitano, que suponen otros 150.000 habitantes, lo que en conjunto supone casi el 15% de la población de Galicia. Para poder llevar a los ciudadanos el agua que se recoge en la cuenca y se potabiliza en las instalaciones de A Telva y Cañas, es necesaria una red de más de 600 km con un importante número de **puntos críticos**, entre los que podemos considerar:

- Los **bombes de agua** para garantizar la calidad del suministro. En este sentido, solo los que gestiona directamente EMALCSA son más de 20, pero existen también numerosas instalaciones que los ayuntamientos del entorno tienen para atender a sus necesidades.
- Los **depósitos de almacenamiento** en los distintos escalones que el sistema tiene para poder optimizar la gestión y aportar resiliencia al abastecimiento de la población.
- Los **puntos de entrega a otros gestores** de los distintos ayuntamientos. En la actualidad un operador es responsable legal de un importante número de analíticas de calidad de agua distribuida para verificar el cumplimiento de los parámetros que la reglamentación vigente obliga. Éstos se van a ver incrementados con la reciente transposición de la

directiva europea de aguas de abastecimiento al ordenamiento español, lo que pone a los operadores en la **necesidad de incrementar sus sistemas de control sobre las redes de distribución**. En el ámbito de la ciudad de A Coruña, de forma resumida la situación es la siguiente:

- 1) Todos los bombeos están telecontrolados:
 - i) Conexión radio/3G con sistemas de medición de nivel en depósitos por sondas piezométricas.
 - ii) Autómata de control, con sistema inteligente para balancear el bombeo en función de parámetros de nivel y de tarifa.
 - iii) Conexión plataforma de gestión (3G).
- 2) Además, la red está parcialmente sectorizada, de forma que un porcentaje alto de la misma está controlado en 15 puntos de entrega compuestos de:
 - I. Sensor de presión.
 - II. Caudalímetro electromagnético con rango de medida regulable.
 - III. Conexión plataforma de gestión (3G).

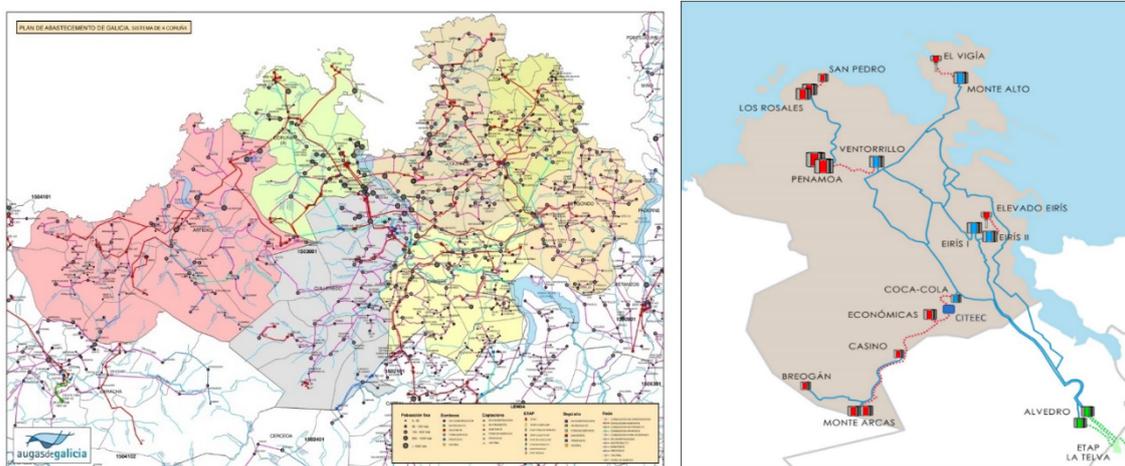


Figura 7: Mapa de la red de abastecimiento del Área de A Coruña, con los puntos más significativos y esquema general de la red principal de abastecimiento de Coruña desde cabecera de sistema

También se dispone de puntos de control de calidad monitorizados en red:

- Panel control de calidad de agua, instalado en la red de distribución con instrumentación:
 - o Sensores de presión a la entrada y salida del panel,
 - o Caudalímetros ultrasónicos con rango de medida regulable,
 - o Contadores de partículas,
 - o Sistemas de medida multiparamétricos para la monitorización fisicoquímica de agua potable,
 - o Sensores de pH,
 - o Sensores de conductividad y temperatura,
 - o Sensores de cloro libre residual,
 - o Sensores de oxígeno disuelto,
 - o Sondas espectrométrica (color, turbidez, NO₃, COD, COT),

- o sistemas *Datalogger* Arduino para gobernar la apertura de las electroválvulas y actuar como dispositivos de almacenamiento de los registros de los sensores de presión y caudalímetros o electroválvulas de regulación.
- Para las acciones de control de depósitos, se poseen equipos contadores de partículas, integrados en los sistemas de comunicación de los autómatas de control de bombeos, para disponer información en tiempo real.

La red de abastecimiento que gestiona EMALCSA para el abastecimiento de los 400.000 habitantes del entorno metropolitano tiene unos 650 km y, por las especiales condiciones geográficas del entorno, y para garantizar un correcto servicio a la población, dispone de un amplio sistema de bombeos y depósitos de almacenamiento. En estos momentos **los sistemas que EMALCSA tiene implementados para la monitorización de los parámetros de calidad en todo el sistema presentan algunas dificultades para su operación y mantenimiento, pero sobre todo para su extensión en más zonas y puntos críticos de la red.** Además, respecto a los controles cuantitativos (presiones y caudales), aunque los actuales sistemas funcionan con tecnologías maduras en su concepción de origen, están sujetos a las problemáticas y limitaciones de los sistemas de integración y comunicación.

Los desarrollos de este reto 1 se plantean en varios ámbitos:

- AGUA NATURAL (CUENCIA DEL RIO MERO): En este ámbito la intención es renovar los sistemas actualmente instalados por una tecnología más avanzada que cubra las necesidades, así como la ampliación de los puntos existentes hasta cubrir todos los puntos singulares de la cuenca. Todo ello con el objeto de **tener información en tiempo cuasi real de las diferentes calidades de agua que se aportan al sistema de abastecimiento desde los puntos más significativos de la cuenca.**
- AGUA POTABLE DE LA RED DE ABASTECIMIENTO: La intención de EMALCSA es implementar secciones de control que permitan cubrir los puntos más significativos de la red, con diferentes configuraciones según las características de cada punto, completando una malla que permita disponer información en tiempo real del estado de operación y sanitario del suministro en niveles de prealerta.



Figura 8: Mapa de puntos significativos, depósitos y gestores, de la red general gestionada por EMALCSA

De forma genérica, nos encontramos que los sistemas de monitorización que se implementan habitualmente en los procesos de gestión de sistemas de agua urbano tienen cuatro problemas básicos:

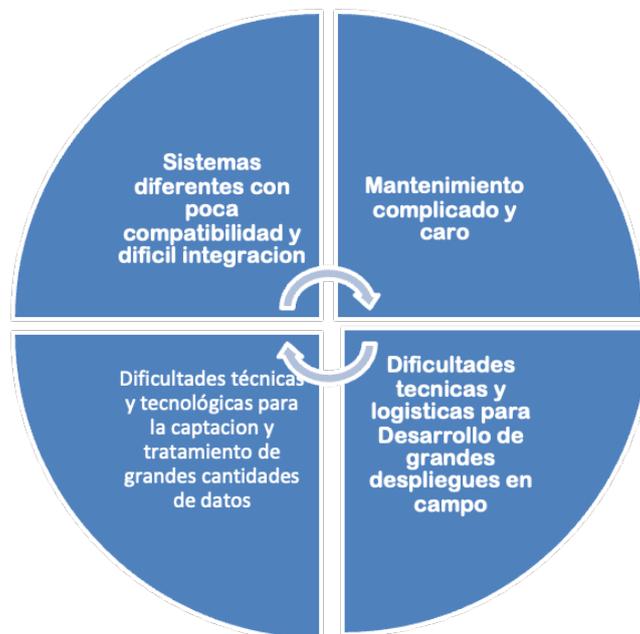


Figura 9: Esquema de tipologías de problemas en procesos de gestión de sistemas de agua urbana

Los problemas detectados implican grandes dificultades para poder ampliar tanto la densidad de puntos de muestreo como los parámetros a controlar. En su actual configuración, los sistemas implementados no solo suponen un importante coste económico para la empresa, sino que, y esto es lo más importante, generan en muchos casos desconfianza por las altas necesidades de mantenimiento, sobre todo en cuanto a calibraciones, y las dificultades de reposición, que en algunos casos generan importantes vacíos de información, dado que las tecnologías existentes son limitadas y sus servicios de reposición de activos (repuestos) y asistencia técnica tienen plazos muy largos. Todo ello se ve acompañado de los **problemas de despliegue en una amplia zona**, lo que implica de forma transversal problemas de vandalismos y también de daños por efectos de la intemperie.

Otro aspecto relevante para contemplar es la necesidad de que los sistemas incorporen fuentes de alimentación autónomas y con garantías, incluida la posible generación *in situ*, pero sobre todo que signifiquen un salto respecto a los actuales sistemas de paneles solares y baterías, cuya fiabilidad es muchas veces insuficiente.

En este sentido, de acuerdo con la experiencia del uso de las tecnologías existentes, y de forma conceptual se plantean las siguientes necesidades a explorar en el marco de la innovación de los sistemas de monitorización para aguas:

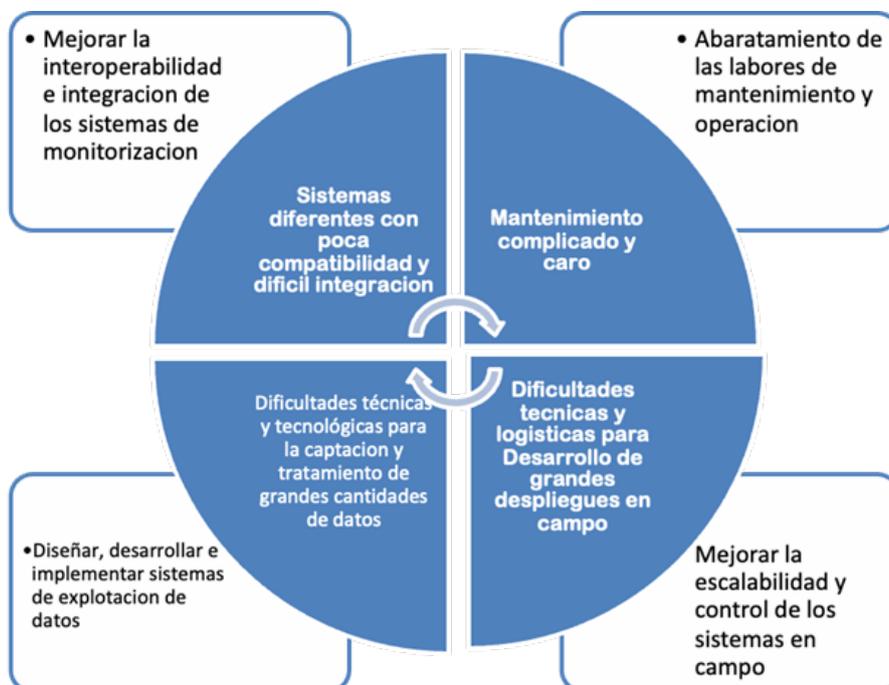


Figura 10: Prioridades a abordar con los desarrollos de la CPI Emalcsa#120

Las soluciones esperadas a los problemas que se plantean en el despliegue de **los sistemas de monitorización para control de calidad del agua implican mejoras en diferentes ámbitos que deben ser resueltos de manera multidisciplinar**. De forma resumida podríamos considerar los siguientes, desde una perspectiva física de los sistemas a proponer:

- Implementación de sistemas con **sondas y sistemas de monitorización** de bajo coste.
- **Soportes** configurables de alta flexibilidad y robustez, con configuración en bloques de sensores que puedan intercambiarse en función de diferentes necesidades sobre una base tecnológica común.
- Sistemas de limpieza y mantenimiento de los bloques autónomo.
- Sistemas de verificación y calibración automáticos.

Además de estos aspectos básicos, también es una necesidad la ampliación del rango de parámetros que se puedan implementar en los bloques de sensores, incluyendo **nuevos controles**, tanto para agua natural como agua potable, relacionados con **contaminantes emergentes y los microplásticos**.

Por otro lado, y atendiendo a la problemática de explotación de resultados, necesitamos trabajar aspectos como:

- **Algoritmia**: operación ordinaria de las series de datos obtenidas y detección de anomalías funcionales, desarrollo de variables elaboradas como sensores lógicos e integración de otros metadatos no directamente obtenidos por los sistemas físicos (meteorología, consumos, incidencias externas, etc.).
- **Adquisición de datos**, en el sentido de la generación y consolidación de bases de datos.
- **Desarrollo de sistemas de alertas**, tanto funcionales como de estado del medio, y desarrollo de modelos en base a técnicas de Inteligencia Artificial (IA) o Machine Learning (ML).
- **Generación y distribución de informes**, tanto de los parámetros medidos, como de los propios sistemas.

Desde un punto de vista más funcional, las soluciones que se buscan para abordar el RETO 1 deben ser igualmente aplicables al medio natural (monitorización cuenca y sistemas de captación), como para redes de distribución.

Las soluciones deben cumplir además las premisas de:

- **Modularidad**, con un diseño que permita intercambiar configuraciones y bloques.
- **Escalabilidad**, de manera que el número de parámetros pueda cambiar según necesidades.

- **Automatización**, en el sentido de la robotización de las actividades para poder aquilatar costes de mantenimiento y operación.
- **Sostenibilidad**, en el sentido de aspectos como la eficiencia energética, la minimización en la generación de residuos o su configuración con criterios de economía circular, etc.

Es por ello por lo que EMALCSA, requiere de **desarrollos innovadores que permitan la monitorización de los diferentes elementos que componen dicha red, mediante una solución tecnológica desarrollada para su uso específico en el sistema de aguas, que mejore la eficiencia de las actuales, reduzca el contenido subjetivo en la toma de datos, mejore los sistemas de verificación y calibración automáticos con gran autonomía y autoalimentados según necesidades, así como que contemple toda la casuística que implica la amplia extensión del sistema de abastecimiento, permitiendo avanzar en la digitalización del elemento analizado para asegurar la calidad del agua y la optimización del recurso en base a un conocimiento exhaustivo.**

RETO 2: MEJORAS EN LOS SISTEMAS DE BOMBEO

A Coruña y su entorno metropolitano presenta una orografía compleja, lo que ha llevado a que el sistema de distribución de agua tenga que asumir un **número elevado de sistemas de elevación que permita cubrir de forma eficiente los servicios prestados**. Prácticamente el 100% de los ciudadanos coruñeses disfrutan de agua con presión suficiente desde la red pública, sin necesidad de implementar sistemas de bombeo propios, salvo los edificios que por normativa lo requieran. El esfuerzo que supone esta situación particular, provoca que estos sistemas de elevación aumenten entre un 10% y un 15% los costes operativos de la compañía, por lo que la búsqueda de soluciones innovadoras que minimicen estos ratios es una prioridad estratégica.



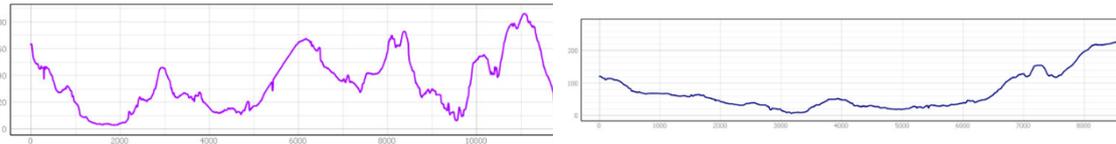


Figura 11: Planos de extensión y perfiles de orografía de los sistemas de distribución de aguas

Además de este factor económico, la **contribución a la reducción de la huella de carbono en el contexto de la lucha contra el cambio climático**, o las estrategias urbanas de descarbonización suponen un estímulo adicional, y son aspectos esenciales del marco DUSA (Desarrollo Urbano Sensible al Agua).

En este sentido, EMALCSA distribuye al año del entorno de 31 Hm³ de agua a sus clientes. Toda esta agua ha de ser bombeada para llegar a las redes de distribución desde las plantas de tratamiento y, posteriormente, debe ser rebombada, a diferentes escalones de presión, por lo menos otro 50%. Esta operación, aparte de las altas inversiones y costes de mantenimiento, tiene el hándicap de que apalanca casi el 15% de los costes operativos de la compañía en energía.

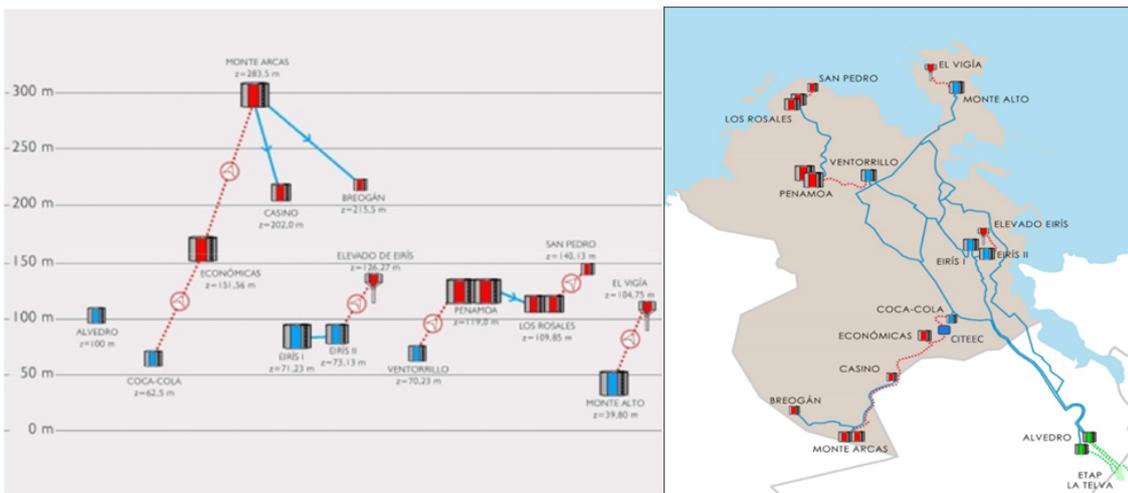


Figura 12: Esquema parcial de los sistemas de bombeo en la ciudad de A Coruña (cotas reales)

En la actualidad EMALCSA dispone de 10 bombeos a depósitos con diferentes capacidades en la ciudad, además de los generales que se adscriben a la planta de tratamiento.

Por otro lado, **los modelos actuales de potabilización son muy intensivos en energía** y se requiere la búsqueda de soluciones más eficientes que aprovechen la calidad del agua natural de A Coruña y que permitan a su vez abordar nuevos retos como los que suponen los contaminantes emergentes o la eutrofización de las masas de agua. En la actualidad los tratamientos que se desarrollan de manera general en las dos plantas que dispone en sistema de agua de A Coruña que opera EMALCSA, tienen un proceso de coagulación-

floculación, con preoxidación con permanganato y desinfección en post tratamiento con cloro.

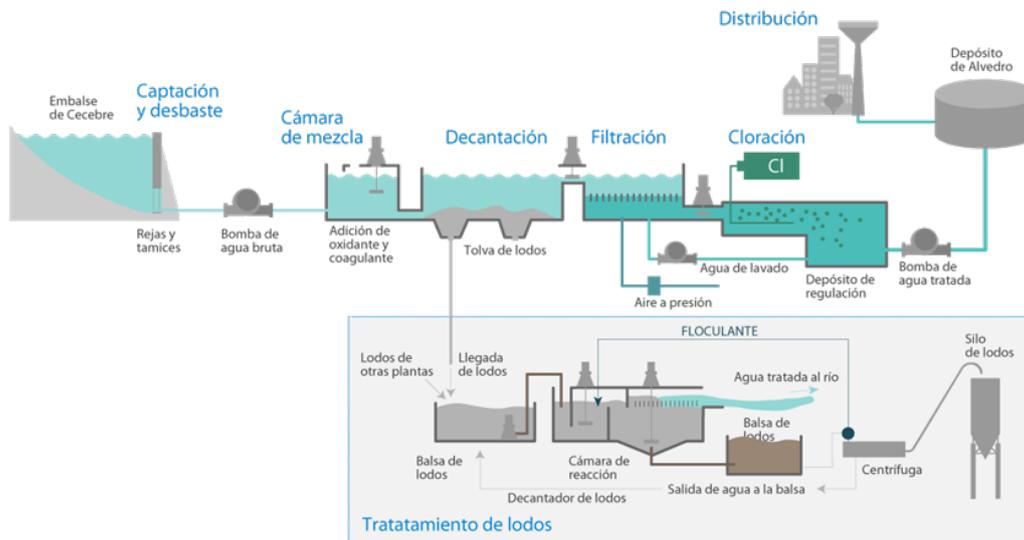


Figura 13: Esquema básico del proceso de captación-potabilización en EMALCSA, incluida fase de bombeo principal

En el caso de EMALCSA, el agua captada tiene que ser bombeada a cabecera de tratamiento en su totalidad, unos 34 hm³/año. Desde el punto de vista de operación los puntos críticos de consumos energéticos están vinculado a los sistemas de filtrado por arena en su limpieza. Desde una perspectiva de mantenimiento todos los elementos de las plantas son muy intensivos, ya que además las instalaciones tienen una antigüedad importante, si bien en todas ellas se han ido haciendo actualizaciones y un mantenimiento intenso que permite su total operatividad y fiabilidad. El esquema siguiente refleja el cuadro resumen de activos y procesos de la planta más importante, la de A Telva, donde se ven las tres líneas de tratamiento correspondientes a tres plantas distintas interconectadas y que corresponden a tres ampliaciones de los años 60 (planta 1), años 80 (planta 2) y finales de los 90 (planta 3), incluida en este caso una línea conjunta para tratamiento de lodos.

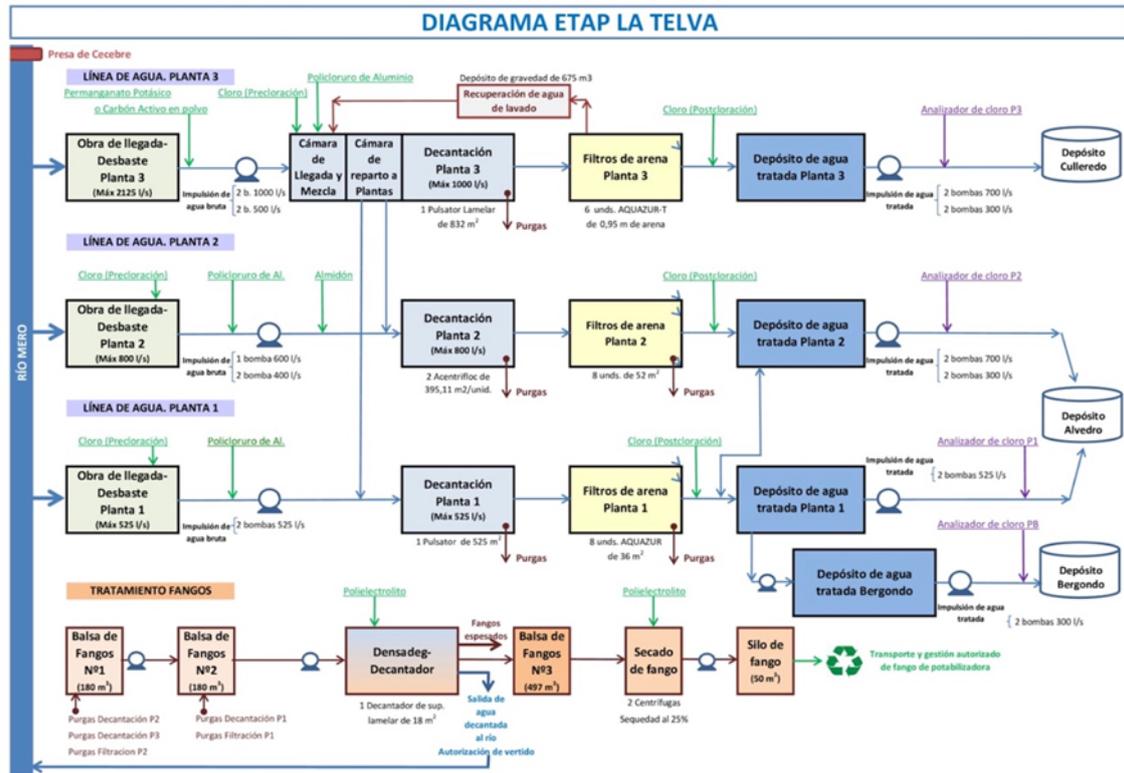


Figura 14: Esquema general de activos y procesos en la ETAP A TELVA

En estos momentos existen diferentes sistemas de bombeo en la compañía que están en fase de renovación. En el caso de los bombeos de red de distribución su sustitución no es tan inminente y está supeditada a conseguir tecnologías que demuestren **mejorías sustanciales en rendimiento** con respecto a los actuales, cuya edad media es en general inferior a los 15 años. De la misma forma, los sistemas de potabilización se encuentran también en un contexto de renovación de tres de las plantas actualmente operativas:

- Planta de Cañas, con una capacidad nominal de 100 l/seg, si bien y debido a su antigüedad su régimen de operación está en la mitad. Fue construida en los años 20 del siglo pasado y necesita una renovación global para poder operar en condiciones de eficiencia y seguridad, tanto desde el punto de vista de caudales, como de la calidad del agua.
- Planta 1, del complejo de A Telva, con capacidad para 525 l/seg con tecnología de los años 60 del siglo pasado
- Planta 2, del complejo de A Telva, con capacidad de 800 l/seg y con tecnología de los años 80 del siglo pasado.

Actualmente existen soluciones que desde un punto de vista técnico tratan de abordar la mejora en la eficiencia y rendimiento energético de los sistemas de bombeo y potabilización. Básicamente esos sistemas están apalancados en la mejora de los sistemas mecánicos y de control, mediante el uso de variadores. También es habitual combinarlos con una mayor eficiencia en el control de demanda para poder ajustar, mediante sistemas más o menos desarrollados, los tiempos de servicio y sobre todo los tramos horarios.

En la actual coyuntura energética, desde EMALCSA se plantea la necesidad de abordar desarrollos que permitan dotar a los **sistemas de bombeos y potabilizadoras** de herramientas, procesos y soluciones tecnológicas de marcado origen innovador, que permitan la **mejora del rendimiento energético, reducción de costes de inversión, optimización de tareas y costes de mantenimiento, así como que contemplen aspectos relacionados con la integración en el entorno, la optimización de las infraestructuras existentes y la economía circular en su concepción**. Estas soluciones deben permitir superar las limitaciones de los sistemas actuales.

El reto plantea **soluciones en el ámbito de la eficiencia de los sistemas de bombeo**, mediante un cambio de paradigma que permita optimizar el régimen de los altos volúmenes de caudal, desde turbulento a laminar. Su validación e implementación permitiría:

- Mejoras significativas de eficiencia y operación en sistemas de bombeo, con la importancia que tiene a nivel global en nuestro sector y particularmente en el sistema coruñés, muy dependiente por su orografía de estas infraestructuras.
- Su aplicación en sistemas de bombeo de los sistemas de tratamiento de potabilización.

Una plataforma que integre de forma automática los controles de niveles de depósito, demanda de suministro en red por sectores, las necesidades reales ajustadas de bombeo para garantizar las condiciones de suministro o el ajuste y control de los procesos de potabilización, proporcionaría una **optimización directa de los tiempos y caudales**, aportando no solo sustanciales **ahorros energéticos**, sino **altas tasas de eficiencia en los consumos** del sistema integral de gestión.

3.3 Justificar el encuadre del Proyecto en la Estrategia Española del Ciencia Tecnología e Innovación 2021-2027 (EECTI)

Las actuaciones expuestas por la **Estrategia Española del Ciencia Tecnología e Innovación 2021-2027 (EECTI)** contemplan de forma directa o indirecta, la implementación de los ODS fijados en la Agenda 2030. Además, planifica sus programas de I+D+i hacia los pilares de Desafíos mundiales y Competitividad Industrial del Programa Horizonte Europa.





Figura 15: Modelo de actuación de la EECTI 2021-2027 ²

Así, desde un punto de vista más general, **Emalcsa#120** se alinea con las grandes estrategias que fijan la orientación política de la UE, como son el **Pacto Verde Europeo** (planteando soluciones innovadoras para optimizar la eficiencia de un recurso clave como el agua) y la **Estrategia para configurar el futuro digital de Europa** (mediante la incorporación de plataformas digitales que abordan la adquisición y valorización de los datos monitorizados durante el ciclo integral de gestión del agua).

De manera más concreta, el proyecto **Emalcsa#120** aborda los siguientes Ejes de Actuación y Objetivos asociados:

A) AFRONTAR LAS PRIORIDADES DE NUESTRO ENTORNO:

- **Objetivo 1: Situar a la ciencia, la tecnología y la innovación como ejes clave en la consecución de los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) de la**

² EECTI Estrategia Española de Ciencia, Tecnología e Innovación 2021-2027

Agenda 2030. De manera más concreta, la implementación de sistemas avanzados de monitorización de aguas y sistemas de bombeo eficientes en plantas que gestionan el ciclo integral del agua, como la de EMALCSA, desempeña un papel fundamental para avanzar en los siguientes ODS:

- A) **Gestión sostenible del recurso hídrico** (ODS 6), que busca que busca garantizar la disponibilidad y gestión sostenible del agua y el saneamiento para todos.
- B) **Eficiencia energética y reducción de emisiones** (ODS 7 y 13), relacionados con la consecución de una energía asequible y no contaminante y la acción por el clima, respectivamente.
- C) **Implementación de tecnologías innovadoras** (ODS 9), para el despliegue de infraestructuras resilientes, promover la industrialización inclusiva y sostenible, y fomentar la innovación.
- D) **Salud y bienestar** (ODS 3), ya que la monitorización precisa del agua asegura que los estándares de calidad necesarios para la salud humana se mantengan, garantizando un suministro de agua seguro, una vida sana y el bienestar de la población.
- E) **Producción y consumo responsables** (ODS 12).
- F) **Economía circular y uso sostenible de recursos** (ODS 12 y 14).
- G) **Desarrollo de capacidades locales** (ODS 4 y 17), relacionados con la educación de educación de calidad y las alianzas para lograr los objetivos, respectivamente.

- **Objetivo 2: Contribuir a las prioridades políticas de la UE, mediante el alineamiento con sus programas de I+D+i**, dando apoyo a los actores responsables del SECTI para la consecución de este objetivo. Dentro de los pilares de Desafíos mundiales y Competitividad industrial fijados por el Programa Horizonte Europa, **Emalcsa#120** afronta temáticas de tres de los clústeres definidos:

- **Mundo digital, Industria, Espacio y Defensa: Inteligencia Artificial y Robótica** (Inteligencia Artificial multitarea; Aprendizaje Automático; Sistemas híbridos que combinen razonamiento y aprendizaje; Sistemas inteligentes de predicción y recomendación; Aplicaciones de la IA y la Robótica para Industria conectada 4.0, Recursos naturales, Energía y Medio Ambiente, Ciudades y territorios inteligentes). **Fotónica y electrónica** (Tecnologías de comunicación fotónicas; Redes de sensores fotónicos; Biosensores ópticos; Sistemas inteligentes y sus aplicaciones). **Modelización y análisis matemático y nuevas soluciones matemáticas para ciencia y tecnología** (Nuevas herramientas transversales de análisis, estadística y ciencia de datos, sistemas dinámicos). **Materiales avanzados y nuevas técnicas de fabricación** (Materiales compuestos, materiales inteligentes y multifuncionales, estructuras multimaterial, nuevos recubrimientos, técnicas de fabricación aditiva y métodos avanzados).

- **Clima, Energía y Movilidad: Cambio climático y descarbonización** (Nuevos métodos de estimación de los daños económicos causados por el

cambio climático; Puntos de inflexión en la economía del cambio climático; Impacto de los desastres naturales en las economías locales). **Ciudades y ecosistemas sostenibles** (Ciudades y territorios limpios e inteligentes; Construcción y sistemas climáticos eficientes; Técnicas para la preservación del medio ambiente).

- **Alimentación, Bioeconomía, Recursos Naturales y Medioambiente: Cadena agroalimentaria inteligente y sostenible** (Tecnologías digitales en una visión integrada de la cadena alimentaria; Sensores remotos). **Agua y océanos** (Sostenibilidad del ciclo del agua; contaminación incluyendo contaminantes emergentes).

- **Objetivo 3: Priorizar y dar respuesta a los desafíos de los sectores estratégicos nacionales a través de la I+D+i, en beneficio del desarrollo social, económico, industrial y medioambiental de nuestro país.** De forma más concreta, **Emalcsa#120** introduce desarrollos relacionados con las siguientes líneas estratégicas nacionales (enmarcadas en los clústeres anteriormente mencionados):

- **Inteligencia Artificial y Robótica:** El proyecto aborda el desarrollo de soluciones de inteligencia artificial (IA), como herramienta para maximizar la eficiencia y la toma de decisiones optimizada en todas las etapas del sistema de agua urbana, que incluyen la captación, tratamiento, distribución y uso. De forma más específica, se integra para la monitorización y detección de anomalías (mediante la incorporación de sensores y dispositivos IoT que permitan recopilar datos en tiempo real sobre la calidad del agua, niveles de presión, consumo, etc...y el desarrollo de algoritmos de IA pueden analizar estos datos y detectar anomalías para facilitar la implementación de acciones que den una respuesta rápida a problemas como fugas o detección de contaminantes). De la misma forma, la tecnología IA permite la optimización de las redes de distribución, mediante la incorporación de algoritmos de optimización que puedan ayudar a mejorar la eficiencia en la distribución de agua, minimizando las pérdidas y garantizando un suministro fiable, regular, equitativo y de calidad. Así, la predicción de la demanda puede utilizarse para ajustar la distribución en tiempo real, evitando desperdicios y optimizando la presión en la red. Otra aplicación de la IA y de los algoritmos de aprendizaje automático será la de asegurar la calidad del agua y de los sistemas de tratamiento, mediante el análisis de diferentes variables, facilitando la toma de decisiones sobre los procesos de tratamiento necesarios. De esta forma, la incorporación de sistemas de control automatizado hará que éstos tengan la capacidad de ajustar los procesos de tratamiento en función de las condiciones en tiempo real. Así, la inclusión de sistemas de ayuda a la decisión proporcionará a los técnicos de EMALCSA un análisis previo y una serie de recomendaciones para ayudar en la toma de decisiones, de cara a

planificar y responder de manera más efectiva a situaciones relacionadas con la gestión del agua en todo su ciclo.

- Fotónica y electrónica: Esta línea de I+D se abordará en **Emalcsa#120** mediante la incorporación de soluciones fotónicas de sensorización y electrónica de control para aportar ventajas significativas y con un carácter eficiente en la monitorización del ciclo integral del agua. Por un lado, mediante la incorporación de sensores ópticos para monitorizar parámetros de calidad del agua (turbidez, concentración de contaminantes o presencia de productos químicos), ya que permiten el desarrollo de soluciones de medición y control más precisas y rápidas con respecto a sistemas sensores más tradicionales. Como función complementaria, pueden formar parte de los sistemas integrales de detección de fugas, cambios en la presión del agua y anomalías a monitorizar para aumentar la eficiencia en la gestión de pérdidas de agua. Al mismo tiempo, los sensores fotónicos u ópticos permiten adquirir de manera precisa valores de niveles de agua y presiones en tanques y tuberías o valores de temperatura en diferentes secciones del circuito, proporcionando datos significativos y de alto valor añadido para optimizar la distribución y prevenir posibles problemas. Por último, la fotónica también está involucrada en el propio proceso de comunicación óptica para la transmisión robusta y en tiempo real de los datos a adquirir y tratar, debido a las distancias habituales en estas redes de distribución. Así, la integración de sensores fotónicos con plataformas de IoT permite la recopilación y transmisión de datos en tiempo real, facilitando la monitorización y control remoto de las diferentes secciones y subelementos de los sistemas de distribución de agua.

- Modelización y análisis matemático y nuevas soluciones matemáticas para ciencia y tecnología: En el ámbito del Reto 2 del proyecto, la hiperlaminarización de grandes caudales de agua implicará la aplicación de modelos matemáticos y técnicas de análisis para comprender y optimizar los procesos asociados. La laminarización se refiere al proceso de convertir el flujo turbulento en un flujo laminar, lo que puede ser beneficioso en términos de eficiencia del transporte y pérdida de carga reducida en sistemas de tuberías y conductos. Aquí hay algunos aspectos clave de la modelización y análisis matemático en este contexto, como son la aplicación de las ecuaciones de Navier-Stokes para describir el movimiento del fluido, el número de Reynolds como parámetro adimensional que caracteriza la naturaleza del flujo, la simulación computacional de dinámica de fluidos (CFD) para identificar áreas de turbulencia y diseñar geometrías que fomenten la laminarización, el análisis del perfil de velocidad del flujo para entender la distribución de la velocidad a lo largo de una sección transversal, el

empleo de técnicas de optimización matemática para ajustar la geometría de los conductos y tuberías con el objetivo de minimizar la turbulencia y favorecer la laminarización, el análisis de la estabilidad del flujo para asegurar y monitorizar que los sistemas permanezcan en un estado laminar tras su paso por el laminarizador desarrollado o realizar análisis de sensibilidad para entender cómo afectan los cambios en las condiciones iniciales, los parámetros del sistema o las propiedades del fluido en la laminarización final obtenida sobre el flujo. Por tanto, la combinación de modelización matemática, simulación numérica y técnicas de optimización puede proporcionar una comprensión profunda y herramientas para diseñar sistemas que aprovechen los beneficios de la laminarización en grandes caudales de agua.

- Nuevos materiales y técnicas de fabricación: La incorporación en el subreto 1.1 de nuevos materiales poliméricos y biomateriales para la fabricación de conductos para la distribución de agua con capacidades ampliadas, así como el uso de nuevas técnicas de extrusión, ofrece una solución que combina mejoras funcionales, como la durabilidad, la resistencia y la posibilidad de obtener geometrías más complejas, con mejoras estratégicas, desde el punto de vista de la optimización de la eficiencia y la sostenibilidad medioambiental de las infraestructuras de agua. En este sentido, la incorporación de polímeros avanzados de alto rendimiento ofrece a los nuevos sistemas unas propiedades mecánicas superiores, mayor resistencia a la corrosión y mayores ratios de durabilidad. Por otro lado, la incorporación de biomateriales sostenibles derivados de fuentes biodegradables en los sistemas de producción habilita para la reducción de la huella ambiental de las infraestructuras hídricas. Un aspecto diferencial de la propuesta es la incorporación de soluciones multimaterial y multicapa desde la etapa de diseño inicial de las tuberías, lo que abre el camino a soluciones customizadas que aprovechen las ventajas específicas de cada material, según las condiciones de contorno en cada sección de la infraestructura (por ejemplo, capas internas que proporcionan resistencia química y capas externas que ofrecen protección mecánica).

En cuanto a las técnicas de fabricación, podemos hablar de los procesos de laminación avanzada que se proponen para la fabricación de las tuberías, que son la herramienta que habilite la generación de conductos con propiedades específicas y adaptadas de forma precisa a sus requerimientos y funcionalidades en servicio. Así, la laminación multicapa permite la combinación de diferentes materiales y propiedades en un solo conducto. Por último, hay que mencionar que la consideración de las variables de sostenibilidad y reciclabilidad desde el diseño inicial,

mediante la implementación de diseños más optimizados y materiales y procesos productivos con menor impacto ambiental, permiten reducir el consumo de recursos, un Análisis de Ciclo de Vida (ACV) optimizado y una posibilidad de reciclado al final de su vida útil, promoviendo características de economía circular.

- Cambio climático y descarbonización: Los procesos de optimización en la eficiencia de la gestión del agua, como se plantean en este proyecto Emalcsa#120, son esenciales para enfrentar el cambio climático y promover la descarbonización, ya que el agua y la energía están intrínsecamente vinculadas. En este sentido, se incorporan sistemas para un mejor aprovechamiento del agua, se incorporan tecnologías TIC para una gestión y monitorización Inteligente en tiempo real de la infraestructura hídrica, se desarrollan soluciones para predecir y responder eficientemente a cambios en la demanda, fugas y otros eventos, se desarrollan sistemas de alerta temprana o la reducción de consumos de energía y emisiones de carbono de la propia instalación al implementar sistemas de bombeo más eficientes. Todo ello, desde una concepción global basada en la Gestión Integrada de Recursos Hídricos (GIRH), con un enfoque en el que no solo se considera la disponibilidad del agua, sino también aspectos sociales, económicos y ambientales, mediante la incorporación de infraestructuras hídricas que sean resilientes al cambio climático y la adopción de prácticas sostenibles.

- Ciudades y ecosistemas sostenibles: La optimización en la eficiencia de la gestión del agua con una visión integrada, como se plantea en **Emalcsa#120**, es clave para el desarrollo de ciudades y ecosistemas sostenibles, ya que no solo contribuye a la conservación de recursos hídricos, sino que también impacta positivamente en la salud de los ecosistemas y en la calidad de vida de los habitantes de las ciudades. Así, el proyecto abordará un conjunto de actividades de desarrollo enlazadas con esta línea estratégica, en el ámbito de planificaciones integradas de desarrollo urbano sostenible que consideren la disponibilidad y calidad del agua, fomento de la reutilización de aguas, la optimización en el uso del recurso hídrico de la ciudad de A Coruña mediante la implementación de sistemas de monitorización inteligente en tiempo real, la concienciación de la población en prácticas de consumo responsable o el desarrollo de estrategias de gestión que partan de información en tiempo real.

- Cadena agroalimentaria inteligente y sostenible: La optimización en la eficiencia de la gestión del agua y el aumento de la calidad del agua en sistemas de distribución son elementos fundamentales para impulsar una cadena agroalimentaria inteligente y sostenible. En este caso, las actividades del proyecto se enfocarán a la implementación de

soluciones inteligentes para la monitorización en tiempo real de la calidad del agua, como aportación al seguimiento de esta en una de las etapas de la cadena agroalimentaria. Al mismo tiempo, el proyecto aportará tecnología que permita la consecución de cadenas de suministro más resilientes y que puedan adaptarse a condiciones cambiantes del agua y del clima, minimizando los riesgos asociados con la disponibilidad del recurso. En el caso concreto de A Coruña, donde existen importantes industrias agroalimentarias con una gran vinculación al agua, tanto cuantitativamente como cualitativamente, el aspecto de garantía es fundamental para su desarrollo.

- **Agua y océanos:** El core del proyecto **Emalcsa#120** aborda los subtópicos de la sostenibilidad del ciclo del agua y la monitorización de la calidad del agua, incluyendo la aparición de nuevos contaminantes emergentes.

B) FOMENTAR LA I+D+I Y SU TRANSFERENCIA:

- **Objetivo 4:** Generar conocimiento y liderazgo científico, optimizando la posición del personal investigador y de las instituciones, así como la calidad de sus infraestructuras y equipamientos. Fomentar la calidad y la excelencia científica, favoreciendo un efecto sistémico que alcance y beneficie a un número mayor de grupos. Aplicar el conocimiento científico al desarrollo de nuevas tecnologías que puedan ser utilizadas por las empresas e intensificar la capacidad de comunicación a nuestra sociedad y de influir en el sector público y privado. **Emalcsa#120** permitirá:

- La generación de conocimiento mediante la aplicación práctica de tecnologías avanzadas de monitorización y eficiencia en sistemas de agua urbanos y la investigación aplicada sobre el rendimiento de estas soluciones en situaciones reales, con la visión integrada de servicio ciudadano y protección de los recursos a través de la visión DUSA.
- El proyecto puede fomentar la colaboración interdisciplinar entre diferentes ámbitos científicos, como la ingeniería, la ciencia de datos, la química, etc....aprovechando diversas habilidades y conocimientos.
- Los resultados obtenidos y las experiencias adquiridas pueden traducirse en publicaciones científicas.
- La colaboración con instituciones académicas y centros de investigación permite transferir conocimientos y experiencias, fortaleciendo la posición de EMALCSA como un actor clave en la generación y aplicación de innovaciones científicas.

- La participación en un proyecto de esta envergadura contribuye al desarrollo profesional del personal de EMALCSA y sus colaboradores, fortaleciendo sus habilidades y experiencia en áreas especializadas.
- El proyecto puede facilitar la participación en redes de investigación a nivel nacional e internacional, brindando oportunidades para el intercambio de conocimientos y la colaboración en proyectos futuros.

- **Objetivo 5:** Potenciar la capacidad de España para atraer, recuperar y retener talento, facilitando el progreso profesional y la movilidad del personal investigador en el sector público y privado, y su capacidad para influir en la toma de decisiones. Se estima que **Emalcsa#120** pueda ser un factor clave para potenciar la capacidad de atraer y retener talento, tanto en Galicia como en el resto de España, al proporcionar a profesionales de alta capacitación un entorno atractivo, innovador y eficiente, basado en el fomento de tecnologías innovadoras y el desarrollo de competencias técnicas especializadas en áreas emergentes como la monitorización ambiental, el control de calidad del agua y la eficiencia energética. Estos aspectos son prioritarios en el contexto actual de escasez hídrica y la necesidad de optimizar los aspectos medioambientales de la gestión de los sistemas de agua con una visión holística, donde la producción científica y el talento debe asentarse en iniciativas como **Emalcsa#120**.

C) CATALIZAR LA INNOVACIÓN Y EL LIDERAZGO EMPRESARIAL:

- **Objetivo 6:** Favorecer la transferencia de conocimiento y desarrollar vínculos bidireccionales entre ciencia y empresas, a través de la comprensión mutua de necesidades y objetivos, en especial en el caso de las PyMEs. El proyecto **Emalcsa#120**, promoverá la colaboración público-privada para la co-creación de soluciones y la creación de un entorno que favorezca la investigación y el desarrollo empresarial que estimule la innovación en las pymes, aprovechando los conocimientos generados en el ámbito público. De esta forma, se impulsarán los procesos de internacionalización de las PyMEs, al obtener experiencias y conocimientos que las hagan más competitivas en mercados globales. Todas las propuestas planteadas en **Emalcsa#120** tienen una vocación de desarrollo en el tiempo a través de modelos de colaboración entre la entidad pública y las empresas, sobre todo PyMEs que planteen sus propuestas en el desarrollo de los retos.
- **Objetivo 7:** Promover la investigación y la innovación en el tejido empresarial español, incrementando su compromiso con la I+D+i y

ampliando el perímetro de las empresas innovadoras para hacer más competitivo al tejido empresarial.

EMALCSA ya ha concertado convenios específicos de colaboración con tres centros tecnológicos del sistema gallego con las capacidades científicas más adecuadas para los retos planteados. Así **EnergyLab**, centro tecnológico especializado en temas de energía será el *partner* para el seguimiento y evaluación de los sistemas de bombeo y conducción. El **CETIM**, especializado tanto en analítica y tratamiento de aguas como en materiales, aportará el asesoramiento y soporte necesario para los desarrollos vinculados al sistema de tuberías y monitorización. Finalmente, la **Fundación CITIC**, especializada en TIC, complementará las capacidades transversales en los aspectos de integración tecnológica, tan importantes en todos los desarrollos incluidos en el proyecto **Emalcsa#120**.

En esta línea, la implementación de tecnologías innovadoras para la gestión integrada de los sistemas de agua urbana puede inspirar a las **empresas** a desarrollar y adoptar enfoques innovadores en sus operaciones y servicios. De esta forma, la colaboración directa entre EMALCSA y las empresas participantes para desarrollar las soluciones **Emalcsa#120**, podrá fomentar un ambiente propicio para la innovación y la investigación conjunta y ser punto de partida de futuras propuestas de I+D+i. Así, EMALCSA puede actuar como nexo impulsor para establecer escenarios de innovación o pruebas piloto que permitan a las empresas experimentar y desarrollar nuevas soluciones eficientes en un entorno real, práctico y colaborativo. Por último, hay que mencionar que las propias actividades de difusión y publicitación del proyecto abrirán la posibilidad organizar eventos de innovación y *networking* para reunir a empresas, *startups* tecnológicas, consultoras de gestión del agua o medioambientales, investigadores y profesionales para intercambiar ideas y promover futuras colaboraciones de I+D+i.

Además, el proyecto se enmarca, ya sea de forma central o tangencial, dentro de las prioridades de otras Estrategias nacionales, complementarias a la EECTI 2021-2027, pero en las que las actividades de I+D+I juegan un papel fundamental:

- Estrategia Española de I+D+I en IA.
- Estrategia Nacional de Industria Conectada 4.0.
- Marco Estratégico en Política de pyme 2030.
- Directrices Generales de la Nueva Política Industrial Española 2030.
- España Digital 2025.
- Agenda Urbana Española.
- Estrategia Española de Economía Circular.

- Plan Nacional Integrado de Energía y Clima.

Ya no se efectúa el encuadre de **Emalcsa#120** con el Plan Estatal de Investigación Científica y Técnica y de Innovación (PEICTI), por haberse superado su marco temporal de aplicación 2021-2023.

3.4 Si se trata del desarrollo de un nuevo producto o proceso, describir el producto o proceso precedente si lo hubiese. Describir la tecnología o TIC que se pretende desarrollar con la determinación de las especificidades funcionales (según UNE-EN 16271:2023) y el estado o fase de la evaluación tecnológica, con mención expresa justificada de los niveles TRL³ de los que se parte y los que se espera alcanzar conforme al anexo G del Programa de Trabajo Horizonte 2020 UE-H2020.

3.4.1 Descripción del producto o proceso precedente

Como ya ha quedado descrito previamente, los **sistemas de monitorización** que actualmente se comercializan en el sector están basados en tecnologías, en principio, parecidas a las que plantea el reto de la plataforma automatizada. El avance en términos de innovación está en una nueva configuración de los elementos, pasando de productos finalistas muy maduros y elaborados con altos precios, tanto de instalación como de operación. **La plataforma parte de la base de cambiar los actuales modelos de encapsulado de sondas por otros en bloques, así como una nueva visión de la integración de los elementos en base a un sistema flexible, a diferencia de las actuales configuraciones, basadas en productos finalistas para aplicaciones concretas que, raramente, se pueden integrar con configuraciones adaptadas a necesidades específicas.** Por otro lado, **los sistemas actuales no disponen de procesos de mantenimiento y calibración automatizados**, con lo que su implantación requiere labores y asignación de recursos de alta cualificación, que muchas veces comprometen el despliegue de estos sistemas a escala global en todas las fases del sistema de agua, limitando de forma importante la información de la que los técnicos se nutren para desarrollar sus funciones de forma eficiente y segura de cara al ciudadano.

Por otro lado, los sistemas de tuberías existentes en el mercado actualmente han mejorado las características mecánicas de las mismas y los sistemas de unión para poder garantizar un buen funcionamiento. El caso de los **sistemas de tuberías con capacidades ampliadas** pretende superar esa visión meramente mecánica de los sistemas, para aportar una visión donde los tubos son también capaces de sentir y comunicar cosas que pasan (recordemos que están enterrados), mejorando mucho las actuales prestaciones, vinculadas

³ TRL (Technology Readiness Level) Nivel de Madurez de la Tecnología

exclusivamente a su resistencia estructural y capacidad en función de materiales y geometrías.

En el caso del **sistema de bombeo de agua en régimen hiperlaminar**, es esencial destacar que, dado su volumen de caudal, actualmente todos los sistemas de bombeo de EMALCSA actúan en régimen turbulento y no existe a escala industrial un producto precedente equivalente a un laminarizador. En este sentido, se han desarrollado estudios laminarizadores validados a escala laboratorio, pero a caudales más bajos y sin alcanzar la laminarización completa que se plantea en **Emalcsa#120**. Pero ninguno de estos dispositivos llegó a la industria. En cualquier caso, a esta escala se han obtenido procesos de laminarización completa desde flujos turbulentos por cuatro procedimientos diferentes⁴. **Emalcsa#120** superará el estado del arte actual, al plantear la implementación de sistemas de laminarización a una escala superior y con mayores niveles de caudal, lo que permitirá su implementación en los sistemas de agua a gran escala. Para ello, se basará en diseños de laminarizadores ya validados en laboratorio, que puedan servir como guía para el desarrollo de laminarizadores industriales y se utilizarán los mismos principios físicos, pero modificando la tecnología. En este punto, conviene señalar que, para determinadas aplicaciones, la industria ya utiliza dispositivos que persiguen mantener el flujo laminar en chorros, aunque para contextos muy diferentes, como por ejemplo, las fuentes ornamentales luminosas utilizan boquillas que impulsan chorros que fluyen en régimen laminar.

3.4.2 Descripción de la tecnología que se pretende desarrollar

Como se ha mencionado en apartados precedentes, la tecnología que se pretende desarrollar en los retos de **Emalcsa#120** aborda soluciones en el ámbito de la monitorización de los sistemas de agua, para convertirlos en herramientas de inteligencia que permitan una detección temprana de anomalías o problemáticas en la calidad del agua, y el aumento de eficiencia de las instalaciones de EMALCSA. Para ello, el proyecto se estructura en dos retos y tres subretos interrelacionados, para una mejora integral.

4 KUEHNEN, J, SONG, B, SCARSELLI, D, BUDANUR, N, RIEDL, M, WILLIS, A, AVILA, M & HOF, B 2018b Destabilizing turbulence in pipe flow. Nat. Phys. 14, 386–390.



Figura 16: Mapa de retos y subretos del proyecto **Emalcsa#120**

Subreto 1.1: Sistemas inteligentes en redes de agua basados en conducciones con capacidades mejoradas.

En el ámbito de la seguridad hídrica, es crucial tanto disponer de procesos de gestión y aprovechamiento adecuado del recurso hídrico, como disponer de sistemas para el control y la protección de su calidad. Un aspecto básico para la consecución de estos objetivos es disponer de sistemas de monitorización inteligentes, de forma que actúen asegurando la calidad y cantidad del recurso, pero también sirvan como herramienta para facilitar actuaciones de mantenimiento preventivo y predictivo, para asegurar la eficiencia y adecuada funcionalidad de las conducciones de aguas.

En este sentido, el principal problema al que se enfrentan las entidades gestoras, en términos de eficiencia son las **fugas o pérdidas de agua** que se ocasionan en las redes. Estas se pueden clasificar en:

- Pérdidas reales (roturas en tuberías, fugas, defectos en las uniones de los elementos).
- Averías de la red o mantenimiento insuficiente de la red).
- Pérdidas aparentes (errores de medida, agua no computada o fraudes).

Esta problemática en conjunto se denomina **Agua No Registrada (ANR)**, es una de las más relevantes a la hora de ser monitorizada, dado que implica

pérdida de agua no facturada, que consiste en el agua que se pierde en un sistema de abastecimiento de agua potable antes de llegar a los usuarios finales o antes de ser registrada correctamente. Esta tipología de pérdidas puede ser causada por fugas en las tuberías, conexiones ilegales o errores en la medición, entre otros factores. En el caso concreto de EMALCSA, los niveles de ANR se sitúan en torno al 10%, un ratio muy moderado, pero que presenta el inconveniente de que las metodologías tradicionales de reducción de dicho valor en aplicación de políticas de mejora continua ya no han funcionado, por lo que **se requiere el desarrollo de nuevos paradigmas en el control de redes de distribución que permitan seguir reduciendo dicho indicador hasta aproximarlos al 0%**. Por lo tanto, la monitorización y el control del ANR es un factor clave para mejorar la gestión de los sistemas de agua urbanos y garantizar un uso eficiente y sostenible del recurso hídrico, de ahí la necesidad de invertir en soluciones innovadoras que optimicen las redes de abastecimiento.

Por contextualizar estas pérdidas en datos generales a nivel nacional, estudios realizados por la Asociación Española de Abastecimiento de Aguas y Saneamientos (AEAS) estiman que el porcentaje del volumen de agua no registrada (ANR) en el año 2022, incluyendo las pérdidas aparentes y reales del agua, es del 23,5%. De la misma forma, a nivel nacional en el año 2022, las pérdidas reales (fugas, roturas y averías en la red de suministro) se estimaron en 38 litros diarios por habitante, mientras que las pérdidas aparentes (errores de medida, fraudes y consumos autorizados no medidos) alcanzaron los 24 litros diarios por habitante.

Los datos mencionados son de especial relevancia en un escenario tan sensible en lo relativo a la escasez de agua como el actual, ya que estas tipologías de pérdidas, en el proceso de distribución generan una serie de consecuencias directamente asociadas:

- Necesidad de captar entre un 25% - 30% más de agua para garantizar el abastecimiento;
- Necesidad de tratar entre un 25% - 30% más de agua, lo que implica el **sobredimensionamiento de las infraestructuras de depuración y un incremento innecesario del coste de tratamiento de agua** que terminará perdiéndose sin haber llegado nunca hasta el usuario final;
- Necesidad de distribuir mayores volúmenes, lo que obliga a dimensionar las redes de transporte con un tamaño muy superior al necesario. Por tanto, no sólo es cuestión de una pérdida de recursos hídricos, sino que se genera una falta de eficiencia y un sobredimensionamiento de las instalaciones para captación y tratamiento del agua.

Debido a todos estos factores, se pretende desarrollar un sistema de tuberías, basada en tecnologías multicapa altamente complejas, que incluya el

desarrollo de una herramienta de inteligencia e información a las redes de agua potable, habitualmente empleadas en los sistemas de canalizaciones. Se trata de que el sistema de monitorización integre una plataforma que gestione las comunicaciones con los sistemas de sensorización, la gestión de datos y su procesado, habilitando la disponibilidad de información a distintos niveles para que los equipos técnicos puedan tomar mejores y más rápidas decisiones que incrementen la eficiencia del servicio. De este modo será posible actuar en una doble vía de desarrollo integrada:

- IMPLEMENTACIÓN DE NUEVOS MATERIALES Y DISEÑOS INNOVADORES DE ELEMENTOS DE CONDUCCIÓN DE AGUAS: Un sistema de tuberías plásticas multicapa con altas prestaciones y características mejoradas que puedan prever y anticipar posibles fugas o intrusiones. Además, se implementan otras capacidades como:
 - o impedir el desarrollo de material biológico (biofilm), en el interior de las canalizaciones que puedan impactar negativamente sobre la salud de los seres vivos y
 - o asegurar la estanqueidad sin la aparición de fisuras y fugas, así como constituir barreras químicas ante determinadas sustancias, tanto del agua como del terreno.

Con estos desarrollos, se propone generar configuraciones de canalizaciones con superficies extra lisas en el interior de los tubos, provocando menos pérdidas, aportando a la red de bombeo un mejor rendimiento y minimizando el consumo energético. Los materiales para utilizar en las tuberías se basarán en matrices poliméricas de última generación como el PPRCT o el PE100 RC, con la inclusión de diferentes aditivos y cargas para poder mejorar las propiedades mecánicas de las tuberías (retardantes a la llama, antioxidantes, desactivadores de metales, rellenos, minimización de tensiones residuales, aditivos para resistencia ultravioleta, etc.). A mayores se incluirán aditivos antimicrobianos capaces de eliminar la formación de biofilm en el interior de las tuberías.

- SOLUCIONES TIC INNOVADORA PARA LA INTEGRACION EN PLATAFORMAS DE MONITORIZACIÓN: Esta solución debe además ser fácilmente integrada en sistemas tipo SCADA o *Digital Twin*.

Por lo tanto, el fin último que persigue en este subreto es la optimización de las infraestructuras y la monitorización de todo el sistema de gestión de aguas mediante el desarrollo de un prototipo capaz de contribuir de manera eficiente a la mejora de la gestión actual de las redes de agua gestionadas por EMALCSA, implementando un sistema viable desde el punto de vista económico y medioambiental.

En el ámbito del proyecto **se plantea el diseño, desarrollo e implementación de un sistema de conducciones innovadoras destinadas al transporte de agua potable que presenten características estructurales, funcionales y de autodetección mejoradas**. El enfoque innovador se centra en la **utilización del propio sistema de tuberías y los elementos de unión de las canalizaciones como dispositivos funcionales y transmisores de la información de la red de aguas**. El sistema innovador que se pretende estará diseñado con el fin de optimizar las características y dotar de inteligencia a los sistemas de tubos actuales, de manera que consigan **mejorar la calidad del agua, evitar la deposición y acumulación de suciedad en las tuberías y mejorar el rendimiento del sistema global, minimizando las pérdidas de carga y el consumo energético en los sistemas de bombeo**. Por otro lado, se pretende que el sistema de tuberías a desarrollar sea completamente monitorizable y sirva de elemento generador de inteligencia en relación con todas las incidencias de la red y parámetros de gestión de uso habitual. De esta manera el sistema actuará de forma proactiva y predictiva, mejorando la calidad del agua y evitando que uno de los recursos cruciales para la población se pierda por posibles fugas o intrusiones no detectadas (o detectadas de forma tardía), en las canalizaciones, así como las consecuencias de estas en la calidad del agua.

De esta forma, el sistema de canalización que se pretende desarrollar estará compuesto por un conjunto de tubos multicapa (con propiedades funcionales y estructurales mejoradas) y accesorios, combinados con una plataforma integral de monitorización dotada de diferentes configuraciones de sensorización, con el objetivo de facilitar la detección temprana de fugas o intrusiones ilegales en la red. La solución está controlada por un software que identifica todos los sucesos ocurridos en el sistema.

Desde el punto de vista de las soluciones de conducción de agua innovadoras, hay que destacar que, tradicionalmente, los tubos que son empleados en conducciones de fluidos a presión (agua, gas, etc.) están compuestos por uno o varios materiales (plásticos, metales, etc.) en configuración monocapa, es decir, un solo material o una mezcla de ellos, configurando el volumen total de la pared de la tubería. Sin embargo, la innovación propuesta plantea el desarrollo de sistemas de conducciones multicapa, formados por varias capas de distintos materiales no unidas solidariamente, cada una de ellas con una función específica:

- a) **CAPAS INTERNAS:** Son las capas de la tubería que estarán en contacto con el fluido. Su presión de diseño estaría ajustada a la del tubo monocapa equivalente de la aplicación específica. El objetivo de esta capa interna es resistir la presión de diseño de la aplicación para la que se usa el tubo. Puede incorporar elementos o sustancias que mejoren o acondicionen las características del fluido que transporta, en este caso aditivos que se adicionan al polímero de la tubería para mejorar sus

propiedades, entre los que se encuentran los aditivos antimicrobianos y aquellos otros que permitan alcanzar unos mínimos niveles de rozamiento, modificaciones de tensiones superficiales, etc., de cara a evitar la formación de biofilm y la deposición y acumulación de suciedad en los conductos.

b) **CAPAS INTERMEDIAS:** Estas capas se sitúa sobre la capa interna y son las que dotan al sistema de canalización de cualidades detectoras, sirviendo como elemento primario de monitorización ante una fuga o toma ilegal. Además, en el que caso de una fuga o fractura en la capa interna, esta capa intermedia serviría como capa de transporte para el fluido fugado, abriendo un canal desde el punto de rotura hasta el punto donde estén situados los dispositivos sensores, generalmente en elementos críticos como los manguitos. Por otro lado, en el caso de que se realice una captación ilegal, al insertar un elemento de toma sin el consentimiento del titular de la red, se atravesaría esta capa y el agua circulante por el tubo conseguiría realizar el mismo camino hasta el detector que en el caso de una fuga.

c) **CAPAS EXTERNAS:** Estas capas están situadas sobre la capa intermedia o de transporte. Su objetivo es proporcionar un acabado externo y servir de límite superior del canal de transporte creado. Al igual que la interna puede estar conformada de varias capas unidas solidariamente, actuando como capa de acabado o recubrimiento. Por otro lado, esta capa debe estar diseñada para resistir por un tiempo breve la existencia de presión provocada por una fuga en la capa interna hasta que ésta se reconduce por la capa intermedia de transporte. Como capa de acabado externo, puede incorporar elementos que soporten las agresiones externas, ambientales o de manipulación.



Figura 17: Esquemas de funcionalidad de cada capa y esquema de configuración del concepto multicapa a medida con capacidad detectora

Por tanto, este desarrollo estructural de conducciones multicapa actuaría como el elemento primario de detección de fugas y pérdidas ante

posibles fallos o roturas en su capa interna, incorporando la capa intermedia como elemento de transferencia del fluido fugado hacia uno o ambos de sus extremos. En una instalación prototipo, estos tubos deben anclarse de forma consecutiva mediante manguitos, quedando solidariamente unidos hasta construir una línea continua mediante el método de polifusión. Por tanto, los manguitos, como elementos de unión entre sectores, se convierten en los sistemas portadores de los elementos detectores y que transmitirán la incidencia de alarma al sistema de control cuando el fluido fugado llegue a ellos. Este factor añade una nueva innovación a la propuesta, ya que los manguitos incorporados a este nuevo sistema de canalización deberán ser diseñados, modificados y desarrollados ad-hoc con respecto a los sistemas tradicionales de unión en tuberías plásticas, debido al aumento de su funcionalidad y su importancia en la herramienta integral de detección temprana. Para ello, se desarrollarán nuevos procesos de unión mediante soldadura socket (polifusión) o mediante electrofusión. Las tipologías de sensores a colocar en los manguitos de unión pueden variar en cada sección entre cables sensor (detección de humedad o presencia de agua), hilos o cables conductores (para detección de cortocircuitos que induzcan la presencia de agua o humedad en el sistema, RFID s o etiquetas TAG (para almacenamiento y recuperación de datos mediante señales de radiofrecuencia, proporcionar señales de alarma de fuga, presencia de humedad, etc...), dispositivos sensores (para detectar la presencia de fugas por pérdidas de presión, identificación o geolocalización de los tubos), cables de antena RFID, sensores de fibra óptica (para transmisión de redes de datos).

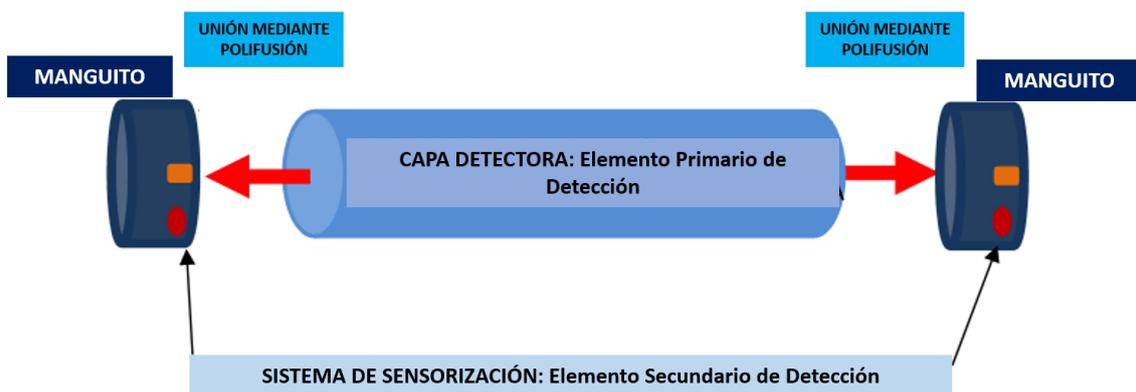


Figura 18: Configuración del sistema con elementos sensores

- A) Elemento Primario de Detección: Lleva la información de la fuga hasta el manguito (localización del elemento de detección secundario). Este será el fluido que se transporta por la red.

- B) Elemento Secundario de Detección: Sensor/es o dispositivo/s que traducen y transmiten la información de la incidencia hacia el sistema de control.

Desde el punto de vista de la calidad del agua, los materiales planteados para el sistema multicapa permiten evitar fenómenos de oxidación, corrosión o incrustaciones metálicas, no favorecen el crecimiento microbiano y aportan una gran resistencia/barrera química como herramienta para facilitar la potabilización/seguridad del agua. Poseen un excelente comportamiento hidráulico, alta resistencia a las corrientes telúricas y a los ácidos y bases y atóxicas y presentan un comportamiento óptimo para suelos ácidos sin interacción alguna con el terreno.

Como segundo bloque del sistema integral de control, se desarrollará la arquitectura para el sistema de comunicaciones y las configuraciones de red y dispositivos de monitorización que posibiliten la adquisición, transmisión, tratamiento y análisis de los parámetros recogidos por los sensores desplegados en las canalizaciones multicapa. Igualmente se desarrollará una **herramienta software ad-hoc de simulación de los sistemas de comunicación** que centralice y monitorice los datos recogidos por la red de sensores. Este desarrollo implicará implementar sistemas que permitan reproducir las nuevas estructuras físicas y lógicas que se diseñen sobre las redes de distribución de aguas, modelar e integrar los sistemas de sensores a nivel software y la interfaz de comunicación con ellos y desarrollar interfaces de usuario intuitivos, amigables y adaptados a cada perfil técnico:

- Diseño físico: dada una topología física para la red de distribución de aguas, se definirá la superposición e integración, a nivel físico, de la sensorica y los elementos de comunicaciones necesarios. Se evaluará y definirá la arquitectura del sistema, así como las necesidades técnicas necesarias para su posterior desarrollo.
- Diseño lógico: se establecerá la topología lógica que tendrá la red: torre de protocolos, planos conceptuales, configuraciones de dispositivos, etc.

El despliegue de esta tecnología de carácter estratégico para el aumento en el aprovechamiento y eficiencia en el uso del agua permitirá mediante una solución integral de adquisición de datos relevantes, la consecución de varios desafíos tecnológicos para la monitorización y el control de la ANR en este tipo de instalaciones:

- Disponer de sistemas de detección online automatizados que permitan supervisar en tiempo real el flujo y la presión en la red de distribución de agua (detección de fluctuaciones anormales en el sistema y detección temprana de fugas).
- Disponer de una herramienta que proporciona estrategias de sectorización real de la red, acotándola en sectores más controlables, de forma que se facilite la detección, aislamiento y aplicación de medidas

correctivas de fugas si se observa un aumento en las pérdidas en un sector específico.

- Incorporar soluciones de medición avanzada y lectura remota para habilitar una monitorización continua del consumo de agua en tiempo real, identificando patrones anormales de consumo y posibles fugas.
- Validar dinámicas de inspección preventiva y predictiva de los sistemas de conducción, válvulas, manguitos y otros componentes del sistema de distribución de agua.
- Integrar procedimientos de análisis de datos mediante herramientas que evalúen patrones de pérdida que proporcionen información valiosa sobre áreas problemáticas y tomar decisiones informadas y de forma predictiva sobre la gestión del sistema.

Por lo tanto, mediante el desarrollo de esta solución innovadora se pretenden cumplir los siguientes objetivos específicos:

- Minimizar las incidencias producidas por las características estructurales actuales de los sistemas de tubos presentes en los sistemas de transporte de agua potable.
- Mejorar la calidad del agua que circula por el sistema que se pretende desarrollar.
- Minimizar las pérdidas de carga y consumo energético mejorando el rendimiento de la instalación.
- Reducir las necesidades de captación de agua. La mejora en las redes por la vía de la reducción de las fugas reduciría la necesidad de captar agua para garantizar el mismo nivel de abastecimiento a la población y permitiría optimizar las instalaciones hidráulicas para la captación (que tienen un importante impacto medioambiental en las zonas de afección).
- Minimizar las fugas de agua producidas sobre una red en servicio y detectar el posible mal funcionamiento de la instalación. El ahorro de agua beneficia a todos los usuarios del sistema, así como a las compañías que lo gestionan que poseerán un sistema de gestión optimizado.
- Automatizar todos los sistemas de gestión del agua, de forma que no sea necesario esperar a que una fuga se manifieste, sino que la obtención de información previa y de forma continuada haga detectables las denominadas "fugas invisibles".
- Diseñar un sistema de uso e instalación prototipo, que permita una mejor gestión integral del agua como recurso. La buena gestión del agua disminuye los costes asociados a captación, potabilización, suministro, alcantarillado y depuración.

Como consecuencia directa de estos objetivos específicos, se alcanzarían los siguientes objetivos a nivel macro y de valor estratégico, tanto para el sector de la gestión del agua como para la sociedad:

- Mejora en la gestión del fluido, con la construcción de redes que minimicen las pérdidas por fuga, por captación ilegal, por mal estado general o por mantenimiento deficiente de la red. Además, la plataforma permitirá monitorizar y automatizar de forma integral y coordinada, todos los elementos de gestión de una red, dotando al sistema de inteligencia para adquirir características predictivas ante anomalías que afecten a la eficiencia global. Como dato relevante, el ahorro de rendimiento energético en canalizaciones de tuberías plásticas para agua potable en todo su ciclo de vida, con respecto a la de materiales tradicionales es de más de un 30%.
- Mejora en los materiales y elementos de distribución empleados, mediante una optimización mecánica y estructural que actúe como primer elemento sensor, aporte una mayor fiabilidad a las infraestructuras de canalización y contribuye a una mayor sostenibilidad medioambiental. Por otro lado, los elementos informadores (adquisición, monitorización, tratamiento, análisis de datos y gestión de alertas) proporcionarán los datos relevantes y las capacidades para una mejor gestión del sistema de canalizaciones.
- Mejora en el rendimiento económico, disminuyendo los costes asociados al mantenimiento de una red. Por ejemplo, en el caso del agua potable, la eficiencia que aportaría esta plataforma de control automatizada disminuiría los costes asociados a varias de las etapas del ciclo integral del agua, como la captación, potabilización, suministro, alcantarillado y depuración.

Subreto 1.2: Plataforma automatizada de estaciones de alerta temprana para monitorización de aguas.

Como se mencionaba en los antecedentes del RETO 1, se precisan soluciones que abarquen desarrollos en la línea de **implementar plataformas de bajo coste, desarrollar soportes configurables de alta flexibilidad y desarrollar algoritmos para el seguimiento/interpretación de parámetros de calidad del agua y su relación con los ambientales**, que permitan optimizar los procesos establecidos en las instalaciones del sistema de agua urbana de A Coruña, para garantizar el suministro y la salud de los ciudadanos de área abastecida.

La solución se plantea en base a la integración de elementos bajo una configuración innovadora, en la que los elementos de medición y sondas de bajo coste se integran en módulos escalables y de configuración abierta. De esta forma se implantan en un sistema que permita su operación, mantenimiento y calibración en una plataforma robotizada y con altas

conectividades, así como un desarrollo de interpretación de variables adaptado a cada caso, para la correcta interpretación en tiempo real de los resultados. Este tipo de solución permitirá el despliegue de más unidades y su integración de cara a un control, con el objetivo de mejorar el conocimiento y la capacidad de toma de decisiones. Todo ello mejorando sensiblemente la inversión y sobre todo los costes de operación de los sistemas comerciales existentes.

Para abordar los desafíos mencionados, se propone la **implantación de una red de estaciones de alerta temprana que, con criterios de análisis y fiabilidad superiores a los que dispone actualmente EMALCSA en sus instalaciones, permita reducir sustancialmente los costes de implantación y explotación y extender la red a otros puntos de interés no controlados**. De esta forma, se explotan las ventajas que aporta la miniaturización de las sondas y su integración en plataformas fluídicas modulares de bajo coste, fácilmente intercambiables y que analizan un amplio rango de indicadores de calidad.

Las ventajas que se derivan del desarrollo de un sistema de este tipo son:

- La reducción del consumo de muestras y reactivos, y con ello la frecuencia de testeo y mantenimiento;
- La reducción del tamaño, peso y consumo de energía, y con ello los costes de instalación en campo;
- La fácil automatización del proceso de medida/calibración en funcionamiento autónomo, con cadencias de muestreo adaptadas a la evolución de los parámetros estudiados.

De forma más concreta, se propone una solución basada en el concepto de bloque base, cuyo sistema completo incorpora tres unidades funcionales:

- a) **Unidad de módulos de análisis**, que constaría a su vez de 4 subunidades, en función del principio de medida necesario para determinar el parámetro en cuestión: potenciométricos, amperométricos, parámetros electroquímicos y ópticos. Cada subunidad estaría formada por los diferentes módulos, asociados cada uno de ellos a un parámetro distinto. Los módulos de análisis serían intercambiables, mediante el uso de conceptos "Lock & Key". Esto constituye un aspecto claramente diferenciador sobre los modelos existentes donde los elementos suelen venir predefinidos de fábrica sin posibilidad de intercambio directo en función de necesidades específicas, bien estructurales o coyunturales. Para ello, habrá una serie de alojamientos donde se introducirían los módulos de análisis para cada uno de los parámetros a monitorizar y cuantificar. Los módulos estarían constituidos por plataformas de microfluídica que incorporan todos los elementos necesarios para la realización de cada uno de los análisis. De esta forma, en función del principio de detección elegido, óptico o electroquímico,

incorporarían ventanas transparentes o electrodos integrados monolíticamente o alojamientos para la integración de éstos. Los módulos pueden ser fácilmente extraídos de forma independiente para su reemplazo/intercambio, manteniéndose en el alojamiento los componentes fijos de la detección y la electrónica asociada a la adquisición y tratamiento de señales. Un dato que ilustra el enorme impacto de la solución planteada es que, con este planteamiento conceptual, todos los elementos necesarios para el desarrollo del sistema ocuparían un espacio 10 veces más reducido que el ocupado por los sistemas actuales, aportando características de miniaturización a la tecnología innovadora desarrollada.

Desde un punto de vista más concreto, las variables a monitorizar serían la conductividad, pH, redox, oxígeno disuelto, amonio, nitrato, fósforo, materia orgánica, turbidez, clorofila y cloro libre. Estos parámetros permitirán un mejor control de la calidad de las aguas superficiales y de los procesos de eutrofización.

Para la obtención de las plataformas de microfluídica, componente básico de todos los módulos de análisis, se plantea la utilización de tecnologías de laminación multicapa de sustratos poliméricos con el objetivo de proporcionar unas características más adecuadas en términos de costes de fabricación, rapidez de prototipado, robustez, transparencia del dispositivo y compatibilidad con otros procesos tecnológicos imprescindibles para integrar elementos de fluídica, sistemas de detección y electrónica de control. En base a tecnologías ya validadas en entornos controlados y en aplicaciones de campo equivalentes, se abre la posibilidad de integrar de forma monolítica cámaras, micromezcladores, membranas de separación, filtros, etc. y sistemas de detección electroquímica y óptica.

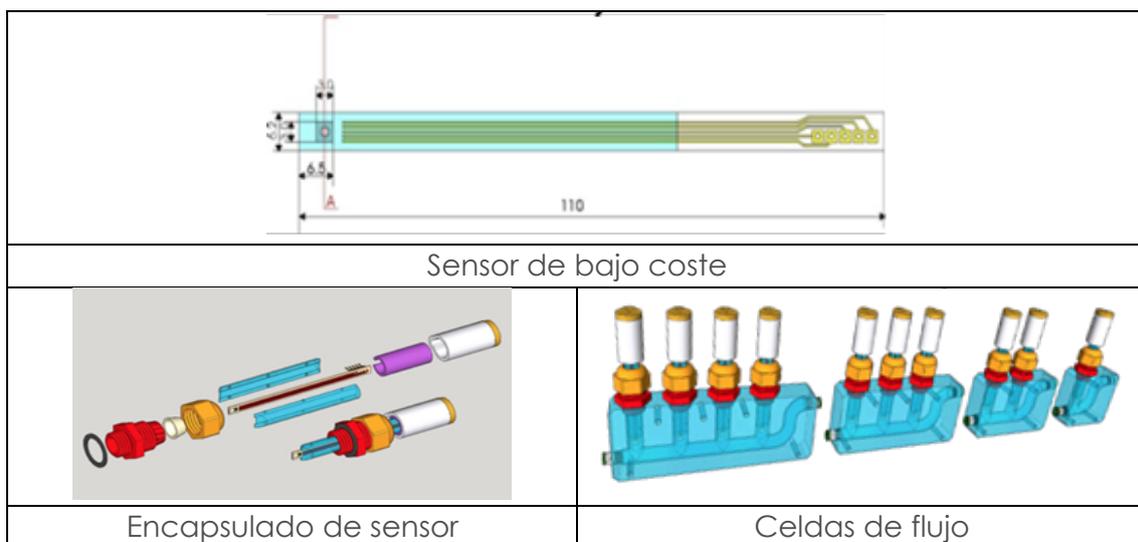


Figura 19: Esquemas de sensores, encapsulados y celdas de flujo (propuesta preliminar)

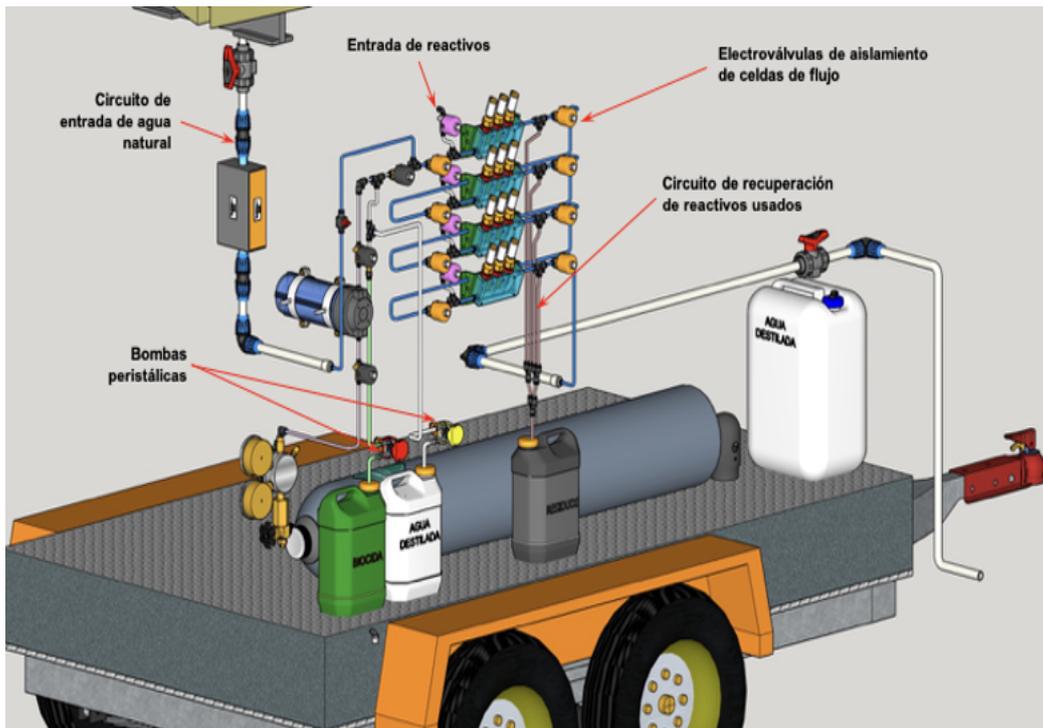


Figura 20: Esquema general de la instalación de los módulos (propuesta preliminar)

b) Unidad de gestión de fluidos: sería la encargada de la gestión de líquidos dentro de los diferentes módulos de análisis, operando microbombas y microválvulas para realizar la toma de muestras, autocalibración, medida y autolimpieza. Básicamente se trata de una acción de "robotización" de estas funciones que en los sistemas actualmente existentes siempre se realizar mediante la operación de un especialista. Los módulos de análisis, diseñados para operar en condiciones de flujo continuo, aportarán simplicidad, robustez, versatilidad y alta velocidad de análisis. La operativa de los sistemas de gestión de fluidos de todos los módulos de análisis será supervisada por una electrónica de control configurable y desarrollada de forma ad-hoc.

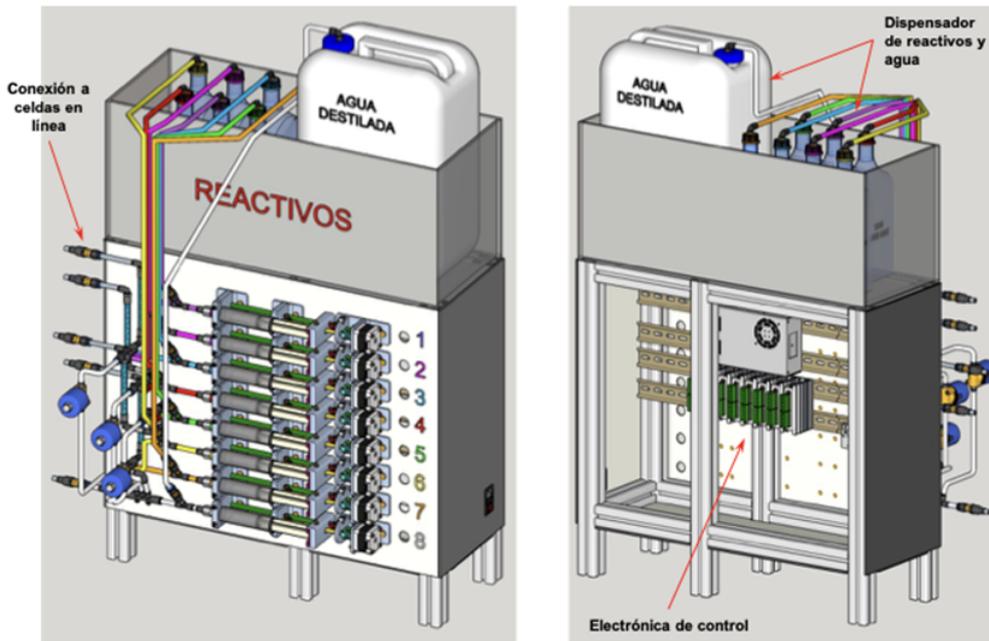


Figura 21: Propuesta preliminar del desarrollo del sistema de microfluídica

- Unidad de electrónica de control y adquisición y procesamiento de señales: sería la encargada de la adquisición y procesamiento de señales de los módulos de análisis y su posterior transmisión, vía internet o satélite, al Centro de Control de EMALCSA, así como del control de la unidad de gestión de fluidos, siendo esta última la que presenta el mayor reto innovador en cuanto al estado del arte y la que aporta el valor diferencial de la propuesta.
- Sistema adaptable para conexión de la plataforma en diferentes configuraciones con los puntos de toma de agua, tanto en agua natural (ríos, embalses), como en redes a presión y depósitos.
- Sistema de alimentación eléctrica, tanto para su conexión a redes como para autoabastecimiento, mediante sistemas autónomos de diferentes configuraciones según las necesidades de instalación.
- Sistema de comunicaciones e integración en plataformas de gestión, incluido el alojamiento de herramientas software de análisis y disposición de información.

El diseño conceptual del sistema debe incluir un bloque base donde se integren módulos colorimétricos específicos intercambiables para el análisis de los parámetros seleccionados en cada estación. Cada módulo constaría de una plataforma fluidica, que integre sondas y/o sistemas de visión artificial para la detección óptica de cada parámetro a medir, de forma que permitan realizar automáticamente la toma de muestras, el acondicionamiento, las etapas de medición, la autocalibración o la autolimpieza. De la misma forma, este bloque base incorporaría la electrónica de procesamiento de señal generada en los

módulos y el control de la gestión de fluidos. Con este planteamiento conceptual, se prevé que el tamaño de la estación de alerta se pueda reducir hasta un 70% frente al de las actuales.

Además, el sistema incorporará herramientas de autoalimentación eléctrica, soluciones de captación en función de distintas tipologías (río, depósito, red a presión, otros), así como herramientas vinculadas a algoritmos de inteligencia artificial (IA), mediante el uso de redes neuronales que permitan corregir posibles deficiencias de las sondas (derivas, interferencias), minimizar las acciones de mantenimiento de éstas y, además, predecir la aparición de eventos.

Las fases del subreto 1.2 que definen su alcance se relacionan con la fabricación de los diferentes elementos que integran el prototipo de Estación de Alerta, su evaluación en laboratorio y su validación en campo tanto en estaciones de control de red de distribución como de control de aguas superficiales:

- 1) Fabricación del bloque base y las plataformas tipo *lock&key* para cada uno de los parámetros seleccionados;
- 2) Evaluación de su funcionamiento en condiciones controladas;
- 3) Validación en campo en condiciones reales;
- 4) Diseño, desarrollo e implementación de sistemas de explotación de datos;
- 5) Análisis de los resultados obtenidos y pruebas de ajuste y puesta a punto final.

Por tanto, la solución planteada cubrirá las especificaciones de modularidad y escalabilidad exigidas en instalaciones de esta envergadura como las de EMALCSA. El uso de módulos específicos e intercambiables de bajo coste, elevada robustez y pequeño tamaño permitirán configurar a medida la estación de alerta, manteniendo una estructura base común, lo que permitirá ampliar el número de estaciones de control en procesos de escalado. La miniaturización permitirá un bajo consumo tanto de muestra y reactivos como de energía, minimizando el mantenimiento de los equipos (factor de sostenibilidad). Por su parte, el sistema automático de calibración y autolimpiado junto al uso de IA permitirán mejorar la fiabilidad global de las estaciones y la calidad de información obtenida.

En general, la solución planteada aporta a los equipos robustez, alta frecuencia de análisis, versatilidad y una gran autonomía con un aumento en su nivel de innovación exponencial, al cambiar el paradigma de las instalaciones actuales a través de un escalado y miniaturización compatible con la robustez y operatividad exigibles en instalaciones con requerimientos tan estrictos como las de monitorización de aguas en sistemas de agua urbana.

Subreto 2.1: Sistema Integrado de Bombeo en Régimen Hiperlaminar (SIBRH)

Las conducciones de agua pueden funcionar en dos configuraciones, en función del modo en el que circula el flujo de agua: laminar o turbulenta. El régimen laminar tiene muchas menos pérdidas energéticas y es, por tanto, mucho más eficiente. Sin embargo, el régimen laminar es normalmente inestable para grandes caudales y acaba degradándose en esas situaciones hasta convertirse en turbulento. Por su parte, el régimen turbulento es poco eficiente y presenta muchas pérdidas energéticas por fricción. De forma más concreta, en régimen laminar, el flujo en tuberías tiene unas pérdidas por fricción proporcionales al caudal que circula por ellas, es decir, al duplicar el caudal se duplican las pérdidas energéticas y al triplicar el caudal se triplican las pérdidas, siendo éste un grado de eficiencia alto. En régimen turbulento, el habitual para los niveles de caudal altos, las pérdidas por fricción son proporcionales al cuadrado del caudal. Esto quiere decir que si duplicamos el caudal multiplicamos las pérdidas por cuatro y si triplicamos el caudal multiplicamos las pérdidas por nueve. Lamentablemente, los flujos laminares convencionales sólo ocurren con caudales bajos y cuando el caudal crece el flujo laminar convencional se vuelve inestable, colapsa y se hace turbulento, aumentando sus pérdidas.

Teniendo en cuenta este planteamiento físico de partida, todas las conducciones actuales de EMALCSA funcionan en régimen turbulento debido a su elevado volumen de caudal, y son, por tanto, poco eficientes. **Los avances tecnológicos enfocados para generar un régimen laminar con grandes caudales, conocido como régimen hiperlaminar, están en plena fase de desarrollo, pero presentan unos resultados muy satisfactorios y prometedores para casos de uso como el de EMALCSA.** Como antecedentes, el régimen hiperlaminar es tan eficiente como el régimen laminar convencional, pero en este caso va asociado a caudales muy altos y no se vuelve inestable y se ha ensayado con éxito en entornos controlados y en soluciones de demostración para instalaciones acotadas del sector industrial.

Teniendo en cuenta las características propias de la red de aguas gestionada por EMALCSA, en el marco del proyecto se propone **construir un prototipo industrial de bombeo y conducción de agua en régimen hiperlaminar, que sea escalable para sustituir a los sistemas de bombeo existentes actualmente en EMALCSA, caracterizados por un nivel eficiencia acorde a los regímenes turbulentos.** En este sentido, se estima que la consecución de un cambio de régimen en estos volúmenes de caudal provocaría un ahorro energético que puede superar el 30% respecto a los costes actuales. Huelga decir que incluso reducciones menos ambiciosas ya tendrían un impacto enorme en los costes y

rendimiento energético de un sistema de gestión de aguas municipal de la envergadura como el de EMALCSA.

En base a estos antecedentes, el proyecto plantea avanzar en el **desarrollo de soluciones físicas innovadoras que actúen sobre la teoría matemática que valida la consecución y el mantenimiento de flujos laminares en caudales muy altos, como los presentes habitualmente en las instalaciones de EMALCSA**. Este tipo de flujo laminar no colapsa, no se vuelve inestable y no se transforma en turbulento. Así, de conseguir este objetivo, las pérdidas energéticas del flujo hiperlaminar serían también proporcionales al caudal, como se mencionaba previamente, en lugar de ser proporcionales al cuadrado del caudal, como ocurre con los flujos turbulentos. Para ello, se aprovecharán los resultados de pruebas de validación a escala laboratorio y en condiciones controladas que han permitido comprobar un comportamiento hiperlaminar equivalente al que predecían los modelos matemáticos. Las variables que habrá que monitorizar en cada caso son el gradiente de presiones, los perfiles de velocidades parabólicas o las mediciones de pérdidas energéticas proporcionales al caudal.

Para la consecución de este objetivo, será necesario **desarrollar** (diseño + fabricación + puesta a punto) **diferentes tipologías de dispositivos laminarizadores, escalando cada uno en función de la aplicación concreta a validar por EMALCSA dentro de su red de distribución**. Ese será el primer paso de la construcción de un prototipo industrial, funcional y escalable, que sea adecuado para aplicaciones industriales (recomendaciones para efectuar el escalado del prototipo y sustituir los actuales sistemas de bombeo de EMALCSA). De forma más concreta, el prototipo industrial debería abordar como mínimo los siguientes aspectos:

- Mover caudales industrialmente relevantes, del orden de 20 m³/hr.
- Utilizar tuberías de un tamaño que pueda identificarse con las condiciones reales de instalaciones industriales (del orden de DN100).
- Emplear elementos y subcomponentes estandarizados y fácilmente localizables en el mercado industrial, de forma que el proceso de escalado del prototipo cumpla con los requerimientos de factibilidad y rentabilidad.

Las soluciones prototipo constarían de depósitos, sistemas de bombeo con caudal controlado, dispositivos laminarizadores, reguladores de presión, una serie de sensores de monitorización (presión, caudal, temperatura ...) en distintos puntos estratégicos, electroválvulas regulables y un sistema de control ad-hoc que gobierne todos los elementos anteriores.

Como se mencionaba previamente, el componente principal del prototipo industrial sería el dispositivo laminarizador, ya que es el elemento de innovación fundamental y el que aportará las verdaderas características funcionales de hiperlaminarización de los desarrollos de la presente propuesta. Por lo tanto, se ensayarán diversos tipos de laminarizadores y se analizará y evaluará su

rendimiento. El rendimiento de un laminarizador se mide por su rapidez y facilidad para crear flujos hiperlaminares con distintos rangos de caudales. De esta forma, durante el proyecto se determinará cual es el laminarizador que mejor rendimiento presenta para cada rango de caudales o zona de la red de distribución de EMALCSA.

Otro elemento importante del prototipo será el sistema de mando y control unitario, ya que este sistema “vigilará” continuamente la lectura de todos los sensores e incorporará los datos obtenidos a las ecuaciones que tiene programadas en su interior. Para ello, será necesario implementarle un potente procesador matemático que le permitirá efectuar los cálculos en milisegundos, con lo que será **capaz de determinar en cada instante de forma online la posición de funcionamiento del laminarizador para que el régimen no se vuelva turbulento.**

De forma más concreta, los pasos que se deben seguir para la ejecución de los desarrollos planteados abarcarían:

- Diseño y fabricación de los laminarizadores intercambiables. Se contempla, incluso, la posibilidad de combinar dos o más principios distintos en el mismo dispositivo laminarizador, para así aumentar su potencial eficiencia. Estos laminarizadores estarán sincronizados con las bombas que impulsan el flujo.

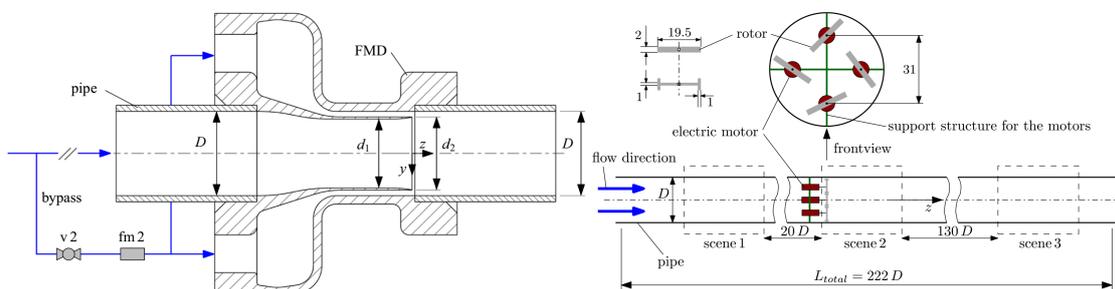


Figura 22: Esquemas de referencia de un laminarizador de anillo y un laminarizador de rotores, respectivamente, adaptados a los principios físicos de hiperlaminarización

- Sistema de control. La sincronía entre laminarizador y bomba de impulsión no puede conseguirse sin un sistema de control que calcule, en tiempo real, las ecuaciones del movimiento y determine los valores del gradiente de presión necesarios para cada valor del caudal. Este sistema de control debe medir permanentemente los parámetros relevantes del flujo y, a partir de dicha información, calcular los nuevos valores de consigna para laminarizador y bomba. Mientras estos dispositivos se mantengan sincronizados, aunque sólo lo estén aproximadamente, la laminarización completa se podrá mantener con caudales industriales.
- Diseño, fabricación, construcción y caracterización de la bancada experimental que constituirá el prototipo industrial, incluyendo la

instalación del depósito de agua, bomba a caudal controlada por reguladores de presión, electroválvulas regulables, red de sensores para las tareas de medición y monitorización y el sistema de control.

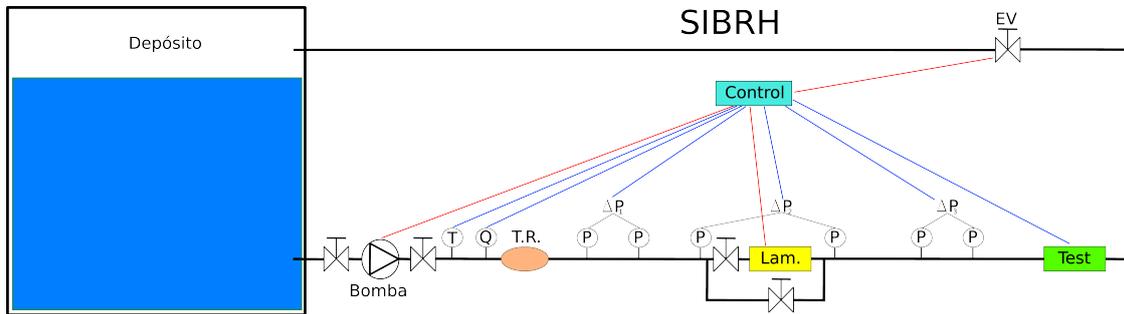


Figura 23: Esquema de planteamiento de prototipo de SIBRH

- Adquisición masiva y tratamiento avanzado de datos para la caracterización funcional de los laminarizadores y el prototipo completo, incluyendo pruebas y ensayos a diferentes caudales y presiones, con diferentes configuraciones y tipologías de laminarizadores.
- Análisis de resultados y optimización iterativa de los desarrollos.

El objetivo final para EMALCSA sería la sustitución de los actuales sistemas de bombeo por otros nuevos que trabajen en régimen hiperlaminar, con el consiguiente ahorro significativo en costes de explotación. De esta forma, EMALCSA obtendría un ahorro sustancial en sus costes de explotación y dispondría del know-how y toda la información para desarrollar nuevos sistemas de bombeo en régimen hiperlaminar para todas sus instalaciones. La posibilidad de disponer de un prototipo industrial, también le abre el camino a EMALCSA para poder seguir ensayando en el futuro cualquier nuevo diseño de laminarizador o cualquier nueva situación de flujo que surja en las instalaciones para incorporar nuevas soluciones innovadoras sus sistemas de bombeo más eficientes.

Si enlazamos la tecnología propuesta en **Emalcsa#120** con las directrices para la determinación de las **especificidades funcionales en el desarrollo de sistemas de información que fija la norma UNE-EN 16271:2013**, se pueden identificar varias especificidades funcionales a tener en cuenta para el desarrollo de las nuevas soluciones disruptivas para monitorización y aumento de eficiencia propuestas por EMALCSA:

DIRECTRICES	ESPECIFICIDADES FUNCIONALES
SISTEMAS INTELIGENTES EN REDES DE AGUA BASADAS EN CONDUCCIONES CON CAPACIDADES MEJORADAS	
OBJETIVOS DEL SISTEMA	Definir los objetivos del sistema, incluyendo la mejora de la eficiencia en la conducción de agua y la capacidad de transmitir información de la red.

ESPECIFICACIONES FUNCIONALES	<p>Propiedades funcionales y estructurales mejoradas que se buscan al utilizar sistemas multimaterial en las tuberías y elementos de unión.</p> <p>Detallar cómo los materiales y elementos de unión actúan como dispositivos transmisores de información y cómo se optimiza la capacidad de transmisión de datos.</p> <p>Desarrollar la inteligencia integrada en los materiales para permitir la autodetección de problemas y la toma de decisiones local.</p> <p>Implementar sistemas de detección de fugas integrados en los materiales para una respuesta inmediata a eventos anómalos.</p> <p>Establecer cómo los sistemas multimaterial mejoran la gestión de flujos, minimizando pérdidas de carga y optimizando la conducción de agua.</p> <p>Especificar cómo se logra la monitorización continua de las condiciones de las tuberías y cómo se transmiten estos datos a sistemas de gestión y control.</p>
REQUISITOS DE RENDIMIENTO	Establecer criterios de rendimiento para la conducción eficiente y securizada de agua y la transmisión confiable de datos a lo largo de la red.
CONTROL Y MONITORIZACIÓN	Desarrollar un sistema de control para la gestión centralizada de la red y la monitorización en tiempo real del estado de las tuberías y la calidad del agua.
SENSORES INTEGRADOS	Integrar sensores en los materiales de las tuberías y elementos de unión para recopilar datos sobre presión, temperatura, calidad del agua, y otros parámetros relevantes.
PROTOCOLOS DE COMUNICACIÓN	Definir protocolos de comunicación eficientes para la transmisión de datos desde las tuberías hasta la estación central y entre elementos de la red.
SEGURIDAD Y PROTECCIÓN	Implementar medidas de seguridad para proteger la integridad de los datos y prevenir interferencias no autorizadas.
INTEROPERABILIDAD	Hay que asegurar que la solución sea interoperable con otros sistemas de gestión y monitorización existentes en la red de agua.
MANTENIMIENTO Y DIAGNÓSTICO	Desarrollar capacidades de mantenimiento predictivo basado en datos recopilados, anticipando posibles problemas en la red.
EFICIENCIA ENERGÉTICA	Considerar medidas para mejorar la eficiencia energética de la red, minimizando pérdidas de carga y optimizando el uso de recursos.
ADAPTABILIDAD Y FLEXIBILIDAD	Diseñar la red para adaptarse a cambios en la demanda, cambios en la calidad del agua, y para futuras actualizaciones tecnológicas y normativas.
PLATAFORMA AUTOMATIZADA DE ESTACIONES DE ALERTA TEMPRANA PARA MONITORIZACIÓN DE AGUAS	

OBJETIVOS DEL SISTEMA	Definir claramente los objetivos del sistema, incluyendo la detección temprana de anomalías en la calidad del agua y la reducción de costos de implantación y explotación.
ESPECIFICACIONES FUNCIONALES	<p>Sensores y parámetros de monitorización.</p> <p>Frecuencia de muestreo de datos para asegurar la captura adecuada de cambios en la calidad del agua.</p> <p>Algoritmos de detección temprana de anomalías basados en datos de los sensores.</p> <p>Infraestructura de la plataforma central y sus capacidades de procesamiento y almacenamiento.</p> <p>Protocolos de comunicación para la transmisión eficiente de datos entre las estaciones y la plataforma central.</p> <p>Procedimientos para la calibración regular de sensores y su mantenimiento.</p> <p>Sistema de notificación de alertas que informe rápidamente sobre eventos de calidad del agua fuera de los parámetros aceptables.</p> <p>Sistemas de captación configurables y adaptables, así como alimentación eléctrica confiable.</p>
REQUISITOS DE RENDIMIENTO	Establecer criterios de rendimiento para la detección temprana de contaminantes y la precisión en la monitorización de parámetros de calidad del agua.
CONTROL Y MONITORIZACIÓN	<p>Especificar métodos de control para la plataforma, asegurando la monitorización constante de parámetros clave.</p> <p>Definir protocolos de comunicación para la transmisión de datos entre estaciones y la plataforma central.</p>
SEGURIDAD Y PROTECCIÓN	Incorporar medidas de seguridad para proteger la integridad de los datos y garantizar la confidencialidad de la información sensible.
INTEROPERABILIDAD	Establecer requisitos de interoperabilidad para la integración con otros sistemas de gestión y monitorización.
MANTENIMIENTO Y DIAGNÓSTICO	Definir procedimientos de mantenimiento y diagnóstico para garantizar el funcionamiento óptimo del sistema.
EFICIENCIA ENERGÉTICA	Considerar medidas para mejorar la eficiencia energética del sistema, minimizando el consumo de recursos.
ADAPTABILIDAD Y FLEXIBILIDAD	Diseñar la plataforma para adaptarse a cambios en la calidad del agua y actualizaciones tecnológicas.
CUMPLIMIENTO NORMATIVO	Hay que asegurar que el diseño y funcionamiento cumplan con normativas y regulaciones específicas relacionadas con la calidad del agua.
DOCUMENTACIÓN	Establecer requisitos de documentación detallada, incluyendo manuales de operación y mantenimiento.
SISTEMA INTEGRADO DE BOMBEO EN RÉGIMEN HIPERLAMINAR (SIBRH)	
OBJETIVOS DEL SISTEMA	Definir claramente el objetivo del sistema de bombeo en régimen hiperlaminar, como la mejora de la eficiencia energética, la reducción de pérdidas de carga y la optimización del rendimiento del sistema, siempre con la premisa de seguridad y confiabilidad.
REQUISITOS DE RENDIMIENTO	Establecer los criterios de rendimiento, como la capacidad de mantener un flujo laminar, la reducción de pérdidas de carga, la eficiencia del sistema, y la capacidad para adaptarse a variaciones en la demanda.

CONTROL Y MONITORIZACIÓN	Especificar los métodos de control del sistema, incluida la capacidad de mantener un flujo hiperlaminar constante en diversas condiciones operativas.
	Definir los parámetros a monitorear, como la presión, el caudal y otros indicadores relevantes.
SEGURIDAD Y PROTECCIÓN	Establecer medidas de seguridad para evitar posibles problemas operativos, como la detección y prevención de situaciones de riesgo, y la protección contra posibles fallos del sistema.
INTEROPERABILIDAD	Si el sistema debe integrarse con otros componentes o sistemas, especificar los requisitos de interoperabilidad y comunicación.
MANTENIMIENTO Y DIAGNÓSTICO	Definir los procedimientos de mantenimiento y las capacidades de diagnóstico del sistema, incluyendo la detección y corrección de posibles fallas.
EFICIENCIA ENERGÉTICA	Establecer requisitos para la eficiencia energética del sistema, considerando la optimización de la energía utilizada en el bombeo y en la regulación del flujo.
ADAPTABILIDAD Y FLEXIBILIDAD	Especificar la capacidad del sistema para adaptarse a diferentes condiciones operativas y cambios en la demanda, proporcionando flexibilidad en su funcionamiento.
CUMPLIMIENTO NORMATIVO	Asegurarse de que el diseño y funcionamiento del sistema cumplan con las normativas y regulaciones pertinentes en la región donde se implementará.
DOCUMENTACIÓN	Definir los requisitos de documentación, que incluyan manuales de operación, mantenimiento y cualquier información necesaria para la correcta comprensión y gestión del sistema.

Tabla 1: Especificidades funcionales de los desarrollos **Emalcsa#120**, según norma UNE-EN 16271:2013

3.4.3 Justificación de los TRLs

Para definir y justificar el nivel de grado de madurez de las tecnologías planteadas en **Emalcsa#120**, se ha partido de la información recopilada durante la **Consulta Preliminar del Mercado (CPM)**, y del análisis del estado del arte de las tecnologías planteadas para dar soluciones a los retos planteados. Así, tras analizar de forma crítica la información procedente de ambos inputs, se concluye, en base a los niveles de madurez tecnológica del anexo G del Programa de Trabajo Horizonte 2020 UE-H2020, lo siguiente:

SISTEMAS INTELIGENTES EN REDES DE AGUA BASADAS EN CONDUCCIONES CON CAPACIDADES MEJORADAS	
TRL DE PARTIDA	TRL FINAL ESPERADO
TRL5	TRL8
Actualmente la solución propuesta se encuentra en un TRL5, ya que se parte de los métodos de fabricación de <i>compounds</i> y tubería multicapa validados en entorno relevante. Será necesario formular cada material y cada capa para obtener la tubería final con propiedades mejoradas, adaptadas a los requerimientos funcionales de EMALCSA en cada área de la instalación. También se dispone de sensores comerciales y para la integración de todo el conjunto final y con el desarrollo del proyecto se pretende alcanzar un TRL8 mediante pruebas	

de validación del prototipo en condiciones reales en servicio en las instalaciones de EMALCSA. El prototipo puede ser de 2-5km dependiendo de la gama final de tubería desarrollada.	
PLATAFORMA AUTOMATIZADA DE ESTACIONES DE ALERTA TEMPRANA PARA MONITORIZACIÓN DE AGUAS	
TRL DE PARTIDA	TRL FINAL ESPERADO
TRL5	TRL8
<p>El nivel de desarrollo para los sensores de pH, conductividad, redox, oxígeno disuelto, cloro libre, sensores de turbidez, materia orgánica disuelta y clorofila es de TRL5. En los módulos de pH, ORP, cloro libre y conductividad se utilizarán sensores fabricados con tecnología microelectrónica y su funcionamiento se ha validado en redes de agua potable y en entradas de plantas potabilizadoras.</p> <p>Los módulos de amonio/nitrato parten de TRL6 y el de fosfato de TRL5, y han sido evaluados y validados individualmente en laboratorio con muestras sintéticas y reales.</p> <p>El sistema de mantenimiento y autocalibración parte de un TRL5.</p> <p>El sistema de procesamiento y transmisión de señal se inicia con un TRL6.</p> <p>El escalado planteado en el proyecto estaría en el desarrollo y adquisición de al menos 3 instalaciones con configuraciones diferenciales para aguas naturales, aguas tratadas en depósitos y aguas tratadas en red de distribución.</p>	
SISTEMA INTEGRADO DE BOMBEO EN RÉGIMEN HIPERLAMINAR (SIBRH)	
TRL DE PARTIDA	TRL FINAL ESPERADO
TRL4	TRL6
<p>Las soluciones experimentales de las que se parte han permitido validar la tecnología a escala laboratorio y caudales bajos, pero las condiciones del flujo demuestran la existencia del régimen hiperlaminar. En este sentido, se han obtenido flujos laminares a unos números de Reynolds en los que los flujos deberían haber sido turbulentos y mediante cuatro procedimientos distintos (TRL4). Este planteamiento consolida el objetivo de alcanzar un TRL6, construyendo un prototipo industrial que pueda funcionar en régimen hiperlaminar, para unas condiciones de caudal y presión que la industria pueda considerar como relevantes. Desde el punto de vista de la verificación, el objeto es el desarrollo de una instalación real con una capacidad de bombeo de al menos 50 l/seg.</p>	

Tabla 2: Descripción de TRLs de los desarrollos planteados en **Emalcsa#120**

3.5 Describir el nuevo producto, proceso o servicio o la mejora de éstos, con sus principales características y técnicas y funcionales, destacando los aspectos diferenciales más significativos y los riesgos tecnológicos potenciales. Reseñar aspectos ergonómicos y de diseño en su caso, así como la sujeción a normas y homologaciones

3.5.1 Describir el nuevo producto o servicio. También ponemos aquí los aspectos diferenciales más significativos, y los riesgos tecnológicos.

Subreto 1.1: Sistemas inteligentes en redes de agua basados en conducciones con capacidades mejoradas

El **nuevo producto** planteado en esta línea de investigación es un sistema disruptivo de conducciones destinadas al transporte de agua potable con

mejoras en características estructurales y de autodetección. La innovación se centra en utilizar el propio sistema de tuberías y los elementos de unión como dispositivos transmisores de información de la red de aguas. Este sistema innovador busca optimizar las características y dotar de inteligencia a los sistemas de tubos para mejorar la calidad de los procesos relacionados con las conducciones de agua, prevenir la deposición de suciedad en las tuberías y aumentar el rendimiento del sistema, reduciendo las pérdidas de carga y el consumo energético en los sistemas de bombeo. Además, se busca que el sistema de tuberías esté completamente monitorizado, actuando como generador de inteligencia para incidencias y parámetros de gestión habituales. De este modo, el sistema operará de manera proactiva y predictiva, mejorando la calidad del agua y evitando la pérdida del recurso hídrico debido a posibles fugas o intrusiones no detectadas o detectadas tardíamente en las canalizaciones. La solución consistirá en una propuesta de tubos multicapa con propiedades mejoradas, accesorios y un sistema de integración en plataformas de monitorización, con diversas configuraciones de sensorización. Todo el sistema estará controlado por un software que identifica todos los eventos ocurridos en el sistema. Como etapa final se plantea la fabricación del prototipo integrando todo el conjunto para la realización de la prueba de concepto incluyendo los elementos sensores y el sistema de monitorización, tratamiento y análisis de datos y control. Para la realización de estas pruebas de concepto se estima el empleo de una red entre 2-5km, dependiendo de la serie y gama de fabricación de la tubería final y la configuración.

El **carácter innovador y diferenciador** de la solución propuesta se enfoca en dos vertientes:

A) **MEJORA ESTRUCTURAL DEL TUBO o UNIÓN:** Mediante los desarrollos planteados en **Emalcsa#120**, se espera conseguir:

- i. Optimización de la durabilidad de los materiales empleados en la fabricación del tubo.
- ii. Acabado interno mejorado favoreciendo con su aspecto liso, un menor rozamiento y acumulación de incrustaciones.
- iii. Resistencia mecánica mejorada, tanto en su comportamiento a ensayos físicos, mecánicos y de presión, como al enterramiento.
- iv. Resistencia química optimizada en su comportamiento interior y barrera exterior.
- v. Sistema con un menor impacto ambiental en el total de su ciclo de vida, con uso de materiales reciclados y diseño basado en economía circular.
- vi. Sistemas de unión fáciles y seguros.
- vii. Mejora de la salubridad del tubo mediante la inclusión de compuestos antimicrobianos.

B) **USO DE LA RED COMO ELEMENTO TRANSMISOR**, de forma que:



- viii. El sistema contiene elementos que posibilitan la transmisión y obtención de información.
- ix. El sistema de tubos debe ser geolocalizable y es posible conocer sus parámetros de instalación.
- x. La conexión de los elementos transmisores entre sí deber ser fácil y segura.
- xi. Toda la información es controlada por un software adaptable que optimice las labores de mantenimiento realizadas sobre la red y las posibles actuaciones sobre sus elementos.
- xii. Se posibilita la inclusión de sensores que informen de cualquier parámetro del funcionamiento de la red mediante sondas integradas.
- xiii. La información posibilitará la mejor gestión de fugas, sobre todo la minimización de las fugas invisibles y las acometidas ilegales, siendo posible la detección de roturas antes de que ocurran.

Por último, hay que mencionar que han de considerarse ciertos **riesgos tecnológicos** durante la ejecución de las actividades de esta línea de desarrollo, los cuales se describen a continuación, con sus **planes de contingencia** previstos:

Sistemas inteligentes en redes de agua basados en conducciones con capacidades mejoradas	
RIESGOS	PLANES DE CONTINGENCIA
Deficiencias en los sistemas de monitorización en los puntos más complejos de la red, aportando datos erróneos o con elevada incertidumbre.	Implementar redundancia en los sistemas de monitorización. Realizar auditorías periódicas para validar la precisión de los datos. Desarrollar un protocolo de verificación constante para los puntos críticos.
Que los sistemas de detección de los conductos no funcionen correctamente o su velocidad de señal sea limitada, retrasando ligeramente la actuación ante fugas o intrusiones.	Establecer procedimientos para la revisión periódica de los sistemas de detección. Implementar tecnologías de detección adicionales para asegurar cobertura total. Mantener un equipo de respuesta rápido para intervenir en caso de alertas.
Baja sensibilidad de algunos de los sensores o detectores integrados.	Realizar calibraciones frecuentes de los sensores. Contar con sensores adicionales para corroborar mediciones. Establecer umbrales de alarma ajustables para adaptarse a la variabilidad.

<p>Problemas en los procesos de extrusión de tuberías para la consecución de superficies internas sin rugosidad para alguno de los materiales planteados para la capa interna (superficies interiores que no sean lo suficientemente hidrófobas o lisas).</p>	<p>Análisis y optimización de los procesos de extrusión. Establecer pruebas de calidad rigurosas para las superficies internas.</p>
<p>Incertidumbres con los ensayos y métodos de simulación que aborden las condiciones de contorno y los requerimientos funcionales que deba soportar cada sistema multicapa en cada zona del circuito, abocando a una elección incorrecta de la combinación de materiales (calidad, espesor, acabado superficial, resistencia, etc...).</p>	<p>Apoyarse en planes de ensayos y simulaciones para reducir incertidumbres. Realizar pruebas piloto en diferentes condiciones de operación. Mantener flexibilidad para ajustar combinaciones de materiales según resultados.</p>
<p>Aparición de pequeños poros en los recubrimientos internos, en función de las características del fluido circulante, y que puedan provocar la acumulación de microorganismos o la formación de biofilms.</p>	<p>Utilizar tecnologías de recubrimiento antimicrobiano más efectivas. Implementar sistemas de monitoreo continuo de calidad del agua. Establecer protocolos de limpieza y mantenimiento regular.</p>
<p>Empleo de aditivos antimicrobianos no adecuados o en porcentajes insuficientes para la eliminación de las bacterias.</p>	<p>Realizar un análisis exhaustivo de los aditivos antimicrobianos disponibles en el mercado. Seleccionar múltiples aditivos con diferentes mecanismos de acción para aumentar la eficacia. Establecer acuerdos con proveedores de aditivos reconocidos.</p>
<p>Insuficiente cantidad de registro de datos previos que puedan ser digitalizados.</p>	<p>Desarrollar estrategias para la recopilación rápida de datos históricos. Integrar soluciones complementarias de migración y digitalización de datos. Establecer un plan de acción para la mejora continua de la base de datos.</p>
<p>Dificultad para encontrar un equilibrio en el uso de material</p>	<p>Definir un plan de pruebas que permita conseguir la optimizada que determine la</p>

<p>reciclado en cantidades superiores al 95% manteniendo las propiedades técnicas requeridas para las tuberías de saneamiento a desarrollar. Obtención de vidas útiles de los compounds desarrollados inferiores a las necesarias debido al elevado porcentaje de material reciclado empleado.</p>	<p>solución de compromiso entre porcentaje de material reciclado y propiedades funcionales obtenidas. Mantener una estrategia de gestión de inventario flexible.</p>
<p>Resistencia mecánica insuficiente para evitar la curvatura de los tubos durante su colocación y posterior vida útil. Formulaciones desarrolladas no adecuadas para lograr el aumento de la resistencia mecánica que impida la curvatura de los tubos y el estancamiento de las aguas.</p>	<p>Explorar formulaciones alternativas para mejorar la resistencia. Implementar procesos de fabricación que refuercen la resistencia. Realizar pruebas de resistencia y curvatura en diferentes condiciones, de forma previa.</p>
<p>Resistencia química inadecuada de modo que la producción de sulfuro de hidrógeno biológico pueda llegar a dañar las tuberías.</p>	<p>Desarrollar materiales con mayor resistencia química. Implementar sistemas de monitoreo continuo para detectar cambios químicos. Establecer protocolos de mantenimiento preventivo específicos para este riesgo.</p>

Tabla 3: Riesgos y planes de contingencia para Subreto 1.1 de **Emalcsa#120**

Subreto 1.2: Plataforma automatizada de estaciones de alerta temprana para monitorización de aguas

En este caso, el **nuevo producto** consistiría en una red de estaciones de alerta temprana con criterios de **escalabilidad, modularidad y operatividad superior** a los actuales en las instalaciones de EMALCSA y en el mercado en general. Esto permitiría reducir de manera significativa los costes de implantación y operación, consiguiendo con ello la posibilidad de ampliar la red a áreas no supervisadas hasta el momento. Se aprovechan las ventajas de la miniaturización de las sondas, integrándolas en plataformas fluidicas modulares de bajo coste, fácilmente intercambiables, y capaces de analizar un amplio espectro de indicadores de calidad. Este enfoque ofrece beneficios como la disminución del consumo de muestras y reactivos, lo que lleva a una menor frecuencia de pruebas y mantenimiento. Además, se logra la reducción del



tamaño, peso y consumo de energía, disminuyendo los costes de instalación en terreno. La automatización sencilla del proceso de medición/operación/calibración en funcionamiento autónomo, adaptado a la evolución de los parámetros estudiados, también constituye una ventaja destacada.

Los principales **aspectos diferenciadores** son:

- El uso de la tecnología de fabricación aditiva para el prototipado rápido de los módulos de análisis, como solución *low-cost* para construir las estructuras 3D complejas que integran sondas, sistemas de detección óptica y elementos de fluídica.
- La fabricación de sensores de pH, redox, cloro disuelto y conductividad con tecnología microelectrónica, de última generación y bajo coste.
- La fabricación de módulos con detección óptica con fuentes y detectores miniaturizados de altas prestaciones.
- La integración de los distintos elementos innovadores en las cuencas (sistema natural), y red de distribución de EMALCSA, como factor de escalado de una tecnología rupturista.
- Desarrollo de sistemas de mantenimiento y calibración robotizado y totalmente autónomo.
- Incorporación de Inteligencia Artificial basada en el uso de redes neuronales para el desarrollo de sistemas de monitorización de calidad de aguas.

Los **riesgos y planes de contingencia** planteados para esta línea de desarrollo son los siguientes:

Plataforma automatizada de estaciones de alerta temprana para monitorización de aguas	
RIESGOS	PLANES DE CONTINGENCIA
Escalado de los módulos de análisis y la unidad de gestión de fluidos a las muestras reales aportadas por EMALCSA.	Realizar pruebas piloto utilizando muestras representativas de agua proporcionadas por EMALCSA. Establecer un plan de escalado gradual, comenzando con volúmenes pequeños y aumentando progresivamente. Implementar tecnologías de simulación para anticipar problemas potenciales durante el escalado.
Escalado de los elementos pasivos y activos críticos de	Realizar análisis de resistencia y tolerancia para elementos pasivos y activos críticos. Implementar pruebas de estrés bajo

fluídica a condiciones de operación.	condiciones operativas simuladas. Establecer protocolos de mantenimiento preventivo para garantizar la integridad de los elementos.
Incertidumbre con el comportamiento de los elementos críticos de fluídica al aumento de los tiempos de período operacional y plazos de mantenimiento rutinario.	Realizar pruebas de duración extendida para evaluar el comportamiento a largo plazo. Establecer protocolos de mantenimiento rutinario y revisión periódica. Monitorizar continuamente el rendimiento y realizar ajustes según sea necesario.
Riesgo asociado a la proliferación de bacterias dentro de los módulos de análisis durante la evaluación en campo.	Introducción de biocidas en la disolución acondicionadora.

Tabla 4: Riesgos y planes de contingencia para Subreto 1.2 de **Emalcsa#120**

Subreto 2.1: Sistema Integrado de Bombeo en Régimen Hiperlaminar (SIBRH)

El **nuevo producto** en este caso sería un Sistema Integral de Bombeo en Régimen Hiperlaminar (SIBRH), que constituiría un prototipo industrial capaz de generar flujos hiperlaminares. El sistema dispondrá de un depósito, una bomba de impulsión, un circuito hidráulico formado por tuberías, varios tipos de sensores y medidores, alguna electroválvula de regulación y un sistema de medición y control.

Sin embargo, el elemento diferenciador clave del sistema planteado respecto a estaciones de bombeo convencionales es que, mientras los segundos solo pueden producir flujo de agua en régimen turbulento (afectando exponencialmente a la eficiencia del dispositivo), el SIBRH podrá generar flujos hiperlaminares, en base a tres elementos que subrayan el factor diferenciador de la propuesta **Emalcsa#120**:

- El dispositivo laminarizador, que es la unidad capaz de volver inestable a la turbulencia, haciendo que ésta decaiga. Este elemento es totalmente novedoso y rupturista, y será diseñado desde la raíz para las condiciones de contorno de bombeos instalados en los sistemas de agua gestionados por EMALCSA.
- La bomba de impulsión, que debe estar sincronizada con el laminarizador.
- El sistema de control del SIBRH, que supervisa y coordina el funcionamiento de todas las unidades. Este elemento de control hardware central, estará suplementado con software y periféricos, que midan en tiempo real los parámetros del circuito hidráulico, los introduzcan en las ecuaciones del flujo hiperlaminar y determinen el valor

que deberían tener las magnitudes fundamentales del flujo. Con esta información, actúa sobre el laminarizador y la bomba de impulsión para obtener dichos valores y seguir manteniendo el régimen hiperlaminar.

Por tanto, y a modo de resumen, el principal aspecto diferencial del SIBRH, respecto a cualquier otro sistema de bombeo, es el régimen hiperlaminar en el que trabaja, obligando a sincronizar los tres elementos descritos.

De esta descripción de los elementos diferenciadores, subyace también el principal **riesgo tecnológico** del SIBRH, y es que el régimen hiperlaminar no es el estado natural de un flujo de alto caudal. Cualquier flujo tiene siempre la tendencia a volverse turbulento cuando aumenta el caudal; a mayor caudal, mayor número de estructuras turbulentas en el flujo. Mantener la hiperlaminaridad es un complicado ejercicio de equilibrios, en el que a cada caudal corresponde un margen estrecho de presiones compatibles con dicho estado. Cualquier interferencia que rompa ese equilibrio, llevaría de nuevo el flujo al régimen turbulento. Son las ecuaciones del régimen hiperlaminar las que determinan cual es el rango de presiones correspondiente a cada caudal medido. Por esa razón, las ecuaciones tienen que estar resolviéndose continuamente, en tiempo real.

Los **riesgos y planes de contingencia** planteados para esta línea de desarrollo de los sistemas de bombeo en régimen hiperlaminar, son los siguientes:

Sistema Integrado de Bombeo en Régimen Hiperlaminar (SIBRH)	
RIESGOS	PLANES DE CONTINGENCIA
Control de las causas que puedan alterar el equilibrio inherente al régimen hiperlaminar: exceso de vibraciones en el laminarizador bajo ciertas condiciones, posibilidad de que el laminarizador entre en resonancia para ciertos valores del caudal, incapacidad de la bomba impulsora de proporcionar los valores de caudal y presión requeridos, ruptura del equilibrio al llegar el flujo a curvas muy cerradas, ruptura del equilibrio en	Seguimiento de los modelos de la teoría física de hiperlaminarización. Implementar sistemas de monitoreo en tiempo real para detectar vibraciones y resonancias en el laminarizador. Utilizar sensores de vibración y acelerómetros para identificar cualquier desviación del equilibrio. Realizar estudios de ingeniería para comprender las condiciones que pueden llevar a resonancias. Utilizar software de simulación para prever y mitigar efectos adversos en diferentes condiciones de operación. Utilizar materiales resistentes a la corrosión, la fatiga y con alta durabilidad en condiciones simuladas. Optimizar los diseños de la geometría de las curvas y bifurcaciones del sistema para mantener el flujo laminar.

algún ramal del flujo tras una bifurcación, etc.	<p>Simular y analizar el comportamiento del flujo para cada condición.</p> <p>Implementar algoritmos de control que ajusten automáticamente la operación para mantener el equilibrio.</p> <p>Establecer umbrales de alarma para la desviación del flujo laminar y activar medidas correctivas.</p>
--	--

Tabla 5: Riesgos y planes de contingencia para Subreto 2.1 de Emalcsa#120

3.5.2 Aspectos ergonómicos y de diseño en su caso, así como la sujeción a normas y homologaciones

Subreto 1.1: Sistemas inteligentes en redes de agua basados en conducciones con capacidades mejoradas

Este desarrollo implica tener en cuenta **aspectos ergonómicos y de diseño** que aseguren la eficacia y funcionalidad del sistema:

- Diseñar conexiones y elementos de unión que faciliten la instalación rápida y eficiente del sistema de tuberías y de los sensores integrados, minimizando el tiempo y esfuerzo requerido.
- Facilitar puntos de acceso y mantenimiento en el sistema para permitir inspecciones regulares, reparaciones y la instalación de nuevos sensores o componentes.
- Dimensionar las diferentes tipologías de soluciones multimaterial para soportar las condiciones de contorno a nivel de resistencia y durabilidad, para asegurar la longevidad del sistema y minimizar la necesidad de reemplazo.
- Asegurar que el diseño sea compatible para la interoperabilidad de las tecnologías de monitorización y sensores, permitiendo la estandarización de las soluciones implementadas y la facilitación de futuras actualizaciones o ampliaciones.
- Adoptar un enfoque modular que permita la expansión del sistema de tuberías multimaterial y la incorporación de nuevas funcionalidades sin perturbar el funcionamiento de secciones aledañas que no requieran actuaciones.
- Desarrollar un software de control con una interfaz de usuario intuitiva que permita a los operadores y gestores de la red comprender fácilmente la información recopilada y tomar decisiones informadas.
- Considerar el diseño de elementos que contribuyan a la eficiencia energética del sistema, minimizando el consumo en la monitorización y operación.

- Reducción significativa de los problemas y limitaciones de los procesos de instalación, al reducir los pesos específicos por unidad y simplificar las labores de montaje o de reparación en base a sistemas de unión más avanzados y diseñados específicamente para su montaje en malas condiciones (zanjas).
- Garantizar que el diseño sea resistente a condiciones ambientales adversas, como variaciones de temperatura, humedad y presiones inesperadas.

Considerar estos aspectos ergonómicos y de diseño asegurará que el sistema no solo cumpla con sus funciones técnicas, sino que también sea fácilmente utilizable, sostenible y adaptable a las necesidades cambiantes del entorno urbano.

De la misma forma, a lo largo del proyecto se asegurará que el diseño cumple con todas las **normativas** locales e internacionales **y homologaciones** relacionadas con la implementación de las conducciones multicapa, el suministro de agua potable y sistemas de monitorización:

- Norma ISO 11295:2018 - Sistemas de tuberías multicapa, que especifica los requisitos y métodos de prueba para los sistemas de tuberías multicapa utilizados en sistemas de distribución de agua.
- Norma ISO 4427 - Tuberías de Polietileno (PE) para suministro de agua, que establece las características físicas y mecánicas, y los métodos de ensayo de tuberías de polietileno destinadas al suministro de agua.
- Norma ISO 21070 - Sistemas de canalización en materiales plásticos reforzados con fibras de vidrio (PRFV), que especifica los requisitos para sistemas de canalización fabricados con materiales plásticos reforzados con fibras de vidrio (PRFV), utilizados para el transporte de agua potable.
- Homologación de cumplimiento con directiva de productos de construcción (89/106/CEE).
- Norma ISO 17893 - Requisitos para sistemas de monitorización de tuberías, incluyendo aquellos destinados a la detección temprana de fugas e intrusiones ilegales.
- El sistema debe cumplir también con las normativas y regulaciones locales e internacionales que establecen los estándares de calidad del agua potable.

Subreto 1.2: Plataforma automatizada de estaciones de alerta temprana para monitorización de aguas



Este desarrollo implica tener en cuenta **aspectos ergonómicos y de diseño** para facilitar la usabilidad de los sistemas de monitorización de la calidad del agua:

- Diseñar la interfaz de usuario de manera intuitiva para facilitar la interacción del operador con la plataforma y considerar la disposición de los controles y la información para una fácil comprensión y acceso.
- Asegurar que los componentes sean fácilmente accesibles para el mantenimiento y la sustitución, especialmente las sondas y módulos fluidos. De la misma forma, implementar un sistema de alertas para indicar la necesidad de mantenimiento o calibración.
- Explotar la miniaturización de las sondas y su modularidad, para reducir el tamaño y el peso de la plataforma.
- Facilitar la portabilidad para la instalación en diferentes puntos de interés, con especial atención a la seguridad de conexiones y elementos móviles, para evitar deterioros o complicaciones en su manipulación.
- Permitir la fácil intercambiabilidad de sondas y módulos fluidos para adaptarse a diferentes condiciones y necesidades de monitorización.
- Diseñar la plataforma para una fácil automatización del proceso de medida y calibración en modo autónomo.
- Seleccionar materiales resistentes y duraderos para garantizar la vida útil de la plataforma en condiciones diversas.
- Incorporar capacidades de comunicación remota para monitoreo y control a distancia.

En cuanto a **normas y homologaciones** de aplicación, podemos mencionar:

- Norma ISO 5667 - Calidad del agua, que establece los métodos para el muestreo de agua y la preparación de muestras para el análisis de diversos parámetros de calidad del agua.
- Norma ISO 8466 - Calidad del agua, que define los principios generales y los procedimientos para la calibración y la evaluación de la precisión de los equipos utilizados en el análisis de aguas.
- Norma ISO 11465 - Calidad del agua: Determinación de la conductividad eléctrica del agua.
- Norma ISO 17294-1 - Calidad del agua para determinación de metales por ICP-MS (Espectrometría de masas con plasma acoplado inductivamente).
- Directiva 2013/53/UE sobre equipos de medición en el ámbito de la monitorización de la calidad del agua, con el objetivo de garantizar su precisión y fiabilidad.
- Norma ISO 25101 - Técnicas de agua, que proporciona directrices generales para el diseño y operación de estaciones de monitorización de la calidad del agua.

- Norma ISO 7027 - Calidad del agua: Determinación de la turbidez del agua.

Subreto 2.1: Sistema Integrado de Bombeo en Régimen Hiperlaminar (SIBRH).

Los **aspectos ergonómicos** de la tecnología a desarrollar en el proyecto **Emalcsa#120** sólo serán relevantes cuando el prototipo de demostración tenga que ser sometido a operaciones de mantenimiento. Durante el funcionamiento, que previsiblemente será en régimen de 24/7, ninguna persona debe manipular el SIBRH, más allá de los mandos del sistema de control, que por otra parte serán controlados y operados mediante sistemas remotos que faciliten su seguimiento y optimización.

Las operaciones de mantenimiento serán asimilables a las que se efectúan en las bombas convencionales de agua: engrase de ejes, comprobación de alineación y equilibrado de ejes, eliminación de incrustaciones de calcio, comprobación de consumos eléctricos, calibrado de sensores, tarado de presostatos, comprobación de los dispositivos de seguridad, etc.

Respecto a las bombas de impulsión de agua, sólo está previsto modificar su régimen de funcionamiento, no su constitución física ni los elementos que la componen. Por tanto, no van a modificarse las características constructivas que están reguladas por la normativa vigente actual. Sólo van a modificarse las relaciones de presión/caudal de las bombas, para ajustarlas a las exigencias del laminarizador, en función de lo que dicten las ecuaciones de gobierno de los flujos hiperlaminar.

Respecto a las **normativas y homologaciones específicas** a las que se encuentra sujeta esta tecnología, podemos mencionar:

- No existen normas ni homologaciones para los dispositivos laminarizadores, puesto que nunca han formado parte del catálogo de productos industriales de ninguna empresa. Por asimilación, se les podrá aplicar algunas de las normas actualmente exigibles a las bombas de agua, en particular en lo referente a su alimentación y protección eléctrica.
- Serán de aplicación las normas referentes a la presencia de válvulas de seguridad contra sobrepresiones en los laminarizadores.
- ISO 13849: Seguridad de las máquinas. Partes del sistema de mando relacionadas con la seguridad.

3.6 Definir, ponderar y relacionar hitos técnicos y presupuesto económico

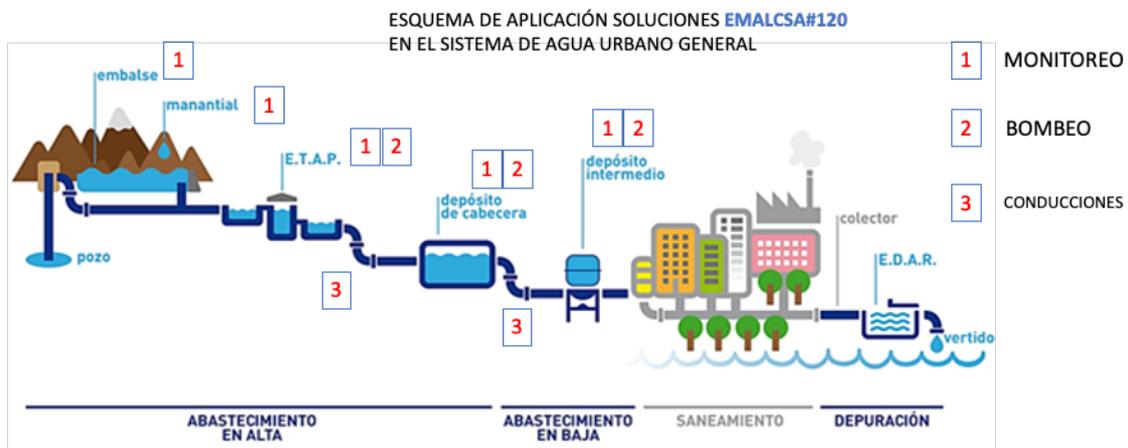


Hito técnico	Ponderación	Presupuesto económico (€)
H1: Desarrollo de sistemas inteligentes en redes de agua basados en conducciones con capacidades mejoradas	20%	847.000,00
H2: Desarrollo de plataforma automatizada de estaciones de alerta temprana para monitorización de aguas	39%	1.694.000,00
H3: Desarrollo de piloto de demostración para bombeo integrado de agua en régimen hiperlaminar (SIBRH)	41%	1.815.000,00
TOTAL		4.356.000,00

Tabla 6: Relación hitos técnicos y presupuesto económico de **Emalcsa#120**

3.7 Si es posible adjuntar un croquis general inicial o diagrama de bloques (no definitivo) del producto, proceso o servicio

Los sistemas incluidos en **Emalcsa#120** abordan de *forma sistémica*, tal y como se propone en el marco **DUSA**, todos los elementos y fases del sistema de los sistemas de agua urbana, permitiendo el control de calidad y proceso en todas las fases, desde la captación natural hasta la distribución, así como la mejora en términos de economía y resiliencia gracias a la eficiencia energética y el control de flujo.



EMALCSA#120 plantea soluciones que abordan mejoras en todos los ámbitos del sistema, tanto desde el punto de vista cualitativo, calidad del agua suministrada, como desde el cuantitativo, reducción de pérdidas y control de flujos y presiones

Figura 24: Gráfica de concepto de los desarrollos **Emalcsa#120** en el sistema de agua urbano general

Si analizamos el caso concreto del sistema de agua vinculado al área coruñesa, podemos observar el esquema de implantación en términos de territorio, dado que los sistemas de agua urbana tienen una gran dispersión y todos los

elementos tienen gran importancia en términos de eficiencia, conectividad y aplicación.

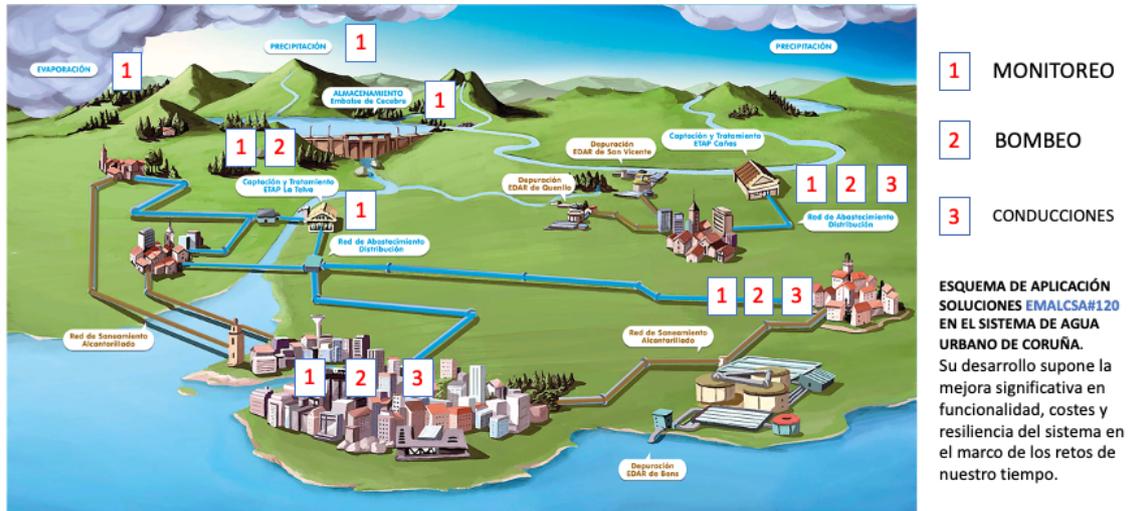


Figura 25: Esquema de implantación de Emalcsa#120 en términos de territorio

4. PARA LOS PROYECTOS O FASES DEL PROYECTO DE COMPRA PÚBLICA PRECOMERCIAL: INVESTIGACIÓN CIENTÍFICA, ORIENTADA AL SERVICIO PÚBLICO, PARA EL DESARROLLO O MODIFICACIÓN DE LAS TECNOLOGÍAS NO COMERCIALIZADAS.

La información de este apartado se divide en función de los dos subretos que encajan en esta tipología de CPI:

- **SR1.1: Sistemas inteligentes en redes de agua basados en conducciones con capacidades mejoradas.**
- **SR2.1: Sistema Integrado de Bombeo en Régimen Hiperlaminar (SIBRH).**

4.1 Necesidad de abordar fases científicas del proyecto dirigidas a la obtención de tecnologías no disponibles en el mercado para la mejora del servicio público.

Subreto 1.1: Sistemas inteligentes en redes de agua basados en conducciones con capacidades mejoradas

El objetivo general del planteamiento de este subreto es contribuir a la mejora del proceso de gestión del agua mediante desarrollos innovadores que permitan aumentar la fiabilidad y funcionalidad de las instalaciones actuales de las redes de distribución y abastecimiento. Estas redes, destinadas al transporte de agua potable, presentarán características estructurales optimizadas y capacidades de detección online y continua. Para ello, **será necesario afrontar fases científicas que permitan desarrollar tecnologías no disponibles en el mercado para redes de transporte de alta presión y caudal, y se centrarán en las líneas de investigación de los materiales y recubrimientos inteligentes, los procesos de fabricación avanzados, la monitorización y el control** para aumentar la inteligencia en la toma de decisiones.

De forma más concreta, el principal carácter innovador de la propuesta corresponde a la concepción del propio sistema de tuberías multicapa y elementos de unión como herramienta de transmisión primaria de la información de la red. A mayores de esta innovación estructural, la solución se suplementa con el desarrollo de una herramienta de control a medida que procesa la información adquirida en los diferentes subelementos y puntos críticos de la instalación, de cara a predecir fallos en el sistema, facilitar el proceso de toma de decisiones y gestionar las alertas necesarias para que los planes de contingencia se apliquen de forma ágil y eficiente. De este modo, **se conseguirá una reducción de las pérdidas de agua y en consecuencia la reducción del impacto medioambiental y de los costes asociados a ellas en un contexto del recurso hídrico tan crítico como el actual.** Los sistemas

desarrollados no sólo poseerán una mejor y más eficiente elección de los materiales empleados, sino que el sistema completo, dotado de inteligencia, se transforma en un elemento portador de la información de la red.

El resultado de I+D esperado para esta plataforma inteligente de control integral de sistemas de canalización para sociedades gestoras de grandes redes de distribución, aporta las siguientes ventajas competitivas:

- Selección eficiente de los materiales empleados en los sistemas de conducción de agua y en sus elementos auxiliares.
- Mejora estructural y funcional de los sistemas de canalizaciones, dotándolos de capacidad de detección.
- Mejora de la calidad del agua y minimización de la pérdida de carga y consumo energético de los sistemas de bombeo, mediante la incorporación de aditivos y recubrimientos superficiales de mínima rugosidad en la capa interna de las conducciones, impidiendo la acumulación y formación de biofilms bacterianos.
- Monitorización temprana de las fugas de fluidos mediante los sistemas multicapa dotados de inteligencia.
- Monitorización integral del funcionamiento de la instalación para mejorar la gestión de la red, incluyendo la monitorización de posibles intrusiones en diferentes zonas de la red, la trazabilidad de la instalación en su conjunto, la monitorización permanente de los parámetros de la red o la predicción temprana de actividades de renovación o sustitución de elementos de la red.

En este sentido, el desarrollo de **sistemas inteligentes de conducciones de alta presión y caudal optimizadas con elementos informadores que proporcionen información de la localización, estado funcional, presencia de fugas, pérdidas de rendimiento, detección de acometidas ilegales, etc....de las canalizaciones no ha sido desarrollado por ningún centro de desarrollo tecnológico, universidad, empresa o inventor particular, ilustrando este factor el impacto que supone el desarrollo propuesto**. Así, se han localizado sistemas, que, mediante diferentes tipos de sensores y administradores de la información, geolocalizan los sistemas de tuberías para transporte de agua, gas o petróleo^{5,6,7} pero en ningún caso gestionan parámetros de red, localización de fugas, etc. Por otro lado, otra característica innovadora del sistema planteado es su **adaptabilidad y desarrollo ad-hoc a las características orográficas específicas que conlleva el transporte de agua en las redes gestionadas por EMALCSA** (ya mencionadas previamente).

5 Jin Zhou, Xiangyin Meng, Tao Tao and Fengpei Zhang, "Research on application of GIS and GPS in inspection and management of city gas pipeline network". Conf. Ser.: Earth Environ. Sci. 108 032004. DOI 10.1088/1755-1315/108/3/032004

6 Mutiu Adesina Adegboye, Wai-Keung Fung and Aditya Karnik, "Recent Advances in Pipeline Monitoring and Oil Leakage Detection Technologies: Principles and Approaches". Sensors MDPI. DOI: 10.3390/s19112548.

7 Semih Aslan, "Leak Detection and Location Pinpointing in Water Pipeline Systems Using a Wireless Sensor Network". Conference: 2021 IEEE International Symposium on Circuits and Systems (ISCAS).

Por último, en este apartado relacionado con el carácter innovador de la propuesta, y con el objetivo de incidir en la novedad y el impacto que supondría la solución planteada, se resumen los **elementos diferenciadores** del sistema propuesto:

1) **Aumento de la funcionalidad y la eficiencia de los sistemas de conducciones:** Los sistemas de tuberías no solo desarrollan su función de elemento transmisor del fluido, sino que se les dota de inteligencia, actuando como elementos de detección primarios de anomalías en el recurso hídrico. Además, el acabado de superficies extralisas que se plantea en su zona interna, permitirá minimizar las incrustaciones de materia y las pérdidas por rozamiento, mejorar las condiciones de salubridad de los tubos, aumentar la durabilidad ante posibles cloraciones, limpiezas legales, etc...o incrementar las características de impermeabilidad del tubo a fluidos.

2) **Optimización estructural de los sistemas de canalización del agua:** La solución integral planteada debe concebirse como “la instalación del futuro”, aportando una durabilidad mínima constatada de 100 años. Este objetivo global a largo plazo se alcanzaría gracias a los subdesarrollos estructurales y parciales de la solución: minimización de fenómenos de corrosión, desgaste y taponamientos por la posibilidad de desarrollar acabados interiores de mínima rugosidad en las tuberías, una mejora en la resistencia química de las canalizaciones o el empleo de biomateriales en la fabricación de las tuberías (obteniendo un menor impacto ambiental en su fabricación, uso y reciclado posterior). De la misma forma, la **posibilidad de poder adaptar las soluciones de conductos multicapa a los requerimientos funcionales de cada sector y condiciones de la instalación**, abre otro amplio abanico de mejoras, como: la posibilidad de maximizar la resistencia al enterramiento del sistema de conducciones en zanja, la posibilidad de realizar biorientación en los materiales empleados o la posibilidad de incorporar estructuras reticuladas en las tuberías a fin de obtener una mejora en las propiedades mecánicas de los materiales. Es decir, **la flexibilidad que aportan los sistemas de tuberías multicapa, abre la posibilidad de desarrollar soluciones customizadas, incorporando en cada sector la solución multicapa más apropiada para los requerimientos específicos de cada área de la instalación.**

3) **Uso de la red de canalizaciones como elemento transmisor que alimenta de información a la plataforma de control integrada:** El sistema incorpora los elementos necesarios para habilitar la transmisión y obtención de información, incorpora las redes de sensores para detectar incidencias en el circuito de canalizaciones, incorpora elementos de geolocalización o balizamiento de los tubos e integra los sistemas de conexión de los elementos transmisores para que la gestión de datos sea

amigable y segura. Toda la información será controlada por un software adaptable que optimice las labores de mantenimiento realizadas sobre la red. La transmisión de información de la red contendrá los parámetros físicos que se consideren adecuados, como, por ejemplo: contenido de cloro, pH, presión, etc....optimizándose durante el proceso la frecuencia y el número de puntos de recogida de datos. Adicionalmente, se implementará el sistema para la actuación automatizada sobre los diferentes elementos de la red: lectura de contadores, apertura o cierre de válvulas, estado de sistemas de bombeo y depósitos, etc.

4) **Impulso de las características de sostenibilidad medioambiental.** La solución planteada, permitiría un cambio de paradigma en términos tecnológicos y medioambientales, con la integración de nuevos productos y servicios de alto valor tecnológico, pero medioambientalmente sostenibles y respetuosos, evolucionando hacia el sector de la bioeconomía y de la economía circular. Esta transición progresiva y al mismo tiempo irreversible hacia un sistema económico sostenible es un componente indispensable de la nueva estrategia industrial de la UE. En esta línea, la conservación y aprovechamiento del recurso hídrico resulta esencial para poder impulsar políticas de sostenibilidad y economía circular, al disponer de una red de tuberías eficiente y segura, que impida el desarrollo de material biológico en el interior de éstas que puedan impactar negativamente sobre la salud de los seres vivos y aseguren la estanqueidad sin la aparición de fisuras y fugas. La formación de material biológico puede conllevar múltiples inconvenientes: impacto negativo sobre la salud de los seres vivos al transportar bacterias y/o microorganismos que puedan llegar a los consumidores finales; atasco de las tuberías por acumulación y necesidad de mantenimiento con relativa frecuencia; sobrepresiones que den lugar a fisuras o roturas de la tubería, etc.

De esta forma, la gestión de toda la información posibilitará la mejor gestión de fugas, la minimización de las fugas invisibles y las acometidas ilegales y fácil mantenimiento del sistema de control implementado. Así, el sistema de comunicación y control de la solución que se pretende diseñar debe incluir:

- Herramientas de supervisión y monitorización de las alarmas ante la presencia de fuga o intrusión (creación de módulo en la nube).
- Protocolos de comunicación entre los sistemas sensorizados y los colectores (que recogen la información del sistema en redes sectorizadas).
- Protocolos de comunicación entre los sensores RFID (o similares) y las unidades de control.
- Herramientas de visualización de las alarmas generadas.
- Software de introducción de datos de cada unidad sensorizada.

Subreto 2.1: Sistema Integrado de Bombeo en Régimen Hiperlaminar (SIBRH)

La tecnología está basada en el desarrollo de ciertos dispositivos (laminarizador, sistema de control, etc.), pero el auténtico activo es el gran ahorro energético que propicia el régimen hiperlaminar. El flujo siempre tendrá una tendencia natural a retornar al régimen turbulento, por lo que es preciso actuar permanente sobre el flujo, ajustando su caudal y presión en tiempo real, para que permanezca en el estrecho margen que garantiza la estabilidad del régimen hiperlaminar. Básicamente en esto consiste la nueva tecnología.

El prototipo de SIBRH que se pretende desarrollar constituirá la primera instalación industrial existente en el mundo, fabricada a partir de componentes industriales de mercado (no específicos de laboratorio) y con un rango de caudales y presiones que sea reconocible como de aplicación industrial. Está previsto desarrollar varios tipos de dispositivos laminarizadores en este proyecto, basados en distintos principios físicos. Para cada laminarizador, existirá un patrón de funcionamiento de la bomba que se sincronice con él. Estos patrones de funcionamiento estarán programados en el sistema de control del SIBRH.

Así, en los últimos años se ha procedido a validar los modelos matemáticos que consiguen el cambio teórico en la tipología de flujo^{8,9} y se han construido diversos laminarizadores de laboratorio para caudales bajos, pero no hay constancia de la existencia de laminarizadores de características "industriales" (conversión de flujos turbulentos a flujos laminares en grandes caudales). Para ilustrar el planteamiento de las fases científicas del **salto tecnológico** que se plantea en esta línea de investigación, en la siguiente imagen muestra el **flujo turbulento** (arriba, con los rotores sin funcionar) y el **flujo que termina siendo hiperlaminar** (abajo, con los rotores funcionando):

8 GARCÍA GARCÍA, F.J. & FARIÑAS ALVARIÑO, P 2019a Analytic and CFD models for transient outburst flow. J. Hydraul. Engng ASCE 145 (3), 04018087–1–10.

9 GARCÍA GARCÍA, F.J. & FARIÑAS ALVARIÑO, P 2019b On an analytic solution for general unsteady/transient turbulent pipe flow and starting turbulent flow. Eur. J. Mech. (B/Fluids) 74, 200–210.

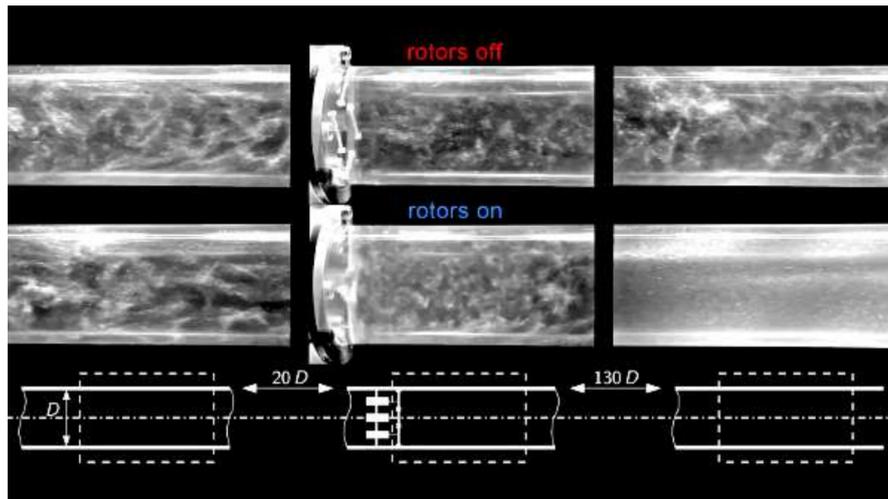


Figura 26: Efecto de laminarización de un flujo turbulento tras pasar por un laminarizador

Otro elemento de innovación es el **sistema de control**, que incorporaría las ecuaciones que determinan las condiciones de funcionamiento del prototipo. Por lo tanto, los desarrollos previstos permitirían a EMALCSA ser una entidad líder mundial en el desarrollo de la novísima **tecnología de bombeo en régimen hiperlaminar** y disponer de una infraestructura con la que poder formar a sus técnicos y convertirlos en expertos de una tecnología que, sin duda, se acabará imponiendo en todo el mundo, con lo que para EMALCSA se abriría una nueva línea de negocio, la de consultoría especializada para otras empresas de gestión y suministro de agua.

De manera transversal a esta aplicación, los **resultados del proyecto serían de enorme interés para otras aplicaciones industriales** en las que el bombeo en régimen hiperlaminar para reducir pérdidas pueda ser determinante: refinerías de petróleo, oleoductos, gasoductos, industria química, plantas desalinizadoras, industria alimentaria, centrales hidroeléctricas, etc., lo que demuestra el impacto estratégico de la solución innovadora planteada.

Partiendo de estos antecedentes, es importante destacar que ya está resuelto el principal reto científico, que es probar la existencia del propio flujo hiperlaminar. Tanto la teoría como los experimentos en condiciones controladas han confirmado ese efecto. Así, se denomina flujo hiperlaminar a aquél que se mantiene laminar en unas condiciones en las que normalmente debería ser turbulento. En términos especializados, un flujo se vuelve hiperlaminar cuando se reduce tanto su espacio de las fases que los estados turbulentos quedan excluidos de él. No obstante, existen otras **incógnitas científicas que aún deben ser estudiadas**. Entre ellas:

- La estabilidad del flujo hiperlaminar ante pequeñas perturbaciones que la alejen del estado de equilibrio.

- En qué condiciones volvería a ensancharse el espacio de las fases para dar cabida nuevamente a estados turbulentos.
- El rango de valores de energía que hay que aportar al laminarizador para que siga generando flujo hiperlaminar, cuando éste se vea perturbado.
- Cómo afecta al flujo hiperlaminar circular por tubos que presenten curvas, codos, bifurcaciones, etc.
- Cómo afecta al flujo hiperlaminar la presencia de válvulas, estrechamientos, obstrucciones debidas a instrumentación, etc.
- Influencia de los cambios súbitos de altura en las tuberías que conduzcan un flujo hiperlaminar.
- Otras cuestiones que puedan surgir en la fase de desarrollo y ensayos de concepto, relacionados con el funcionamiento habitual en entornos cuasi reales.

Estas y otras cuestiones de tipo científico tienen que ser abordadas durante el diseño y construcción del SIBRH. Se entenderá que dar respuesta a las cuestiones anteriores aumentará el conocimiento necesario sobre el SIBRH, de forma que puedan construirse soluciones cada vez más robustas, fiables y adaptadas a las condiciones de contorno de cada flujo y aplicación industrial o sectorial.

4.2 Descripción de las líneas de actuación en investigación del proyecto destinadas a la obtención de tecnologías no comercializadas hasta el momento

Subreto 1.1: Sistemas inteligentes en redes de agua basados en conducciones con capacidades mejoradas

A continuación, se desglosan las diferentes líneas de actuación en investigación para esta línea de desarrollo:

- **Desarrollo de nuevos materiales termoplásticos** que minimicen las problemáticas para la calidad de agua que se provocan en las tuberías de redes de distribución, tales como:

- Periodos de turbidez, como consecuencia de diferencias de caudal en las redes o cortes de agua.
- Acumulación de cal en las redes, lo que evitaría situaciones de colapso de las tuberías.
- Presencia de patógenos y microorganismos nocivos, presentando una serie de problemas concretos:
 - Formación de biopelículas: Los microorganismos, como bacterias y hongos, pueden adherirse a las superficies internas de las tuberías y formar biopelículas. Estas biopelículas, además de obstruir el flujo de agua, aumentan el riesgo de contaminación y propagación de enfermedades.
 - Contaminación del agua: El crecimiento microbiano conlleva el riesgo de brotes de enfermedades transmitidas por bacterias

en el agua, como la *Escherichia coli* (E. coli) y la *Legionella pneumophila*.

- Degradación del sistema de tuberías, que puede ocasionar corrosión y deterioro, lo que conduce a fugas, roturas y disminución de la vida útil del sistema.
- Menor eficiencia hidráulica al disminuir el flujo de agua y reducir su eficacia, implicando un mayor consumo de energía.
- Cambios en el olor y sabor del agua, que afectan a la calidad y al bienestar de los usuarios finales.
- Difusión del oxígeno del aire desde el exterior hacia su interior, presentando una serie de problemas concretos:
 - La oxidación, cuyas consecuencias en este tipo de materiales son la decoloración, el deterioro y la pérdida de las características naturales del mismo, lo que acaba traduciéndose en corrosión.
 - La acumulación de lodo o magnetita, resultado del depósito de calcio y magnesio en las paredes de las tuberías.
 - La formación de biofilm (microorganismos adheridos a una superficie), que representan la forma habitual de crecimiento de las bacterias.

Los sistemas de tuberías que cuentan con barrera anti-oxígeno, al limitar la entrada externa de O₂, reducen las posibilidades de contar con una avería por estos inconvenientes.

Es por ello por lo que en el marco del proyecto **Emalcsa#120** se plantea el **diseño y optimización de diferentes formulaciones que posteriormente serán empleadas en el proceso de obtención de cada una de las capas de las tuberías multicapa, aportando a cada capa una propiedad mejorada y personalizada, en función de las condiciones de contorno y requerimientos en cada zona de la instalación**. Para ello, se investigarán las correspondientes formulaciones con diferentes matrices poliméricas y aditivos, destinadas a cada una de las capas que forman la tubería para la obtención de los nuevos compounds poliméricos.

Los plásticos son los materiales idóneos para la construcción de tuberías destinadas abastecimiento y saneamiento. Son flexibles, sin oxidación, corrosión o incrustaciones y de gran resistencia química. Su vida útil es mucho mayor que la de cualquier otro material. Son fáciles de instalar y mantener, mejor comportamiento hidráulico, ligeras y resistentes, resistentes a las corrientes telúricas y a los ácidos y bases y atóxicas. La alta resistencia química de las tuberías plásticas les permite conducir aguas doradas (principal método para la potabilización del agua). Gracias a la ausencia de oxidación y corrosión no ceden sustancias de corrosión al agua y son óptimas para suelos ácidos sin interacción alguna con el terreno. Las tuberías plásticas, además, no favorecen

el crecimiento microbiano. Debido a su lisura interna no se producen sedimentos ni sustancias que puedan servir de alimento a las bacterias.

Los materiales plásticos también tienen valor como residuos. Son materiales reciclables, que pueden transformarse en nuevos productos, como bolsas de basura, suelas de zapatos, mobiliario urbano, señalización vial, etc. Otra opción al reciclado es la revalorización energética, pudiendo ser utilizados como fuente de energía alternativa a otros combustibles.

El estudio del consumo energético y las emisiones de gases de efecto invernadero durante el ciclo de vida completo de plásticos y materiales alternativos en distintas aplicaciones, presenta algunas conclusiones interesantes: el ahorro de energía de la tubería plástica para agua potable en todo su ciclo de vida, con respecto a la de materiales tradicionales es de un 32%. Tratándose de tuberías plásticas para gas, el ahorro alcanza el 70%, y en el caso de tuberías plásticas para saneamiento, el 14%. Las emisiones de efecto invernadero se reducen un 61% de media para todas las aplicaciones, cuando las tuberías son plásticas¹⁰.

En resumen, las tuberías plásticas contribuyen al desarrollo sostenible en sus distintos aspectos debido a su:

- Inocuidad.
- Estanqueidad.
- Capacidad hidráulica.
- Resistencia química.
- Ausencia de incrustaciones y corrosión.
- Flexibilidad.
- Larga vida útil.
- Reciclabilidad.
- Facilidad de instalación y mantenimiento.
- Bajo consumo de energía.
- Mínimo impacto medioambiental.

Entre las diferentes poliolefinas existentes, el Polipropileno y el Polietileno son los materiales más empleados en la fabricación de tubería. Estos materiales han evolucionado a una nueva generación de materiales con mejores prestaciones. Las tuberías en polipropileno de tipo copolímero random, conocidas como tuberías PPR o PP-R (polipropileno random), ofrecen enormes ventajas para sus distintos usos, sin embargo, estos polímeros han evolucionado a variaciones aún más completas como el PPR-CT, CT (Polipropileno con estructura cristalina modificada)¹¹, que le da a la tubería una mayor resistencia térmica e hidrostática. Además, permite la reducción de diámetros en la instalación, en

¹⁰ ASETUB. Informe técnico “Las tuberías plásticas y el desarrollo sostenible”.

¹¹ Zhiyao Zhang and Xueqin Gao “Polypropylene Random Copolymer Based Composite Used for Fused Filament Fabrication: Printability and Properties”. Polymers MDPI. Published online 2022 Mar 10. doi: 10.3390/polym14061106.

comparación con los PP-R tradicionales, manteniendo el mismo caudal sin un aumento relevante de velocidad.

Del mismo modo ocurre con el polietileno de alta densidad, PE100, el cuál ha evolucionado al conocido PE100 RC¹², un polietileno con una alta resistencia al agrietamiento llamado "resistencia al agrietamiento", que supera con creces los parámetros requeridos para el HDPE tradicional mencionado en EN 12201, EN 1555 y EN 13244. Esta materia prima se caracteriza por una resistencia de más de 18.000 horas en la rigurosa prueba internacional de resistencia al crack FNCT (*Full Notch Creep Test*).

El empleo de estos materiales de última generación con una configuración adecuada de la tubería (tubería multicapa) y con los diferentes aditivos existentes para mejorar las propiedades de los polímeros, va a implicar el desarrollo de nuevos sistemas de tuberías mejorados para el transporte de grandes caudales y presiones de agua.

Para incidir en el carácter innovador de la solución propuesta en **Emalcsa#120**, **dados los elevados requerimientos de las condiciones orográficas de las instalaciones en A Coruña, estos materiales de alto valor tecnológico se verán suplementados con aditivos inteligentes.** De esta forma, y aunque las características y propiedades específicas de los polietilenos y polipropilenos dan lugar a muy buenos resultados, la incorporación de aditivos mejora las propiedades finales del producto. Así mismo, los aditivos que aporten un efecto barrera, los aditivos antimicrobianos y aquellos con capacidad de generar una capa interna extra lisa para evitar la formación de biofilm, juegan un papel especial, ya que en todo momento se debe garantizar el uso de agua potable y mejorar la calidad del agua. A continuación, se muestran los diferentes aditivos que pueden considerarse:

Aditivo	Función	Agentes comúnmente empleados
Agentes "antiblocking"	Utilizados a fin de evitar que los <i>films</i> de plástico se peguen consigo mismos durante el procesado	Ceras naturales y manufacturadas, sales metálicas de ácidos grasos, compuestos de sílice o polímeros tales como polivinil alcohol, poliamidas, polietileno, polisiloxanos y fluoroplásticos.

¹² Andreas Frank, Isabelle Berger, Florian Arbeiter, Pavel Hutar. "Lifetime prediction of PE100 and PE100-RC pipes based on slow crack growth resistance". DOI:10.13140/RG.2.2.27467.80165. Conference: Plastic Pipes Conference PPXVIII

Agentes "slip"	Se añaden con los "agentes antiblocking" para reducir el coeficiente de fricción y se diseñan para ser miscibles con polímero fundido.	Amidas de ácidos grasos
Agentes antiestáticos	Son incorporados al plástico para prevenir o reducir el aumento de cargas estáticas en sus superficies.	Aditivos iónicos, como el amonio cuaternario, sales de fosfonio o sulfonio, sales sódicas de sulfonatos, fosfatos y ácidos carboxílicos o aditivos no iónicos, como ésteres, ácidos grasos y aminas etiladas terciarias.
Agentes espumantes o de soplado	Son líquidos o sólidos cuya función es formar un gas durante el procesado del polímero, aproximadamente el mismo tiempo que se produce la solidificación, para crear una estructura espuma disminuyendo la densidad del polímero.	De acuerdo con su forma de generar el gas pueden ser clasificados en agentes químicos (bicarbonato de sodio, borohidruro sódico, ácido policarbónico y ácido cítrico o compuestos orgánicos como los derivados de la hidracina o físicos (gases comprimidos, como nitrógeno).
Agentes nucleantes y clarificantes	Los primeros mejoran las propiedades mecánicas y los tiempos de ciclos más cortos resultantes de una solidificación más rápida, ya que consiguen aumentar los puntos de nucleación en el proceso de cristalización. Los segundos mejoran las propiedades ópticas de los plásticos.	Sales de ácidos carboxílicos, bencilsorbitoles y sales de fosfatos orgánicos.
Antioxidantes	Se emplean para inhibir las reacciones de oxidación. Se dividen en primarios, que actúan durante el tiempo de vida del producto y secundarios, que actúan en la etapa de procesado.	Primarios: Compuestos fenólicos estéricamente impedidos o aminas aromáticas, Secundarios: fosfitos.
Biocidas o agentes microbiales	Se utilizan para proteger al plástico o a sus aditivos del atapa de microorganismos.	Hidroxifeniléteres clorados, boratos de zinc, etc.
Captadores de ácidos ("acid	Se utilizan para neutralizar residuos catalíticos.	Generalmente se emplean estearato de calcio y de

scavengers") o antiácidos		zinc, que también pueden actuar como desmoldeantes o agentes "slip". Otros antiácidos incluyen zeolitas, óxidos de calcio y de zinc y sales metálicas de ácido láctico o benzoico.
Colorantes	Como su propio nombre indica se incorporan para proporcionarle color al polímero. Pueden distinguirse entre tintes o pigmentos. Los primeros son compuestos orgánicos solubles en el plástico. Los pigmentos no son solubles en el polímero por lo que además de color le confieren opacidad.	Tintes (azocompuestos, derivados de la andraquinona y trifenilmetano, etc.); Pigmentos (inorgánicos: óxidos, sulfuros, cromatos y otros complejos basados en metales pesados; orgánicos: azocompuestos y otros compuestos, generalmente policíclicos).
Compatibilizantes	Se utilizan para proporcionar un enlace químico entre la matriz polimérica y la superficie de relleno,	Ácidos grasos, y sus sales, organosulfonatos, organotitanatos y zirconatos, etc.
Desactivadores metálicos	Se utilizan ampliamente en las poliolefinas para desactivar los residuos metálicos presentes en la formulación procedentes de catálisis, impurezas de aditivos o en poliolefinas destinadas a estar en contacto con cobre (cable o alambre).	Son moléculas orgánicas que contienen heteroátomos (N, O, S, P) y/o grupos funcionales hidroxilo, carboxilo o carbamida que pueden reaccionar con el metal.
Estabilizantes a la luz ultravioleta y visible	Se emplean para evitar el deterioro de la poliolefina, causa por la exposición a la luz ultravioleta (UV) y visible (Vis).	Son compuestos derivados de la benzofenona, ácidos cinnámico u oxalínuro, complejos metálicos con S o Ni y amidas poliméricas impedidas.
Lubricantes y ayuda al procesado	Se utilizan en el procesado de plásticos para disminuir la viscosidad del flujo y evitar que el polímero se pegue a superficies metálicas.	Son compuestos como alquilosulfonatos, acetilbriutilcitrato, arilfosfatos y ftalatos.
Rellenos (<i>fillers</i>)	Se utilizan para mejorar el desarrollo de los polímeros modificando su rigidez, dureza, etc.	Carbonato cálcico, carbón negro, sílice, talco, mica, cristal, serrín, etc.

Tabla 7: Listado de posibles aditivos

Estos aditivos ya están desarrollados comercialmente, sin embargo, **la combinación de ellos dentro una matriz polimérica con la dosificación adecuada de cada uno de ellos puede llegar a dar un compuesto termoplástico con propiedades avanzadas, mejorando así las características de los materiales y de la tubería, estudiando también cuál de ellos aporta mejores propiedades a cada capa de la tubería.** La clave está en la correcta formulación de las diferentes combinaciones posibles de los aditivos en la matriz y posterior introducción de la formulación en la capa de la tubería más adecuada.

Los de mayor interés para la presente aplicación son:

- Aditivos antioxidantes.
- Estabilizantes a la luz.
- Desactivadores metálicos.
- Agentes de compatibilización.
- Captadores de ácidos.
- Rellenos (fillers).
- Agentes retardantes a la llama o ignífugos.
- Agentes plastificantes.
- Aditivos colorantes.
- Aditivos antimicrobianos.
- Aditivos con propiedades barrera al oxígeno.

- **Estudio y definición de las mejores formulaciones de aditivos antimicrobianos** para mejorar las características de calidad del agua y efectuar un efecto barrera al oxígeno. Como se mencionaba previamente, son dos retos tecnológicos por abordar:

- Efecto barrera de oxígeno en las tuberías: Las tuberías plásticas, por su estructura física, están sujetas a la difusión del oxígeno del aire desde el exterior hacia su interior. Esta permeabilidad varía en función de las condiciones de la instalación, como la temperatura y la presión. Es sobre todo en circuitos cerrados resulta necesario el uso de sistemas que incorporen una barrera al oxígeno, con el objetivo de evitar la disminución de su rendimiento. Actualmente para garantizar la barrera anti-oxígeno, las tuberías plásticas emplean una barrera física de aluminio o la llamada EVOH, que consiste en una fina capa de copolímero etileno-vinilo-alcohol. Uno de los inconvenientes que presentan los sistemas que incorporan esta capa barrera con EVOH o aluminio es que requieren su retirada para realizar la soldadura, lo que conlleva una mayor inversión tanto en mano de obra como en herramientas específicas para llevar a cabo esta tarea, además de los posibles errores derivados de su correcta realización. Por otra parte, la membrana EVOH no es reciclable ni sostenible, lo

que provoca que estos sistemas tengan una mayor huella ambiental.

- Importancia de aditivos antimicrobianos: La acumulación de residuos en las tuberías es una de las principales y más comunes problemáticas que pueden aparecer en el interior de una canalización. Aunque principalmente, se habla de los atascos debidos a restos de grasas u otros residuos sólidos desechados por las tuberías, resulta especialmente importante la formación de biopelículas de microorganismos en el interior de las tuberías, que se forman cuando las células microbianas se adhieren a las superficies de las tuberías. Las tuberías actualmente empleadas en las redes presentan interiores con cierta rugosidad lo que provoca en muchas ocasiones el estancamiento de aguas, acrecentando la posibilidad de proliferación de microorganismos patógenos. Debido a la importancia que presenta, varios son los artículos científicos en los que han estudiado la proliferación de biofilms en diferentes tipologías de tuberías^{13,14,15}. La gran carga orgánica que circula por las tuberías provoca que la formación de biofilms se presente como un gran problema de contaminación en las tuberías. Además, la existencia de abundantes biopelículas en las paredes internas de tuberías podría conducir a riesgos potenciales como explosiones de alcantarillas, fugas de gas venenoso y corrosión de tuberías con las transformaciones de varios tipos de contaminantes. Adicionalmente, cabe destacar que la formación de atascos en las tuberías debido a la proliferación de los biofilms implicará un aumento en el coste de limpieza de las tuberías, que deberán ser tratadas de manera puntual o sistemática para evitar dicha problemática. Adicionalmente, y asociado a ello, otro de los aspectos a considerar son los posibles efectos de corrosión y de malos olores provocados por la producción de sulfuro de hidrógeno biológico resultante de la falta de oxígeno necesario para la realización de los procesos biológicos en las aguas residuales. Bajo este contexto, se produce la reducción de sulfato a sulfuro de hidrógeno y con ello, la generación de ácido sulfhídrico. Dicha corrosión es de especial importancia en canalizaciones convencionales de hormigón y, aunque es menor en canalizaciones de materiales poliméricos, es necesario tener dicho factor en cuenta. En base a lo expuesto, se demuestra la

13 Mahfoud et al. Disruption of biofilms from sewage piper under physical and chemical conditioning. *Journal of Environmental Sciences*, 2009, 21, 120-126

14 Li et al. Current status and future prospects of sewer biofilms: Their structure, influencing factors, and substance transformations, *Science of The Total Environment*, 2019, 695, 133815

15 Mahapatra et al. Study of biofilm in Bacteria from Water Pipelines. *J. CLin Diagn Res*, 2015,

importancia de desarrollar tuberías con interiores extralisos y propiedades antimicrobianas que impidan la acumulación de bacterias en el interior de estas y la formación de biofilms, así como tuberías con alta resistencia química para evitar los fenómenos de corrosión y, por lo tanto, las degradaciones asociadas¹⁶.

El resto de los aditivos propuestos en estudio son necesarios para poder mejorar las propiedades mecánicas del *Compounds* y posterior tubería, **aportando mayor rigidez o flexibilidad, y mejorando el procesado del material para evitar su posible degradación o su resistencia al exterior**. Es por ello por lo que **se investigará el aditivo más adecuado en función de la capa de la tubería en la que se incluya, así como el porcentaje de dosificación más adecuado para mejorar las propiedades mecánicas de las tuberías actuales y de la calidad del agua que circula por ellas**. Los aditivos se incorporarán en una matriz polimérica de PP o PE, sin embargo, otros de los objetivos es la **fabricación de una tubería sostenible**, es decir, teniendo en cuenta en todo momento el **ecodiseño de la tubería y es por ello por lo que se van a emplear como matrices poliméricas**, materiales procedentes de fuentes renovables con el claro objetivo de desarrollar tuberías medioambientalmente más sostenibles y mejorando siempre las propiedades mecánicas. El punto diferencial marcado en el presente proyecto se basa en el empleo de materiales reciclados en un porcentaje superior al 75%, preservando las propiedades técnicas de las tuberías, así como el tiempo de vida de estas. Se plantea, por tanto, la mejora de los materiales reciclados a emplear para aumentar la vida útil de los compounds poliméricos obtenidos, que posteriormente serán empleados en la obtención de tuberías.

- **Desarrollo de nuevos procesos innovadores de fabricación de tuberías multicapa mediante procesos de extrusión multicapa**: El proyecto aborda la optimización del proceso de fabricación de compounds y tuberías multidiámetro, multiespesor y multicapa mediante nuevos procesos de extrusión¹⁷. El planteamiento de **Emalcsa#120** tiene como objetivo principal la mejora y optimización de todo el proceso, desde la creación de compuestos hasta la producción de tuberías con múltiples diámetros, espesores y capas adaptadas y personalizadas a las condiciones de contorno de cada zona de las instalaciones de Emalcsa.

Un aspecto fundamental de este enfoque es la integración de prácticas sostenibles desde la etapa inicial de diseño hasta la fase de producción. Todos los materiales utilizados se diseñan teniendo en cuenta los principios de reciclaje

16 Mateo Flores Naranjo, Ajay Kumar, Poonam Ratrey and Sarah P. Hudson, Department of Chemical Sciences, SSPC, Science Foundation Ireland Research Centre for Pharmaceuticals, Bernal Institute, University of Limerick. "Pre-formulation of an additive combination of two antimicrobial agents, clofazimine and nisin A, to boost antimicrobial activity". DOI: 10.1039/D3TB01800H (Paper) *J. Mater. Chem. B*, 2024, 12, 1558-1568.

17 Jean-François Agassant and Yves Demay. "Investigation of the Polymer Coextrusion Process: A Review". *Polymers* 2022, 14(7), 1309; <https://doi.org/10.3390/polym14071309>.

y economía circular. Esto no solo contribuye a la reducción de residuos, sino que también destaca la importancia de maximizar la eficiencia en el ciclo de vida de los productos resultantes. En consonancia con los criterios de la economía circular, el proyecto se enfoca en la capacidad de generar cero residuos y lograr un aprovechamiento total de los materiales. Este enfoque sostenible no solo busca mejorar la eficiencia y la calidad de las tuberías multicapa, sino que también resalta el compromiso con prácticas respetuosas con el medio ambiente y la creación de soluciones que contribuyan positivamente a la sostenibilidad a largo plazo.

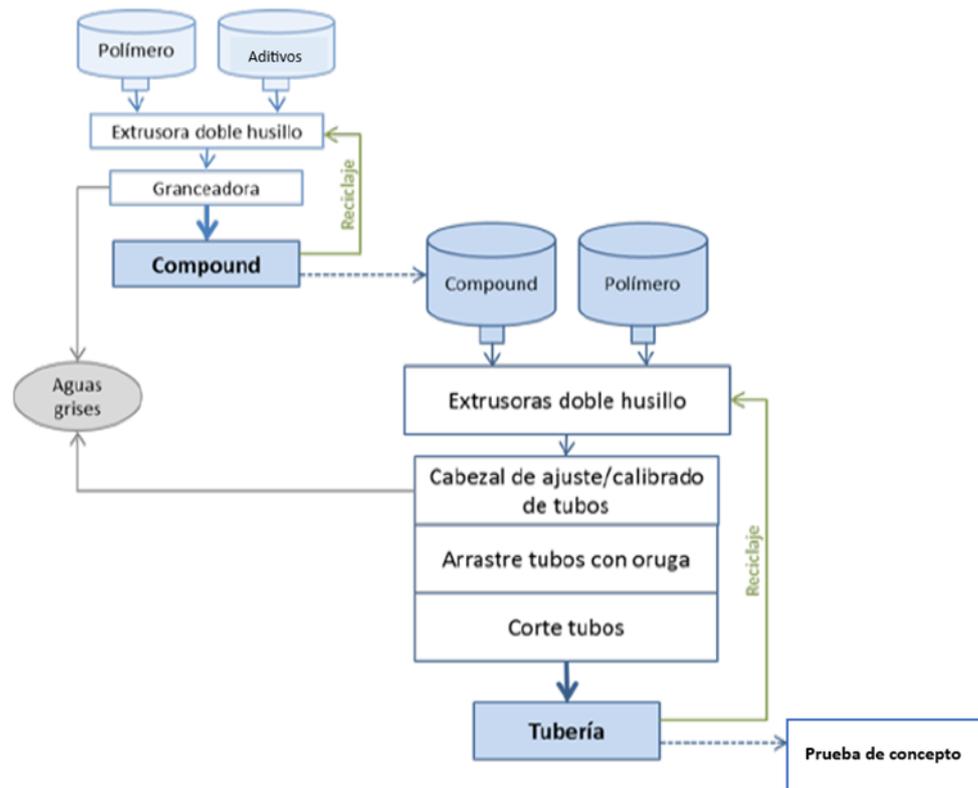


Figura 27: Estrategia del nuevo proceso de obtención de tuberías mediante extrusión multicapa

Por tanto, y a modo de resumen, es importante destacar que todos estos materiales se diseñan y desarrollan a partir del reciclaje y los criterios de la economía circular, incidiendo en su capacidad para producir residuos 0 y total aprovechamiento en su ciclo de vida.

- **Desarrollo de sistema de monitorización y control para la consecución de sistemas de distribución de agua inteligentes:** Como primer punto de innovación se plantean nuevos diseños de los elementos de unión, mediante soldadura socket (polifusión) o mediante electrofusión. De este modo, los manguitos de los sistemas de canalización estarán evolucionados con respecto a los sistemas tradicionales de unión en tuberías plásticas, en su configuración interna y/o externa.

Los sistemas de monitorización multisensorial que se van a situar en los manguitos de unión entre las tuberías incluirán sensores para detectar humedad o presencia de agua, sistemas RFID o etiquetas TAG para el almacenamiento y recuperación de datos mediante señal de radiofrecuencia¹⁸. El objetivo principal de estos dispositivos es asociar al objeto en el que se coloca una identidad o número de serie único, por tanto, por medio de la lectura del RFID o TAG podremos identificarle. Para proporcionar una señal de alarma de fuga, deberán ser previamente interrogados por un dispositivo emisor-receptor de RFID, si no responden porque están en cortocircuito por la presencia de agua, estarán respondiendo afirmativamente a la presencia de humedad.

• Dispositivo Sensor:

Dispositivo por el que recibiremos respuesta cuando el sistema se conecte por la presencia de fuga. La fuga transmitirá una cierta presión al dispositivo, que cerrará el circuito, poniéndole en este caso en posición de emitir señal de alarma. Adicionalmente, proporcionará otros datos de interés de tubo, como su identificación y geolocalización.

• Cable Antena RFID:

Este concepto se refiere al funcionamiento acoplado de dos dispositivos. Por un lado, un RFID y por otro un cable que dispone cada cierta longitud de una antena que puede recibir y/o emitir la señal detectada en el sistema RFID. Por tanto, de manera automática el cable antena puede medir e informar del estado de los RFID que pudieran dar señal de alarma del sistema.

• Fibra Óptica:

Este sistema es de amplio uso para transmisión de redes de datos. La luz transportada por ella se transmite con una determinada frecuencia. Cualquier interacción mecánica sobre ella provocará el cambio de la frecuencia de vibración y por tanto dará información de la localización de la incidencia.

Las **variables para monitorizar** para obtener información en tiempo real de la red estarán enfocadas en los parámetros físicos que se consideran relevantes para detectar cambios de propiedades o calidad del agua, como contenido de cloro, pH, presión, caudal, temperatura, contenido en cloro, turbidez, conductividad, radiactividad, etc.

Sistema de control: El desarrollo de la arquitectura de control para el nuevo sistema permitirá maximizar la frecuencia y el número de puntos de recogida de los datos y variables a monitorizar. El sistema de control permitirá la lectura

18 Benny Zuse Rouso, Martin Lambert, Jinzhe Gong. "Smart water networks: A systematic review of applications using high-frequency pressure and acoustic sensors in real water distribution systems". Journal of Cleaner Production, Volume 410, 15 July 2023, 137193.

automática de las alertas del sistema. El diseño de la arquitectura de control del sistema englobará dos planos:

- Diseño físico: dada una topología física para la red de distribución de aguas, se definirá la superposición e integración, a nivel físico, de la sensórica y los elementos de comunicaciones necesarios.
- Diseño lógico: dada una topología física tanto de soporte como de sensórica y comunicaciones, se establecerá la topología lógica que tendrá la red: torre de protocolos, planos conceptuales, configuraciones de dispositivos, etc.

En el proyecto se plantea desarrollar una **herramienta software** para la simulación del comportamiento del sistema y la gestión de las alertas de los sensores, de forma que se pueda realizar la adquisición, tratamiento y análisis de datos. Se pretende diseñar una aplicación en cuanto a sus interfaces con los usuarios y los sistemas que se puedan interconectar con ella.

El **sistema de comunicación y control** debe incluir:

- Herramientas de supervisión y monitorización de las alarmas ante la presencia de fuga o intrusión (creación de módulo en la nube).
- Protocolos de comunicación entre los sistemas sensorizados y los colectores (que recogen la información del sistema en redes sectorizadas).
- Protocolos de comunicación entre los sensores RFID (o similares) y las unidades de control.
- Herramientas de visualización de las alarmas generadas.
- Software de introducción de datos de cada unidad sensorizada.

Subreito 2.1: Sistema Integrado de Bombeo en Régimen Hiperlaminar (SIBRH).

A continuación, se desglosan las diferentes líneas de actuación en investigación para esta línea de desarrollo:

- **El diseño de los mecanismos para que las bombas funcionen a unos regímenes específicos para las aplicaciones de EMALCSA.** El flujo hiperlaminar exige que la bomba de impulsión funcione de una forma muy particular, tal y como dicta la teoría.

- La **producción de nuevos laminarizadores eficientes** requiere caracterizarlos tanto en términos geométricos, como en su modo y régimen de operación. Para adquirir este conocimiento se utilizarán las medidas tomadas sobre bancada experimental, de forma que permita avanzar en un proceso iterativo de optimización y definición de los diseños de los nuevos laminarizadores. en la bancada experimental a construir. Es interesante notar que cada laminarizador funcionará de forma óptima únicamente bajo ciertas condiciones de operación de la línea. Así pues, será preciso **determinar las condiciones particulares bajo las que un determinado laminarizador puede**

operar. Este conocimiento no existe actualmente y, por tanto, configura el principal trabajo de investigación a desarrollar. Evidentemente, habrá más tareas complementarias que se deberán afrontar durante el proyecto, pero el anterior constituye el principal desarrollo a nivel de investigación. Adicionalmente, este nuevo conocimiento constituirá la base sobre la cual se desarrolle la propuesta de escalado del SIBRH de EMALCSA, es decir, el trabajo mencionado es fundamental para intentar arrojar luz sobre la construcción de sistemas utilizables industrialmente a cualquier condición de operación.

En virtud de lo anterior se propone desarrollar las siguientes líneas de investigación, que están asociadas a cada propuesta geométrica de laminarizador:

- **Propuesta geométrica del laminarizador.** Es necesario definir el máximo régimen de operación de la línea cuyo flujo se va a laminarizar, ya que esto está ligado al tamaño del laminarizador.
- **Determinación del rango de operación para el cual el laminarizador es capaz de funcionar de forma eficiente,** incluyendo todos los regímenes de operación efectivos. Es un ejercicio que requiere realizar campañas experimentales masivas.
- **Propuesta de escalado del laminarizador.** Es un ejercicio teórico en base al conocimiento adquirido a través del trabajo experimental y la teoría disponible.
- También se considerará la **posibilidad de instalar segundos laminarizadores aguas abajo de cualquier elemento que perturben gravemente al flujo (codos, bifurcaciones, etc.).** Esto también implica una amplia actividad experimental.

La consecución de los objetivos de estas actividades de investigación, comportarán unos beneficios que permitirían alcanzar un salto tecnológico diferenciador y rupturista en cuanto a eficiencia, respecto a los sistemas de bombeo actuales de plantas como las de EMALCSA:

- El transporte de agua por las tuberías será más silencioso, ya que estará exento de las fluctuaciones de velocidad que acompañan al movimiento turbulento. Los ciudadanos que residan en la proximidad de grandes conductos de agua apreciarán la diferencia.
- Las tuberías y conducciones de agua estarán sujetas a menores vibraciones, lo que aumenta la vida útil de sus elementos de soporte y unión.
- La disminución de ruido y vibraciones en las tuberías va a facilitar considerablemente la detección de fugas de agua en las mismas, ya que dichas fugas suelen ir acompañadas de un característico patrón de ruido.

- El gasto energético por unidad de volumen se reduce entre un 30% y un 70%.

4.3 Descripción de las tecnologías no comerciales a desarrollar. Características funcionales para alcanzar en cada uno de los productos, procesos o servicios.

Subreto 1.1: Sistemas inteligentes en redes de agua basados en conducciones con capacidades mejoradas

- **Nuevos materiales termoplásticos reforzados con aditivos inteligentes**, para minimizar las problemáticas de calidad de agua que se provocan en las tuberías de redes de distribución y adaptarse a los procesos de fabricación multicapa.

- **Nuevas formulaciones de aditivos inteligentes**, personalizadas para las condiciones de contorno y requerimientos de presión, caudal y orográficas de las instalaciones de Emalcsa, a partir de la generación de nuevos compuestos termoplásticos con propiedades avanzadas.

- **Nuevas tuberías multicapa de propiedades optimizadas**, resultado de la fusión de las dos tecnologías anteriores.

- **Nuevo proceso de fabricación de tuberías multicapa, multidímetro y multiespesor**, mediante procesos de extrusión adaptados a termoplásticos avanzados reforzados con nuevas formulaciones de aditivos.

- Nuevos diseños de elementos de unión de tuberías, a partir de sistemas de monitorización multisensorial. Así, se plantean nuevos diseños mediante soldadura socket o electrofusión, que generarán nuevas configuraciones internas y externas de los mismos, respecto a los sistemas tradicionales.

Subreto 2.1: Sistema Integrado de Bombeo en Régimen Hiperlaminar (SIBRH)

Ninguno de los desarrollos tecnológicos propuestos en esta línea de investigación basada en la consecución de regímenes hiperlaminares para altos caudales y presiones es comercial actualmente.

A partir de esta visión innovadora, la principal tecnología no comercial para desarrollar son los propios dispositivos laminarizadores. Para ello, en el ámbito de **Emalcsa#120** se prevé diseñar varios laminarizadores, basados en distintos principios físicos, siguiendo las guías para el diseño algunos de los laminarizadores validados a nivel experimental¹⁹.

El sistema de control del SIBRH tampoco es una tecnología comercial, al menos en lo referente a los desarrollos software. Dicho **software deberá medir en tiempo real un buen número de parámetros del flujo, introducirlos en las ecuaciones del flujo hiperlaminar, resolver las ecuaciones con estos nuevos parámetros, obtener los nuevos valores de las magnitudes relevantes del flujo, y controlar al**

¹⁹ KUEHNEN, J, SONG, B, SCARSELLI, D, BUDANUR, N, RIEDL, M, WILLIS, A, AVILA, M & HOF, B. "Destabilizing turbulence in pipe flow". Nat. Phys. 14, 386–390.

laminarizador y a la bomba de impulsión para que ambos produzcan dichos valores en el flujo. El ciclo se cierra volviendo a medir los parámetros del flujo para comprobar si realmente se han implantado adecuadamente, y volviendo a ejecutar los cálculos.

Tampoco debe olvidarse que el propio SIBRH consiste en un paquete cerrado que debe ser operado de forma sincronizada mediante el sistema de control a desarrollar. El SIBRH, entendido como conjunto, tampoco es una tecnología comercial.

4.4 Tareas para la obtención de nuevas tecnologías o modificaciones

Subreto 1.1: Sistemas inteligentes en redes de agua basados en conducciones con capacidades mejoradas

Las principales tareas por llevar a cabo para esta línea de desarrollo científico son:

- Diseño y optimización de diferentes formulaciones de materiales que luego serán empleadas en el proceso de obtención de cada una de las capas de las tuberías multicapa, aportando a cada capa una propiedad mejorada y personalizada, en función de las condiciones de contorno y requerimientos en cada zona de la instalación.
- Investigación sobre formulaciones con diferentes matrices poliméricas y aditivos, destinadas a cada una de las capas que forman la tubería para la obtención de los nuevos compounds poliméricos. Estudio y definición de las mejores formulaciones de aditivos antimicrobianos para mejorar las características de calidad del agua y efectuar un efecto barrera al oxígeno. Estudios de dosificaciones.
- Diseño de nuevos sistemas de tuberías mejorados para el transporte de grandes caudales y presiones de agua.
- Introducción de ecodiseño para la fabricación de tuberías sostenibles.
- Fabricación de nuevos sistemas de tuberías multicapa, multiespesor y multidímetro, con propiedades mejorados para el transporte de grandes caudales y presiones de agua.
- Desarrollo de sistema de monitorización multisensorial y control para la consecución de sistemas de distribución de agua inteligentes.
- Integración de los subsistemas y desarrollo de pre-validaciones en condiciones controladas.
- Validación de la tecnología con todos los subsistemas integrados en condiciones reales de operación sobre prototipo de demostración.

Subreto 2.1: Sistema Integrado de Bombeo en Régimen Hiperlaminar (SIBRH)



Las principales tareas científicas tienen que ver con la **caracterización de los laminarizadores**. Previsiblemente, cada laminarizador se basará en un principio físico distinto, determinado por algunas magnitudes físicas propias del laminarizador. Se denominará "*condición de funcionamiento*" del laminarizador a cada conjunto de valores de dichas magnitudes físicas. Según esto, las tareas de investigación previstas son:

- Para un caudal dado, determinar la caída de presión ΔP_2 que origina un laminarizador para cada condición de funcionamiento. Se obtendrá una tabla de caídas de presión para cada caudal, y se generarán distintos caudales, compatibles con la bomba impulsora existente en el prototipo de SIBRH.
- Con los datos anteriores, se intentará obtener una correlación matemática que permita predecir los valores de ΔP_2 para cada caudal y condición de operación del laminarizador. Es de esperar que cada laminarizador quede caracterizado por su respectiva correlación.
- Para cada laminarizador y caudal, se determinará la rapidez con que se genera el correspondiente flujo hiperlaminar, así como el coste energético. Estos datos permitirán identificar los laminarizadores más eficientes.
- Para cada laminarizador, se determinará el máximo retraso con el que la bomba pueda responder a las exigencias del laminarizador, antes de que el flujo se desestabilice y retorne al régimen turbulento. Ya se ha comentado que debe existir una sincronización entre laminarizador y bomba, aunque son posibles pequeños retrasos en la sincronización que deberían caracterizarse. El valor de estos retrasos proporcionará una estimación de lo robusto que es el mecanismo de laminarización.
- Es posible que un mismo laminarizador pueda generar flujos hiperlaminares con distintas condiciones de funcionamiento. Este aspecto también debe ser estudiado y caracterizado en una tarea de investigación específica.
- Para cada flujo hiperlaminar que se obtenga, se estudiarán las condiciones para que retorne al régimen turbulento. Es decir, se perturbará al flujo hiperlaminar de forma controlada hasta conseguir que se desestabilice. Dichos estudios de estabilidad proporcionarán una estimación de lo robusto que es cada tipo de flujo hiperlaminar y de lo fiable que es cada laminarizador.

5. PARA LOS PROYECTOS O FASES DEL PROYECTO DE COMPRA PÚBLICA DE TECNOLOGÍA INNOVADORA: INNOVACIONES TECNOLÓGICAS DEL PROYECTO Y TECNOLOGÍA A APLICAR

En este apartado se resume la información asociada al subreto categorizado como CPTI:

- **SR1.2: Plataforma automatizada de estaciones de alerta temprana para monitorización de aguas.**

5.1 Innovaciones tecnológicas que presenta el proyecto (señalar si las innovaciones son a nivel nacional o internacional) y ventajas para el solicitante

Subreto 1.2: Plataforma automatizada de estaciones de alerta temprana para monitorización de aguas

La solución propuesta posee una versatilidad y capacidad de reconfiguración que permite adaptar el ámbito de aplicación de las estaciones con suma facilidad. El aspecto más disruptor con respecto al estado del arte está básicamente en la **“robotización” de todos los procesos de mantenimiento y calibración**, lo que resuelve uno de los grandes retos de su implantación como son los costes asociados a estos procesos en los sistemas actualmente vigentes en el mercado. También hay que destacar la **visión modular de la solución**, que permite sobre una estructura de bloques preformados implementar diferentes configuraciones de parámetros a medir sin por ello tener que hacer modificaciones sobre la estructura general. Esta opción permite tener una tecnología común en diferentes entornos sin que por ello se compliquen las labores tanto de operación y mantenimiento como las derivadas de nuevas necesidades en cuanto a parámetros de control o la implementación de soluciones provisionales o la posibilidad de movilizar los módulos en diferentes localizaciones de forma sencilla y, por lo tanto, económica. Este factor de solución a medida y adaptada a los requerimientos de la aplicación de EMALCSA es uno de los que marca el carácter innovador de la propuesta, ya que su modularidad, simplicidad y ratio coste-beneficio **facilita su uso en la monitorización de numerosos parámetros de interés medioambiental en diferentes ámbitos y maximiza los datos disponibles para una gestión optimizada del ciclo integral del agua**. Así, soluciones en esta línea pueden ser utilizadas tanto en el control de aguas superficiales como en el control de procesos de potabilización y depuración de aguas urbanas e industriales o en el control de aguas de uso lúdico.

Pero a mayores de esta innovación enfocada a la aplicación concreta de EMALCSA, la solución aporta otros planteamientos innovadores específicos,



teniendo en cuenta su uso en sistemas de gestión de aguas de alta demanda y su implementación en una solución ad-hoc y holística:

- **Uso de la tecnología de multilaminación para el prototipado rápido** a muy bajo coste de los módulos de análisis, constituidos por estructuras complejas 3D que integran sondas, sistemas de detección óptica y elementos de fluídica. Innovación internacional.
- **Fabricación de sensores ad-hoc mediante tecnología microelectrónica** para la medición de pH, redox, ORP, cloro disuelto y conductividad. Innovación internacional.
- **Fabricación de módulos con detección óptica con fuentes y detectores miniaturizados** de altas prestaciones, para la determinación automática y autónoma de parámetros indicadores y relevantes de la calidad en aguas. Innovación internacional.
- **Integración a medida de los distintos elementos en la cuenca de referencia** (sistema natural) y en la red de distribución de Emalcsa. Innovación internacional.
- **Desarrollo de sistemas modulares a medida para efectuar los procesos de muestreo, mantenimiento y calibración de forma automática.** Innovación internacional.
- Incorporación de **algoritmos IA**, utilizando redes neuronales como herramienta de enorme impacto **para determinación de las mejores sondas de monitorización y control de la calidad de aguas.** De esta forma, permitirá mejorar la funcionalidad de las estaciones y ayudar en el tratamiento y explotación de la información generada por éstas. Innovación internacional.

Aparte de su grado de innovación, los módulos planteados posibilitan una gran amplitud de posibilidades en cuanto a las variables de medida a monitorizar, resultando en su conjunto, una solución diferenciadora:

- ❖ Modulo potenciométrico: amonio (NH₄ +), nitrato (NO₃ -).
- ❖ Modulo amperométricos: cloro disuelto, oxígeno disuelto.
- ❖ Modulo para terminación de pH, potencial redox, y conductividad.
- ❖ Modulo óptico: turbidez, materia orgánica disuelta, clorofila y fosfato.

La solución propuesta tendría un impacto económico importante, tanto en lo relativo a los costes de implantación de las futuras estaciones de control, como en los costes de mantenimiento, pudiendo reducir del orden de entre el 50% y el 70% los gastos anuales respecto a las soluciones actuales, lo que ilustra el impacto directo que tendría la propuesta planteada. En este sentido, **las tecnologías de microfabricación de los módulos de análisis aportarían características de adaptabilidad y fabricación a medida, pero también de óptimo ratio coste-beneficio**, habilitando para una reducción drástica de los costes de adquisición y reposición del equipamiento.

Además, al partir de las mismas técnicas analíticas utilizadas en la actualidad, pero en su versión miniaturizada, el escalado no exigirá unos esfuerzos de validación tan exhaustiva, con tanto riesgo tecnológico y con plazos elevados para la obtención de resultados representativos. Además, **el uso de plataformas de microfluídica aporta simplicidad, robustez y capacidad de funcionamiento automatizado y autónomo**. Por último, hay que destacar que, como consecuencia del tamaño reducido de los equipos y su bajo coste de implantación y mantenimiento, se abriría una ventana de oportunidad para aumentar el número estaciones de control distribuidas a lo largo de la cuenca gestionada por EMALCSA.

5.2 Indicar las tecnologías más significativas incorporadas, indicando expresamente si se incorporan innovaciones o conocimientos previos propiedad del solicitante, o previstas para desarrollar en el proyecto

Subreito 1.2: Plataforma automatizada de estaciones de alerta temprana para monitorización de aguas

- **Tecnología de Rapid Prototyping para el desarrollo de los módulos de análisis:** En los últimos años, ha habido avances significativos en la tecnología de multilaminación aplicada al prototipado rápido de módulos de análisis, lográndose una mayor eficiencia en la fabricación, permitiendo la producción rápida y económica de estructuras complejas en 3D que integran sondas, sistemas de detección óptica y elementos de fluídica. Las mejoras en la precisión y resolución de los procesos de multilaminación han llevado a la creación de módulos de análisis más sofisticados y funcionales. Estos avances han ampliado las aplicaciones potenciales de estos dispositivos en campos como la investigación biomédica, el diagnóstico médico, la monitorización ambiental y la industria^{20,21}. Además, la optimización de los materiales utilizados en el proceso de multilaminación ha contribuido a la reducción de costes y al aumento de la sostenibilidad en la fabricación de estos módulos. Se ha prestado especial atención a la integración de la tecnología en un enfoque de economía circular, enfocándose en la reutilización de materiales y la reducción de residuos. El estado del arte también refleja colaboraciones interdisciplinarias entre ingenieros, científicos de materiales y profesionales de la salud, lo que ha impulsado aún más la

20 Chunze Yan, Yusheng Shi, Jingsong Yang, Jinhui Liu, Huazhong University of Science and Technology and Columbia University. "Utilization of multilayering technology for rapid prototyping". *Composite Interfaces* 17(2):257-271. DOI:10.1163/092764410X490680

21 Sarah E. Lu, Andrew Morris, Geraldine Clinton-Bailey, Medya Namiq, Paul C. Gow, Antony Birchill, Sebastian Steigenberger, James Wyatt, Reuben Forrester, Matthew C. Mowlem, Phillip E. Warwick. "Rapid prototyping Lab-on-Chip devices for the future: A numerical optimisation of bulk optical parameters in microfluidic systems". *Sensors and Actuators A: Physical* Volume 359, 1 September 2023, 114496.

innovación en esta área²². La comunidad científica y empresarial continúa explorando nuevas aplicaciones y mejoras en la tecnología de multilaminación para seguir avanzando en la creación de módulos de análisis altamente eficientes y asequibles.

- **Tecnología microelectrónica para fabricación de sensores ad-hoc** para la medición de pH, redox, ORP, cloro disuelto y conductividad. La tecnología microelectrónica ha desempeñado un papel crucial en el desarrollo de sensores avanzados para la monitorización de diversos parámetros en aplicaciones como el monitoreo ambiental, la industria química, el tratamiento de aguas y la atención médica. Los *topics* con mayores márgenes de desarrollo para esta línea de desarrollo son:
 - o El **uso de la microelectrónica** para la miniaturización de sensores, facilitando su integración en dispositivos portátiles y sistemas embebidos para mediciones in situ^{23,24}.
 - o **Mayor precisión y estabilidad** en la medición de parámetros como pH, redox, ORP, cloro disuelto y conductividad.
 - o La posibilidad de desarrollar **sensores multiparamétricos**, que pueden medir múltiples parámetros simultáneamente, lo que mejora la eficiencia y reduce la necesidad de múltiples dispositivos.
 - o La aplicación de **materiales avanzados** en la construcción de sensores, con el objetivo de optimizar su personalización a la aplicación y su durabilidad, asegurando mediciones más confiables y una vida útil más larga.
 - o La transmisión de datos en **tiempo real**, facilitando la monitorización remota y la toma de decisiones basada en datos.
 - o El aumento de la **eficiencia energética** de los sensores.
- **Detección óptica con fuentes y detectores miniaturizados** de altas prestaciones **para la fabricación de módulos**. El estado actual de la detección óptica con fuentes y detectores miniaturizados indica un progreso significativo hacia la fabricación de módulos automáticos y autónomos para la determinación precisa de parámetros de calidad del agua, con aplicaciones valiosas en diversos campos, desde la gestión del agua hasta la monitorización ambiental. Se han logrado avances significativos en el desarrollo de fuentes y detectores ópticos de estado sólido, fuentes de luz LED y láser miniaturizadas, así como sistemas de

22 Philipp Harth, Arco Bast, Jakob Troidl, Bjorge Meulemeester, Hanspeter Pfister, Johanna Beyer, Marcel Oberlaender, Hans Christian Hege, Daniel Baum. "Rapid Prototyping for Coordinated Views of Multi-scale Spatial and Abstract Data: A Grammar-based Approach". Eurographics Workshop on Visual Computing for Biology and Medicine, 2023.

23 Vasant Iyer, David A. Issadore and Firooz Aflatouni. "The next generation of hybrid microfluidic/integrated circuit chips: recent and upcoming advances in high-speed, high-throughput, and multifunctional lab-on-IC systems". Lab on a chip, Issue 11, 2023.

24 Nikolay Samotaev, Artur Litvinov, Konstantin Oblov, Maya Etrekova, Boris Podlepetsky and Pavel Dzhumaev. "Combination of Material Processing and Characterization Methods for Miniaturization of Field-Effect Gas Sensor". Sensors 2023, 23(1), 514; <https://doi.org/10.3390/s23010514>.

procesamiento óptico compactos y eficientes²⁵. La tendencia actual se inclina hacia la integración de estos avances en módulos completos para el análisis de la calidad del agua. La miniaturización y la optimización de componentes permiten la fabricación de dispositivos modulares que pueden determinar automáticamente parámetros clave como el pH, el potencial redox (ORP), el cloro disuelto y la conductividad. La capacidad de fabricar sensores personalizados con dimensiones reducidas ha llevado a mejoras notables en la versatilidad y eficiencia de la detección. Estos avances encuentran aplicaciones especialmente relevantes en el monitoreo ambiental, donde la detección rápida y precisa de parámetros de calidad del agua es esencial.

- **Desarrollo de sistemas modulares a medida para efectuar los procesos de muestreo, mantenimiento y calibración de forma automática**, mediante desarrollos que aborden diseños personalizados, la automatización del muestreo, el mantenimiento automático para garantizar un rendimiento constante y fiable a lo largo del tiempo, la integración de capacidades de comunicación entre los diferentes módulos y su coordinación en tiempo real para la toma de decisiones basada en datos o la escalabilidad.
- **Algoritmos IA para la determinación de las mejores sondas de monitorización y control de la calidad de aguas**. Se comenzará recopilando datos relevantes sobre la calidad del agua de diversas fuentes (temperatura, el pH, la concentración de sustancias químicas, entre otros), que sirvan como entrenamiento para los algoritmos de IA. EL modelo de aprendizaje profundo se ajustará para identificar patrones y correlaciones entre diferentes variables y la efectividad de diferentes sondas de monitorización. Esto puede incluir la capacidad de detectar ciertos contaminantes, la precisión de las mediciones y la resistencia a condiciones ambientales adversas. La salida del modelo de IA se integra con el sistema de control que gestiona las sondas de monitorización. Esto permite una implementación automatizada de las recomendaciones del modelo, mejorando la eficiencia operativa y reduciendo la intervención humana.
- **Uso de plataformas de microfluídica para optimizar las características de simplicidad y capacidad de funcionamiento automatizado y autónomo**. La base de este enfoque conlleva el desarrollo de sistemas más simples en comparación con métodos tradicionales, ya que se utilizan volúmenes más pequeños de reactivos y se minimizan los pasos complejos. La integración de plataformas de microfluídica en el caso de EMALCSA

25 Haoxuan Sun, Yicheng Zhou, Liang Li. "Miniature integrated spectrometers towards high-performance and cost-effective". October 2023 Light Science & Applications 12(1):259. DOI:10.1038/s41377-023-01302-3.

busca mejorar la automatización y autonomía de los procesos de monitorización y control de la calidad del agua. La microfluídica puede ser especialmente beneficiosa en entornos donde se requiere una respuesta rápida y precisa para la detección de contaminantes o cambios en los parámetros del agua.

5.3 Descripción del estado de desarrollo de estas tecnologías entre las empresas de la competencia a nivel nacional e internacional.

Subreito 1.2: Plataforma automatizada de estaciones de alerta temprana para monitorización de aguas

A continuación, se relacionan las líneas de investigación, con el estado de desarrollo mediante actividades de I+D por parte de empresas tecnológicas del ámbito industrial:

- **Tecnología de Rapid Prototyping para el desarrollo de los módulos de análisis:** En la actualidad, las empresas están aprovechando tecnologías de impresión 3D y prototipado rápido para desarrollar prototipos de módulos de análisis de manera eficiente. Estas tecnologías permiten la creación rápida de modelos tridimensionales precisos, acelerando el proceso de diseño y prueba de concepto. Así, la capacidad de personalizar diseños según las necesidades específicas del control de calidad del agua es una tendencia destacada. Las empresas están utilizando el prototipado rápido para optimizar la forma y la funcionalidad de los módulos de análisis, asegurando un rendimiento óptimo en situaciones diversas. La tecnología de prototipado rápido permite la integración de componentes avanzados, como microsensores, sistemas de microfluídica y detección óptica, en los módulos de análisis. Esto contribuye a la mejora de la precisión y la sensibilidad de los sistemas y a la iteración rápida de diseños. Algunas empresas están incorporando prácticas sostenibles en el diseño de sus módulos de análisis, utilizando materiales respetuosos con el medio ambiente y enfocándose en la eficiencia energética durante el proceso de fabricación^{26,27,28}.
- **Tecnología microelectrónica para fabricación de sensores ad-hoc** para la medición de pH, redox, ORP, cloro disuelto y conductividad. La tecnología microelectrónica está permitiendo la miniaturización de sensores, lo que facilita su integración en sistemas más compactos y eficientes. La reducción de tamaño no compromete la precisión de las mediciones, sino que, por el contrario, optimiza la portabilidad y

26 https://www.kisters.eu/water-weather-and-environment/?mtm_campaign=KD%20%7C%20All-Regions&mtm_kwd=water&data&mtm_source=google&mtm_medium=cpc&gad_source=1&gclid=CjwKCAjw17qvBhBrEiwA1rU9w-YCNkqb-TTctC34hmPBrhGivTk9djG_nPCwLIgy9UtmXiypmZdfRBoCzrgQAvD_BwE.

27 <https://www.agilent.com/>

28 <https://www.createmeter.com/>

aplicabilidad de estos sensores. Así, la capacidad de fabricar sensores ad-hoc se ha expandido para abarcar una variedad de parámetros cruciales para la calidad del agua, aumentando al mismo tiempo la sensibilidad y precisión de estos. Esto permite detectar variaciones sutiles en los parámetros medidos, contribuyendo a una monitorización más efectiva y precisa. Las soluciones en desarrollo integran sensores con plataformas IoT y herramientas analíticas de datos, con el objetivo de simplificar los procesos de toma de decisiones informadas^{29,30,31}.

- **Detección óptica con fuentes y detectores miniaturizados** de altas prestaciones **para la fabricación de módulos**. Actualmente existen empresas con desarrollos en curso en el ámbito de la miniaturización de fuentes de luz y detectores ópticos^{32,33}. Esto permite la fabricación de módulos compactos y portátiles que pueden ser desplegados fácilmente en diversas ubicaciones para monitorear la calidad del agua de manera descentralizada. En esta línea, se han desarrollado fuentes de luz innovadoras, como LEDs y láseres miniaturizados, que ofrecen un rendimiento óptico de alta calidad. Estas fuentes de luz son energéticamente eficientes y proporcionan una iluminación precisa para mediciones ópticas avanzadas. Al mismo tiempo, estas empresas están desarrollando plataformas de análisis de datos que permitan procesar grandes volúmenes de información recopilada por los módulos ópticos y minimizar el consumo de energía. Esto facilita la interpretación de datos y la generación de informes para la toma de decisiones informada y la garantía de operaciones sostenibles. Por último, para otras aplicaciones industriales se está trabajando en la evolución de capacidades multispectrales y multicanal, que permitan la monitorización simultánea de varios parámetros, brindando una visión holística de la calidad del agua en tiempo real^{34,35}. Las soluciones propuestas por estas empresas suelen ser modulares y adaptables a diferentes entornos y condiciones de flujo. Esta versatilidad garantiza la aplicabilidad de las tecnologías en una variedad de escenarios.
- **Desarrollo de sistemas modulares a medida para efectuar los procesos de muestreo, mantenimiento y calibración de forma automática**. Las soluciones en desarrollo están enfocadas al concepto de modularización, de forma que permita obtener tecnologías flexibles y

29 <https://es.vwr.com/store/>

30 <https://in-situ.com/en/>

31 <https://www.hamiltoncompany.com/>

32 <https://www.steute-leantec.com/en/>

33 Daniel Mariuta, Stéphane Colin, Christine Barrot Lattes, Stephane Le Calvé “Miniaturization of fluorescence sensing in optofluidic devices”. *Microfluidics and Nanofluidics* 24(9). DOI:10.1007/s10404-020-02371-1

34 Daiane Ferreira Campos, José Artur Teixeira, Marcel Tremblay “Advances in Technological Research for Online and In Situ Water Quality Monitoring—A Review”. *April 2022 Sustainability* 14(9):5059. DOI:10.3390/su14095059

35 <https://seika-europe.com/en/products/measuring-instruments/>

adaptativas a configuraciones y entornos variables^{36,37}. Esta flexibilidad es crucial para satisfacer las necesidades específicas de diferentes ubicaciones de monitoreo en el caso de EMALCSA y para integrarse con sistemas de instrumentación heterogéneos y multidetectores. De la misma forma, la integración con arquitecturas IoT y sistemas de gestión de datos en la nube, es una tendencia clave. Al mismo tiempo, hay que destacar los avances en la complementariedad de las funcionalidades con capacidades de autodiagnóstico, se forma que se reduzcan los tiempos de inactividad, y mantenimiento predictivo^{38,39}, permitiendo la generación de protocolos proactivos para minimizar las intervenciones de mantenimiento.

- **Algoritmos IA para la determinación de las mejores sondas de monitorización y control de la calidad de aguas.** El estado de desarrollo de esta tecnología en el ámbito empresarial está en un grado de madurez más elevado que las líneas anteriores. Por un lado, hay un volumen importante de empresas con soluciones IA para analizar datos históricos y en tiempo real que determinen las mejores sondas de monitorización según las características específicas de cada ubicación. Esto incluye la adaptación a las condiciones ambientales, el tipo de cuerpo de agua y los parámetros específicos de interés^{40,41}. El interés en los últimos años en diversos sectores de estas soluciones viene motivado por la opción que abre para una gestión más eficiente de los recursos financieros y a la posibilidad de maximizar las capacidades de monitorización más efectiva. Así, estos sistemas pueden abarcar desde sensores multiparámetro hasta tecnologías emergentes, como sensores ópticos y miniaturizados y sondas heterogéneas, mejorando la capacidad de recopilación de datos en tiempo real.

5.4 Si se va a patentar la tecnología desarrollada en el proyecto señalar que diferencias más importantes existen con otras patentes. Descripción de posibles modelos de utilidad a solicitar a la OEPM, desarrollados por el proyecto

Para poder disponer de la mayor información posible para el análisis de actividades de patentabilidad, SIDI CONSULTORÍA Y GESTIÓN S.L.U, como entidad que presta apoyo técnico en la presentación de la solicitud a EMALCSA,

36 Daiane Ferreira Campos, José Artur Teixeira, Marcel Tremblay “Advances in Technological Research for Online and In Situ Water Quality Monitoring—A Review”. April 2022Sustainability 14(9):5059. DOI:10.3390/su14095059

37 <https://seika-europe.com/en/products/measuring-instruments/>

38 Daiane Ferreira Campos, José Artur Teixeira, Marcel Tremblay “Advances in Technological Research for Online and In Situ Water Quality Monitoring—A Review”. April 2022Sustainability 14(9):5059. DOI:10.3390/su14095059

39 <https://seika-europe.com/en/products/measuring-instruments/>

40 <https://htecgroup.com/>

41 Silvia Tinelli; Ilan Juran. “Artificial intelligence-based monitoring system of water quality parameters for early detection of non-specific bio-contamination in water distribution systems”. Water Supply 19 (6): 1785–1792. <https://doi.org/10.2166/ws.2019.057>.

solicitó en su nombre **tres Informes Tecnológicos de Patentes (ITP)** a la Oficina Española de Patentes y Marcas (OEPM) sobre las tecnologías abordadas en cada subreto de **Emalcsa#120**. Estos tres informes serán anexados a la presente solicitud.

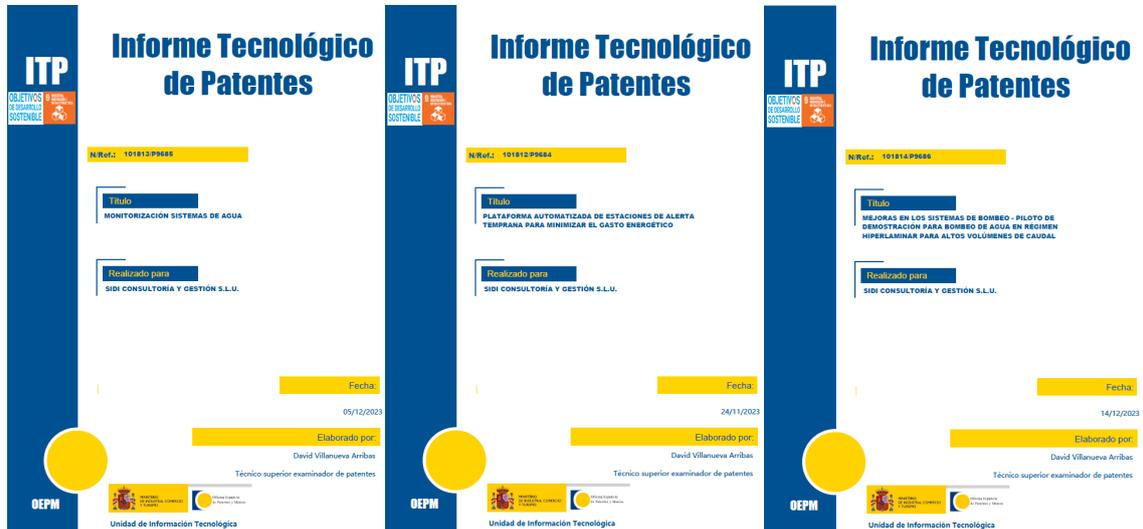


Figura 28: Imágenes de los Informes Tecnológicos de Patentes del proyecto **Emalcsa#120**, emitidos por la OEPM

De acuerdo con los mismos, las conclusiones extraídas respecto al carácter innovador y las posibilidades de futura patentabilidad de las soluciones son las siguientes:

- **Sistemas inteligentes en redes de agua basados en conducciones con capacidades mejoradas:** *“Se ha efectuado una búsqueda para disponer de una visión más amplia sobre el estado de la técnica existente en la literatura patente con respecto por un lado a redes de agua con conducciones multicapa y por otro a sistemas de monitorización inteligente con detección de fugas de agua en sistemas de captación, potabilización o depuración de aguas. Se pueden encontrar documentos de patentes que describen invenciones técnicas de tipo muy general, en los que solamente se enumeran los elementos que forman parte de la solución, y otros documentos con modos de realización más detallados, especificando los aspectos clave constructivos de sus desarrollos. El desarrollo de una implementación particular de este tipo de conducciones y sistemas de detección en las mismas es complejo, multidisciplinar y requiere de un “know-how” muy específico, por lo que es una oportunidad para obtener soluciones técnicas concretas a problemas técnicos concretos que las propuestas previas incorporadas en este informe no hayan conseguido resolver. Por lo tanto, a la luz de los documentos recuperados, **la solución propuesta podría tener carácter innovador**”.*

- **Plataforma automatizada de estaciones de alerta temprana para monitorización de aguas:** *“Por su complejidad, los solicitantes de patentes no*

suelen abordar en un único documento la protección de un sistema completo (plataforma automatizada o red de estaciones) que describa soluciones nuevas o mejoras en áreas técnicas relacionadas pero muy diversas. El desarrollo de una red de estaciones de alerta temprana en una plataforma inteligente que redes de abastecimiento de agua, optimice su gestión y la toma de decisiones relacionadas tanto con su administración como con la planificación estratégica, ya ha sido abordado por diferentes empresas con diversos enfoques y alcances mediante tecnologías de última generación. Todos los resultados reflejados son además de documentos de patentes de origen China. No obstante, el desarrollo de una implementación particular de este tipo de plataformas inteligentes es complejo, multidisciplinar y requiere de un “know-how” muy específico, por lo que es una oportunidad para obtener soluciones técnicas concretas a problemas técnicos concretos que las propuestas previas incorporadas en este informe no hayan conseguido resolver. Por lo tanto, **a la luz de los documentos recuperados, la solución propuesta podría tener carácter innovador**”.

- **Sistema Integrado de Bombeo en Régimen Hiperlaminar (SIBRH)**: “Se ha revisado el estado de la técnica existente en la literatura patente con respecto a redes de suministro de agua que incorporan sistemas de bombeo y conducción de agua en régimen hiperlaminar para altos volúmenes de agua, que sea escalable para sustituir a los sistemas de bombeo existentes actualmente. Por su complejidad, los solicitantes de patentes no suelen abordar en un único documento la protección de un sistema. El desarrollo de una implementación particular de este tipo de solución técnica es complejo, multidisciplinar y requiere de un “know-how” muy específico, por lo que es una oportunidad para obtener soluciones técnicas concretas a problemas técnicos concretos que las propuestas previas incorporadas en este informe no hayan conseguido resolver. Por lo tanto, a la luz de los documentos recuperados, **la solución propuesta podría tener carácter innovador**”.

Por tanto, de acuerdo con los informes proporcionado por la OEPM, se reconoce que las tecnologías de monitorización y bombeo de los sistemas de agua planteados en **Emalcsa#120**, superarían en innovación al estado de la tecnología existente y patentada hasta el momento, factor que abre el camino a posibles solicitudes de patentes o modelos de utilidad, que se irán contemplando a medida que se desarrollen las actividades de CPI.

Con la información actual, la estimación es obtener:

- **1 patente** relacionada con el sistema de bombeo de agua en régimen hiperlaminar, dado que no hay equipamiento a nivel mundial que asuma grandes volúmenes de caudal para aplicaciones a escala industrial.
- **2 modelos de utilidad**, focalizados en sistemas inteligentes en redes de agua basada en conducciones con capacidades mejoradas y la

plataforma automatizada de estaciones de alerta temprana para monitorización de la calidad de las aguas.

Las reivindicaciones que debería incorporar cada solicitud de patente se concretarán una vez esté desarrollada la solución innovadora y no antes, puesto que es necesario conocer hasta donde se podrán abarcar para protegerlas de la mejor manera posible, ya sea de manera integral o parcial.

5.5 Referencias bibliográficas más relevantes Innovaciones tecnológicas que presenta el proyecto

Referencias bibliográficas relacionadas con el desarrollo de **Sistemas inteligentes en redes de agua basados en conducciones con capacidades mejoradas**:

- Jin Zhou, Xiangyin Meng, Tao Tao and Fengpei Zhang, "Research on application of GIS and GPS in inspection and management of city gas pipeline network". Conf. Ser.: Earth Environ. Sci. 108 032004. DOI 10.1088/1755-1315/108/3/032004

- Mutiu Adesina Adegboye, Wai-Keung Fung and Aditya Karnik, "Recent Advances in Pipeline Monitoring and Oil Leakage Detection Technologies: Principles and Approaches". Sensors MDPI. DOI: 10.3390/s19112548.

- Semih Aslan, "Leak Detection and Location Pinpointing in Water Pipeline Systems Using a Wireless Sensor Network". Conference: 2021 IEEE International Symposium on Circuits and Systems (ISCAS).

- Benny Zuse Rousso, Martin Lambert, Jinzhe Gong. "Smart water networks: A systematic review of applications using high-frequency pressure and acoustic sensors in real water distribution systems". Journal of Cleaner Production, Volume 410, 15 July 2023, 137193.

- ASETUB. Informe técnico "Las tuberías plásticas y el desarrollo sostenible".

- Zhiyao Zhang and Xueqin Gao "Polypropylene Random Copolymer Based Composite Used for Fused Filament Fabrication: Printability and Properties". Polymers MDPI. Published online 2022 Mar 10. doi: 10.3390/polym14061106.

- Andreas Frank, Isabelle Berger, Florian Arbeiter, Pavel Hutar. "Lifetime prediction of PE100 and PE100-RC pipes based on slow crack growth resistance". DOI:10.13140/RG.2.2.27467.80165. Conference: Plastic Pipes Conference PPXVIII.

- Mahfoud et al. Disruption of biofilms from sewage piper under physical and chemical conditioning. Journal of Environmental Sciences, 2009, 21, 120-126

- Li et al. Current status and future prospects of sewer biofilms: Their structure, influencing factors, and substance transformations, Science of The Total Environment, 2019, 695, 133815

- Mahapatra et al. Study of biofilm in Bacteria from Water Pipelines. J. Clin Diagn Res, 2015,

- Mateo Flores Naranjo, Ajay Kumar, Poonam Ratrey and Sarah P. Hudson, Department of Chemical Sciences, SSPC, Science Foundation Ireland Research Centre for Pharmaceuticals, Bernal Institute, University of Limerick. "Pre-formulation of an additive combination of two antimicrobial agents, clofazimine and nisin A, to boost antimicrobial activity". DOI: 10.1039/D3TB01800H (Paper) J. Mater. Chem. B, 2024, 12, 1558-1568.

- Jean-François Agassant and Yves Demay. "Investigation of the Polymer Coextrusion Process: A Review". Polymers 2022, 14(7), 1309; <https://doi.org/10.3390/polym14071309>.

Referencias bibliográficas relacionadas con el desarrollo de la **Plataforma automatizada de estaciones de alerta temprana para monitorización de aguas:**

- Chunze Yan, Yusheng Shi, Jingsong Yang, Jinhui Liu, Huazhong University of Science and Technology and Columbia University. "Utilization of multilayering technology for rapid prototyping". Composite Interfaces 17(2):257-271. DOI:10.1163/092764410X490680

- Sarah E. Lu, Andrew Morris, Geraldine Clinton-Bailey, Medya Namiq, Paul C. Gow, Antony Birchill, Sebastian Steigenberger, James Wyatt, Reuben Forrester, Matthew C. Mowlem, Phillip E. Warwick. "Rapid prototyping Lab-on-Chip devices for the future: A numerical optimisation of bulk optical parameters in microfluidic systems". Sensors and Actuators A: Physical Volume 359, 1 September 2023, 114496.

- Philipp Harth, Arco Bast, Jakob Troidl, Bjorge Meulemeester, Hanspeter Pfister, Johanna Beyer, Marcel Oberlaender, Hans Christian Hege, Daniel Baum. "Rapid Prototyping for Coordinated Views of Multi-scale Spatial and Abstract Data: A Grammar-based Approach". Eurographics Workshop on Visual Computing for Biology and Medicine, 2023.

- Vasant Iyer, David A. Issadore and Firooz Aflatouni. "The next generation of hybrid microfluidic/integrated circuit chips: recent and upcoming advances in high-speed, high-throughput, and multifunctional lab-on-IC systems". Lab on a chip, Issue 11, 2023.

- Nikolay Samotaev, Artur Litvinov, Konstantin Oblov, Maya Etrekova, Boris Podlepetsky and Pavel Dzhumaev. "Combination of Material Processing and Characterization Methods for Miniaturization of Field-Effect Gas Sensor". Sensors 2023, 23(1), 514; <https://doi.org/10.3390/s23010514>.

- Haoxuan Sun, Yicheng Zhou, Liang Li. "Miniature integrated spectrometers towards high-performance and cost-effective". October 2023 Light Science & Applications 12(1):259. DOI:10.1038/s41377-023-01302-3.

Referencias bibliográficas relacionadas con el desarrollo del **Sistema Integrado de Bombeo en Régimen Hiperlaminar (SIBRH):**



- GARCÍA GARCÍA, F.J. 2017 *Transient discharge of a pressurised incompressible fluid through a pipe and analytical solution for unsteady turbulent pipe flow*. PhD thesis, Higher Polytechnic College - University of A Coruña.
- GARCÍA GARCÍA, F.J. & FARIÑAS ALVARIÑO, P 2019a *Analytic and CFD models for transient outburst flow*. J. Hydraul. Engng ASCE 145 (3), 04018087–1–10.
- GARCÍA GARCÍA, F.J. & FARIÑAS ALVARIÑO, P 2019b *On an analytic solution for general unsteady/transient turbulent pipe flow and starting turbulent flow*. Eur. J. Mech. (B/Fluids) 74, 200–210.
- GARCÍA GARCÍA, F.J. & FARIÑAS ALVARIÑO, P 2019c *On an analytical explanation of the phenomena observed in accelerated turbulent pipe flow*. J. Fluid Mech. 881, 420–461.
- GARCÍA GARCÍA, F.J. & FARIÑAS ALVARIÑO, P 2020 *On the influence of Reynolds shear stress upon the velocity patterns generated in turbulent starting pipe flow*. Phys. Fluids 32, 105119–1–26.
- GARCÍA GARCÍA, F.J. & FARIÑAS ALVARIÑO, P 2021 *On the general analytic solution for unsteady turbulent incompressible flow between parallel plates*. Phys. Fluids 33, 045103–1–21.
- GARCÍA GARCÍA, F.J. & FARIÑAS ALVARIÑO, P. 2022 *On the analytic explanation of experiments where turbulence vanishes in pipe flow*, J. Fluid Mech., 951, 1–40, DOI:10.1017/jfm.2022.651.
- GARCÍA GARCÍA, F.J. & FARIÑAS ALVARIÑO, P 2023 *On the analytical solution of transient friction in channel flow*. Under revision by Phys. Fluids.
- HE, S, HE, K & SEDDIGHI, M 2016 *Laminarisation of flow at low Reynolds number due to streamwise body force*, J. Fluid Mech. 809, 31-71.
- KUEHNEN, J, SCARSELLI, D, SCHANER, M & HOF, B 2018a *Relaminarisation by steady modification of the streamwise velocity profile in a pipe*. Flow Turbul. Combust. 100, 919–943.
- KUEHNEN, J, SONG, B, SCARSELLI, D, BUDANUR, N, RIEDL, M, WILLIS, A, AVILA, M & HOF, B 2018b *Destabilizing turbulence in pipe flow*. Nat. Phys. 14, 386–390.
- KUEHNEN, J, SCARSELLI, D & HOF, B 2019 *Relaminarization of pipe flow by means of 3D-printed shaped honeycombs*. J. Fluids Engng 141 (111105), 1–7.
- MARUSIC, I, JOSEPH, D & MAHESH, K 2007 *Laminar and turbulent comparisons for channel flow and flow control*. J. Fluid Mech. 570, 467–477.
- SCARSELLI, D, KUEHNEN, J & HOF, B 2019 *Relaminarising pipe flow by wall movement*, J. Fluid Mech. 867, 934-948.

6. IMPACTO SOCIOECONÓMICO DEL PROYECTO

6.1 Descripción de las ventajas económicas, sociales e innovadoras o competitivas para el servicio público beneficiado.

El desarrollo de soluciones planteadas en la propuesta **Emalcsa#120** suponen en conjunto e individualmente importantes mejoras en los sistemas de agua urbanos, lo que presenta una serie de **impactos positivos y ventajas económicas, sociales e innovadoras o competitivas** para los servicios públicos que ofrece, y que se pasan a resumir a continuación:

VENTAJAS ECONÓMICAS		
IMPACTOS	DESCRIPCION	EVALUACION
Eficiencia operativa	La monitorización en tiempo real, tanto en términos cuantitativos como cualitativos, permite un control más preciso de la calidad del agua y de los procesos operativos en la red de distribución. Las operaciones de mantenimiento se reducen y se pueden planificar, lo que redundará en una mayor eficiencia de los recursos y una menor afección en términos de servicio a los ciudadanos.	<ul style="list-style-type: none"> • Reducción de la ratio de roturas por KM en un 20%. • Reducción del tiempo de respuesta a roturas en un 90%. • Reducción del número de fraudes y tomas ilegales en un 90%. • Mejora de la eficiencia y seguridad en los tratamientos en un 20%. • Reducción del número de incidencias relacionadas con la calidad del agua en un 80%.
Mejora de la eficiencia económica	La optimización en la gestión de las infraestructuras del ciclo del agua supondrá ahorros en los costes económicos relacionados con el mantenimiento, en los gastos en recursos energéticos, así como en la planificación presupuestaria de nuevas infraestructuras a medio/largo plazo. En este sentido, las decisiones estratégicas de EMALCSA tendrán una base de información más sólida y estarán basadas en modelos e información de alto valor añadido que permitirá predecir la funcionalidad de diferentes escenarios y condiciones de contorno.	<p>Reducción de la pérdida de agua tratada en un 5% anual, lo que supone un ahorro de 150.000 m3.</p> <p>Reducción de los costes de operaciones de mantenimiento en un 50%.</p> <p>Mejora de la eficiencia de las operaciones en un 30%.</p> <p>Eficiencia en dimensionamiento de infraestructuras con una reducción del 10% en inversión.</p>
Reducción de costes energéticos	Las redes con condiciones hidráulicas mejoradas pueden suponer ahorros en los sistemas de distribución, mejoras significativas en la percepción de calidad por parte de los clientes. Por otro lado, el cambio de régimen en las impulsiones supone una mejora sustancial en las condiciones de estos y en su consumo	<p>Ahorro energético en bombes del 5% por mejora del coeficiente de rozamiento.</p> <p>Ahorro energético del 10% por reducción de ANR.</p> <p>Ahorro energético del 30 al 70% en impulsiones de agua.</p>

Prevención de daños y mantenimiento predictivo	La monitorización continua del estado de los equipos y la calidad del agua permite la detección temprana de posibles problemas. Esto facilita la implementación de estrategias de mantenimiento predictivo, evitando paradas no planificadas y reduciendo los costos asociados a reparaciones mayores.	Reducción de incidencias y mejora del desempeño en general con ahorros de un 20% en las operaciones de mantenimiento, tanto en sistemas de distribución como en planta de potabilización (ETAP), y sistemas de bombeo (EBAR).
Cumplimiento normativo y ausencia de sanciones	El monitoreo constante y las capacidades mejoradas en cuanto a prevención de biofilm o de contaminación microbiana mediante nuevos materiales, garantiza el cumplimiento de las normativas medioambientales y de calidad. Evitar incumplimientos normativos y posibles multas asociadas puede resultar en ahorros financieros y la preservación de la reputación de la planta.	Reducción total de incidencias administrativas.
Aumento de vida útil de los equipos	Los nuevos materiales permiten que la duración de las instalaciones pueda garantizarse por más tiempo con todas las garantías	Vida útil de más de 50 años.
Incremento de la productividad y la producción	Una planta que opera de manera eficiente y cumple con los estándares de calidad puede experimentar un aumento en la productividad y producción. La disponibilidad constante de agua de alta calidad y el funcionamiento optimizado de los procesos pueden generar ingresos adicionales al facilitar la producción continua.	Incremento de la productividad general de los procesos en un 10%.
Atracción de inversiones	La implementación de tecnologías avanzadas y sostenibles en la gestión del agua puede hacer que la planta sea más atractiva para colaborar en futuros proyectos sostenibles y respetuosos con el medio ambiente. Esto puede proporcionar recursos financieros adicionales.	Las novedades tecnológicas propuestas son susceptibles de aplicación en otros ámbitos no directos y suponen una mejora de la visión del sector y un aporte extra de recursos para seguir innovando.
Reputación y responsabilidad corporativa	Operar una planta o una red de distribución de agua, incluidos los sistemas de impulsión, con enfoque en la sostenibilidad y la eficiencia mejorará la reputación de la empresa, y del sector. La responsabilidad corporativa y la adopción de prácticas respetuosas con el medio ambiente pueden atraer a clientes y socios comerciales, generando beneficios económicos a largo plazo al incrementar el valor subjetivo de las compañías en un momento donde los criterios ASG entran en la contabilidad.	Cumplimiento de los ODS, en particular el núm. 6. Incremento del valor patrimonial debido a los elementos tecnológicos que suponen mejoras objetivas en el desempeño de los criterios ASG (Ambiental, social y Gobernanza).

Tabla 8: Ventajas económicas proporcionadas por los desarrollos del proyecto **Emalcsa#120**

VENTAJAS SOCIALES		
IMPACTOS	DESCRIPCION	EVALUACION
Mejora de la calidad del agua potable suministrada al área	La monitorización continua de la calidad del agua garantiza que el suministro de agua potable cumpla con los estándares de	El control en tiempo real permite un nuevo modelo de gestión donde la integración



metropolitana de A Coruña	seguridad y salud. Esto contribuye directamente a la salud de la población al garantizar el acceso a agua de calidad.	de la información y la tecnología en los procesos mejorará el desempeño de la compañía. Esto permite una mejor comunicación con los ciudadanos dotando al servicio de mayor transparencia y fiabilidad.
Prevención de presencia de contaminantes y enfermedades	Los contaminantes emergentes son una realidad de nuestros días, como los microplásticos. La monitorización constante ayuda a identificar y prevenir la contaminación del agua, reduciendo el riesgo de enfermedades transmitidas por el agua. Esto tiene un impacto positivo en la salud pública al evitar brotes de enfermedades relacionadas con el agua.	Eliminación total de los riesgos derivados de episodios de contaminación con afección a los sistemas de agua urbana.
Conservación de los recursos hídricos	La eficiencia en el uso del agua, respaldada por sistemas de bombeo eficientes, contribuye a la conservación de los recursos hídricos. Esto asegura un suministro sostenible de agua para el área metropolitana de A Coruña y ayuda a mitigar los impactos de periodos con escasez de agua.	El ahorro y automatización eficiente de los procesos de distribución pueden suponer ahorros de hasta el 10% en términos de agua movilizada, tanto en términos de producción como de distribución.
Minimización de impactos ambientales	La implementación de tecnologías eficientes reduce el impacto ambiental negativo asociado con el uso de recursos hídricos y la gestión ineficiente. Esto beneficia a los ecosistemas naturales a mantener un equilibrio medioambiental.	La resiliencia del medio se incrementa con la implementación de las tecnologías propuestas dado que todas ellas redundan en anticipación y reducción de gasto.
Participación comunitaria y concienciación	La transparencia en la calidad del agua y la gestión eficiente de los sistemas de agua urbanos, fomentarán la participación comunitaria y la conciencia ambiental. La difusión de políticas de eficiencia del recurso hídrico hará que la comunidad pueda estar más involucrada en la conservación del agua y en prácticas que promuevan un uso responsable.	Mejora de la percepción de calidad en el ámbito social en un 20% (medible por encuestas de satisfacción). Mejora de la participación ciudadana en un 50%.
Desarrollo sostenible	La implementación de prácticas sostenibles en la gestión del agua contribuye al logro de los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) de la Agenda 2030, especialmente aquellos relacionados con el agua limpia y saneamiento.	Medición de mejoras en base a la aplicación del seguimiento de los ODS.

Tabla 9: Ventajas sociales proporcionadas por los desarrollos del proyecto **Emalcsa#120**

VENTAJAS INNOVADORAS O COMPETITIVAS		
IMPACTOS	DESCRIPCION	EVALUACION
Optimización operativa	La monitorización en tiempo real permite una gestión más eficiente de los recursos hídricos, al optimizar los procesos operativos de la planta. Esto se traduce en una mayor eficiencia en el uso de energía y una reducción de costes operativos.	MONITORIZACION mejora la anticipación y los aspectos energéticos mejoran sustancialmente no solo la parte de consumo, sino también las instalaciones que las soportan.

<p>Reducción de pérdidas de agua</p>	<p>La detección temprana de fugas y la gestión proactiva de las infraestructuras ayudan a reducir las pérdidas de agua en la red. Esto no solo conserva el recurso, sino que también mejora la sostenibilidad y reduce costes asociados.</p>	<p>El ahorro combinado de las acciones propuestas supone una reducción global de ANR de 2 puntos en el caso de EMALCSA.</p> <p>En empresas con ANR>20% (la mayoría), este ratio puede ser de más de 10 puntos.</p>
<p>Calidad del agua para el consumo</p>	<p>La monitorización continua de la calidad del agua garantiza que el producto final cumpla con los estándares más estrictos. Esto es crucial para asegurar la conformidad con las normativas y proporcionar un agua potable de alta calidad.</p>	<p>Eliminación de incidencias ciudadanas relacionadas tanto con la calidad del agua (cualitativo), como con el servicio (presión caudal y continuidad).</p>
<p>Innovación en la eficiencia energética</p>	<p>La implementación de sistemas de bombeo eficientes basados en hiperlaminarización implica tecnologías innovadoras que reducen el consumo energético. Esto no solo disminuye los costos operativos, sino que también posiciona a la planta como líder en sostenibilidad.</p> <p>También son significativos los ahorros por eficiencia en las conducciones vinculadas a un mejor perfil de rozamiento en los sistemas de conducción.</p>	<p>La mejora combinada es significativa en el actual escenario de costes energéticos y también en términos de huella de carbono, con ahorros que pueden llegar al 70%.</p>
<p>Integración de materiales reciclables e impulso de soluciones de economía circular para la fabricación de tuberías ecosostenibles</p>	<p>El proyecto abordará la introducción de polímeros reciclados reforzados con aditivos para complementar sus propiedades mecánicas para la obtención de las tuberías multimaterial, lo que permitirá la sustitución de tuberías plásticas fabricadas a partir de polímeros vírgenes derivados del petróleo.</p> <p>También el desarrollo de los sistemas está amparado en todos los procesos en el diseño de economía circular, lo que redundará en general en productos y servicios más sostenibles y amigables con el medio ambiente.</p>	<p>El análisis del ciclo de vida de los nuevos sistemas mejorará sustancialmente los productos comerciales, incrementando su valor residual en más de un 10%.</p>
<p>Gestión predictiva</p>	<p>La capacidad de prever y abordar problemas potenciales a través de sistemas de monitorización avanzada permite una gestión predictiva. Esto minimiza el tiempo de inactividad no planificado y optimiza la disponibilidad operativa de la planta.</p>	<p>La mejora global de la eficiencia a través del manejo de la información integrada aporta un beneficio global de un 5% en costes globales de mantenimiento y operación general.</p>
<p>Transparencia en la trazabilidad del proceso de gestión del agua</p>	<p>Las soluciones facilitarán los procesos de detección de comportamientos anómalos o problemas con el recurso hídrico de forma prematura, identificando de manera ágil las etapas críticas y los puntos a revisar en cada caso.</p>	<p>La percepción ciudadana de un servicio excelente es un aspecto prioritario, tanto para la imagen de los servicios públicos como para la necesaria implicación social en sus mejoras.</p>
<p>Desarrollo de modelos predictivos</p>	<p>La implementación de modelos predictivos basados en dotar de inteligencia a los procesos de gestión del agua puede proporcionar una ventaja competitiva al prever patrones de demanda, identificar</p>	<p>La tecnología de <i>forecasting</i> es una de las que más desarrollo tendrá en los próximos años, asociada al desarrollo de modelos digitales (<i>digital twins</i>), pero esto no es</p>

	oportunidades de mejora y optimizar la planificación a largo plazo.	posible sin disponer de datos fiables. Los sistemas propuestos son el primer nivel de estos desarrollos y también la confirmación de su utilidad en términos no cuantificables.
Impulsar la digitalización de procesos integrados de gestión del ciclo del agua	Favorecer la digitalización de los procesos internos de EMALCSA, acelera un cambio cultural y metodológico en los procesos y modelos de gestión. Con todo ello, la gestión de las dinámicas internas y de las propias infraestructuras se optimiza.	La aportación de las novedades en términos de mejora y aceleración de los procesos de digitalización de la compañía, y del sector en general, es muy importante.
Mejorar la imagen de marca	Convertir al sistema de agua urbana, gestionado por EMALCSA en una referencia como modelo de inteligente y sostenible del agua, contribuye a la imagen de la empresa como entidad líder. Esto puede atraer inversiones y colaboraciones estratégicas y mejorar la percepción de la planta por parte de <i>stakeholders</i> .	La valoración de activos de la compañía se verá incrementada en un 10%.

Tabla 10: Ventajas innovadoras o competitivas proporcionadas por los desarrollos del proyecto **Emalcsa#120**

6.2 Valoración económica de los beneficios y ahorros sociales obtenidos, sean beneficios nuevos o mejoras por ahorros producidos directamente en la explotación del servicio público afectado, a causa de la implementación del proyecto. Análisis técnico-económico por aplicación de criterios estándar para la selección de inversiones: VAN, TIR, plazo de recuperación de la inversión, etc. Incluir un ACB a quince años con tasa de descuento del 4% lineal.

La mayor parte de beneficios que aportará **Emalcsa#120** serán cualitativos y de aprovechamiento para la ciudadanía de A Coruña y su área metropolitana. En cualquier caso, en base al análisis de los **impactos económicos cuantitativos**, se ha desarrollado el **Análisis Coste Beneficio (ACB) de la propuesta Emalcsa#120** para Emalcsa. La fundamentación de los datos se basa en las siguientes premisas:

- Para la evaluación de los **ahorros coste-año**, dada la naturaleza transversal y multidisciplinar de los beneficios expuestos en el análisis de resultados socioeconómicos, se plantean **4 indicadores** que integran los numerosos beneficios expuestos en función de los desarrollos planteados:

indicador	Definición	indicador	coste anual estimado	ahorro coste/año (*)
indicador 1	eficiencia energética sistemas de bombeo, potabilización y distribución	14%	5.000.000,00 €	700.000,00 €
indicador 2	mejora rendimiento procesos de mantenimiento en redes y plantas de pota	9%	8.000.000,00 €	720.000,00 €
indicador 3	mejora en operaciones de gestión de sistemas de monitorización	25%	200.000,00 €	50.000,00 €
indicador 4	costes de reactivos en potabilización	5%	1.000.000,00 €	50.000,00 €
				1.520.000,00 €

Tabla 11: Indicadores de impacto definidos para el Análisis Coste-Beneficio del proyecto **Emalcsa#120**

El indicador porcentual expone los máximos esperados en función del despliegue planteado en el proyecto. Este coste beneficio se aplica de forma creciente a partir del año 5 del proyecto, una vez las tecnologías hayan sido testadas y alcanzado una capacidad de producción industrial que garanticen su despliegue. Así, se plantea aplicar a partir del año 5, de forma progresiva el del ahorro previsto, siendo a partir del año 10 una situación estabilizada en los últimos 5 años de evaluación de esta iniciativa.

- En cuanto a los **costes de inversión**, se plantean de manera progresiva en los 4 años previstos en la convocatoria de acuerdo con el siguiente cuadro:

	PRESUPUESTO
COSTE ELEGIBLE TOTAL FASE 1	5.359.375,20 €
1º AÑO (10%)	535.937,52 €
2º AÑO (20%)	1.071.875,04 €
3º AÑO (30%)	1.607.812,56 €
4º AÑO (40%)	2.143.750,08 €

Tabla 12: Costes de Inversión progresivos durante la ejecución del proyecto **Emalcsa#120**

- Los **gastos de personal** se plantean igualmente teniendo en cuenta tres fases con el siguiente esquema:

fase proyecto - AÑO 1 a 4									
Rol	Descripción del rol	Nueva contratación	Titulación	Nombre	Primer apellido	Segundo apellido	Sexo	Unidad de trabajo anual	coste anual
tecnico	RESPONSABLE PROYECTO	No	INGENIERO AGRONOMO	RICARDO	VAZQUEZ	PEREZ	M	0,5	35.000,00 €
tecnico	ASISTENCIA DESARROLLO SUBRETO 1.1	No	INGENIERO DE CAMINOS, CANALES Y PUERTOS	ADRIAN	LOPEZ	OROL	M	0,1	6.500,00 €
tecnico	ASISTENCIA DESARROLLO SUBRETO 1.2	No	INGENIERO DE CAMINOS, CANALES Y PUERTOS	ADRIAN	LOPEZ	OROL	M	0,1	6.500,00 €
tecnico	ASISTENCIA DESARROLLO SUBRETO 1.2	No	INGENIERO TECNICO INDUSTRIAL	ROMAN	MACEIRAS	PEDREIRA	M	0,1	6.500,00 €
tecnico	ASISTENCIA DESARROLLO SUBRETO 1.2	No	LICENCIADA EN FARMACIA	TERESA	SILVOSA	PEREZ	F	0,1	6.500,00 €
tecnico	ASISTENCIA DESARROLLO SUBRETO 2.1	No	INGENIERO TECNICO INDUSTRIAL	OSCAR	PINTOS	CASAL	M	0,1	4.500,00 €
tecnico	ASISTENCIA DESARROLLO SUBRETO 2.1	No	INGENIERO TECNICO INDUSTRIAL	ROMAN	MACEIRAS	PEDREIRA	M	0,1	6.500,00 €
tecnico	ASISTENCIA DESARROLLO TIC	Sí	INGENIERO INFORMÁTICO					0,5	22.500,00 €
TOTAL									94.500,00 €
fase despliegue - AÑO 5 a 10									
Rol	Descripción del rol	Nueva contratación	Titulación	Nombre	Primer apellido	Segundo apellido	Sexo	Unidad de trabajo anual	coste anual
tecnico	RESPONSABLE PROYECTO	No	INGENIERO AGRONOMO	RICARDO	VAZQUEZ	PEREZ	M	0,2	14.000,00 €
tecnico	ASISTENCIA DESARROLLO SUBRETO 1.1	No	INGENIERO DE CAMINOS, CANALES Y PUERTOS	ADRIAN	LOPEZ	OROL	M	0,1	6.500,00 €
tecnico	ASISTENCIA DESARROLLO SUBRETO 1.2	No	INGENIERO DE CAMINOS, CANALES Y PUERTOS	ADRIAN	LOPEZ	OROL	M	0,1	6.500,00 €
tecnico	ASISTENCIA DESARROLLO SUBRETO 1.2	No	INGENIERO TECNICO INDUSTRIAL	ROMAN	MACEIRAS	PEDREIRA	M	0,1	6.500,00 €
tecnico	ASISTENCIA DESARROLLO SUBRETO 1.2	No	LICENCIADA EN FARMACIA	TERESA	SILVOSA	PEREZ	F	0,15	9.750,00 €
tecnico	ASISTENCIA DESARROLLO SUBRETO 2.1	No	INGENIERO TECNICO INDUSTRIAL	OSCAR	PINTOS	CASAL	M	0,15	6.750,00 €
tecnico	ASISTENCIA DESARROLLO SUBRETO 2.1	No	INGENIERO TECNICO INDUSTRIAL	ROMAN	MACEIRAS	PEDREIRA	M	0,15	9.750,00 €
tecnico	ASISTENCIA DESARROLLO TIC	Sí	INGENIERO INFORMÁTICO					0,4	18.000,00 €
TOTAL									77.750,00 €
fase explotación AÑO 11 a 15									
Rol	Descripción del rol	Nueva contratación	Titulación	Nombre	Primer apellido	Segundo apellido	Sexo	Unidad de trabajo anual	coste anual
tecnico	RESPONSABLE PROYECTO	No	INGENIERO AGRONOMO	RICARDO	VAZQUEZ	PEREZ	M	0,15	10.500,00 €
tecnico	ASISTENCIA DESARROLLO SUBRETO 1.1	No	INGENIERO DE CAMINOS, CANALES Y PUERTOS	ADRIAN	LOPEZ	OROL	M	0,05	3.250,00 €
tecnico	ASISTENCIA DESARROLLO SUBRETO 1.2	No	LICENCIADA EN FARMACIA	TERESA	SILVOSA	PEREZ	F	0,05	3.250,00 €
tecnico	ASISTENCIA DESARROLLO SUBRETO 2.1	No	INGENIERO TECNICO INDUSTRIAL	OSCAR	PINTOS	CASAL	M	0,1	4.500,00 €
tecnico	ASISTENCIA DESARROLLO TIC	No	INGENIERO INFORMÁTICO					0,25	11.250,00 €
TOTAL									32.750,00 €

Tabla 13: Listado de gastos de personal previstos durante la ejecución y despliegue temporal de los desarrollos **Emalcsa#120**

De esta manera se aplica a cada fase de desarrollo del proyecto los esfuerzos que en términos de personal propio tendrá que desarrollar EMALCSA, tanto en la fase de CPI como en los despliegues posteriores hasta el año 15.

- Por último, en cuanto a la cuantificación de los **gastos internos previstos**, se computan partidas importantes para cubrir los convenios de desarrollo de la CPI con los Centros Tecnológicos, así como el desarrollo de infraestructuras de hardware y software y la adecuación de espacios y pequeñas compras vinculadas tanto al desarrollo como a su despliegue.

En las siguientes figuras se muestra la comparativa en los valores del VAN y el TIR sin y con financiación de la línea FID, respectivamente, con el objetivo de ilustrar la diferencia en el grado de rentabilidad sobre los beneficios del proyecto que supone la posibilidad de disponer de esta herramienta de financiación.

Estas estimaciones se irán ajustando a medida que avanza las actividades de desarrollo de **Emalcsa#120**, se profundiza en las capacidades y beneficios que son capaces de aportar las diferentes soluciones tecnológicas y se ajustan los datos de ahorros y gastos en función de la evolución socioeconómica de las anualidades siguientes al desarrollo del proyecto.

		CALCULO DEL VALOR ACTUAL NETO (VAN) AL 2019														
AÑO = i, n=15 (n = nº años generación beneficios)		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
ANALISIS COSTE- BENEFICIO		ahorro-coste/año	ahorro-coste/año	ahorro-coste/año	ahorro-coste/año	ahorro-coste/año	ahorro-coste/año	ahorro-coste/año	ahorro-coste/año	ahorro-coste/año	ahorro-coste/año	ahorro-coste/año	ahorro-coste/año	ahorro-coste/año	ahorro-coste/año	ahorro-coste/año
	Ingresos por royalties (según apartado 9.6)	- €	- €	- €	- €	- €	86.000,00 €	112.000,00 €	138.000,00 €	164.000,00 €	164.000,00 €	- €	- €	- €	- €	- €
	indicador 1	- €	- €	- €	- €	35.000,00 €	70.000,00 €	105.000,00 €	350.000,00 €	525.000,00 €	700.000,00 €	700.000,00 €	700.000,00 €	700.000,00 €	700.000,00 €	700.000,00 €
	indicador 2	- €	- €	- €	- €	36.000,00 €	72.000,00 €	108.000,00 €	360.000,00 €	540.000,00 €	720.000,00 €	720.000,00 €	720.000,00 €	720.000,00 €	720.000,00 €	720.000,00 €
	indicador 3	- €	- €	- €	- €	2.500,00 €	5.000,00 €	7.500,00 €	25.000,00 €	37.500,00 €	50.000,00 €	50.000,00 €	50.000,00 €	50.000,00 €	50.000,00 €	50.000,00 €
	indicador 4	- €	- €	- €	- €	2.500,00 €	5.000,00 €	7.500,00 €	25.000,00 €	37.500,00 €	50.000,00 €	50.000,00 €	50.000,00 €	50.000,00 €	50.000,00 €	50.000,00 €
	B= SUMA (Ahorros , conforme hoja "IMPACTO SOCIO ECONOMICO")	- €	- €	- €	- €	76.000,00 €	238.000,00 €	340.000,00 €	898.000,00 €	1.304.000,00 €	1.684.000,00 €	1.520.000,00 €	1.520.000,00 €	1.520.000,00 €	1.520.000,00 €	1.520.000,00 €
	COSTE TOTAL FASE I= C _i	535.937,52 €	1.071.875,04 €	1.607.812,56 €	2.143.750,08 €	- €	- €	- €	- €	- €	- €	- €	- €	- €	- €	- €
	COSTES PERSONAL I+D+I (Costes de personal propio relacionado con el proyecto no imputados al mismo)=D _i	94.500,00 €	94.500,00 €	94.500,00 €	94.500,00 €	77.750,00 €	77.750,00 €	77.750,00 €	77.750,00 €	77.750,00 €	77.750,00 €	32.750,00 €	53.000,00 €	53.000,00 €	53.000,00 €	53.000,00 €
	GASTOS INTERNOS I+D+I (otros gastos e I+D+I no imputados al proyecto generados o relacionados con el mismo)=E _i	65.000,00 €	65.000,00 €	65.000,00 €	65.000,00 €	65.000,00 €	20.000,00 €	20.000,00 €	20.000,00 €	20.000,00 €	20.000,00 €	20.000,00 €	20.000,00 €	20.000,00 €	20.000,00 €	20.000,00 €
	COSTE TOTAL DESPLIEGUE FASE II=Fi	- €	- €	- €	- €	- €	390.000,00 €	540.000,00 €	1.090.000,00 €	1.290.000,00 €	1.290.000,00 €	- €	- €	- €	- €	- €
	VALOR NETO/AÑO = V _i =B _i -C _i -D _i -E _i -F _i	695.437,52 €	1.231.375,04 €	1.767.312,56 €	2.303.250,08 €	66.750,00 €	249.750,00 €	297.750,00 €	289.750,00 €	83.750,00 €	296.250,00 €	1.467.250,00 €	1.447.000,00 €	1.447.000,00 €	1.447.000,00 €	1.447.000,00 €
	TIPO ACTUALIZACIÓN ANUAL = r _i	0%	4%	4%	4%	4%	4%	4%	4%	4%	4%	4%	4%	4%	4%	4%
	(1+r _i) ^j	1,00	1,04	1,08	1,12	1,17	1,22	1,27	1,32	1,37	1,42	1,48	1,54	1,60	1,67	1,73
	VALOR ACTUAL A 2017/AÑO = VA _i = V _i / (1+r _i) ^j	695.437,52 €	1.184.014,46 €	1.633.979,81 €	2.047.580,93 €	57.058,18 €	205.276,29 €	235.316,15 €	220.186,19 €	61.195,30 €	208.141,32 €	991.221,53 €	939.943,61 €	903.791,93 €	869.030,70 €	835.606,44 €
	VAN = SUMA(VA _i) =	1.592.309,31 €														
		CALCULO DE LA TASA INTERNA DE RENDIMIENTO (TIR)														
TIR= r _i , CUANDO SUMA (VA) _i = 0		0,84%														

Tabla 14: Análisis Coste-Beneficio de Emalcsa#120 sin financiación

		CALCULO DEL VALOR ACTUAL NETO (VAN) AL 2019														
AÑO = i, n=15 (n = nº años generación beneficios)		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
ANALISIS COSTE- BENEFICIO		ahorro-coste/año	ahorro-coste/año	ahorro-coste/año	ahorro-coste/año	ahorro-coste/año	ahorro-coste/año	ahorro-coste/año	ahorro-coste/año	ahorro-coste/año	ahorro-coste/año	ahorro-coste/año	ahorro-coste/año	ahorro-coste/año	ahorro-coste/año	ahorro-coste/año
	Ingresos por royalties (según apartado 9.6)	- €	- €	- €	- €	- €	86.000,00 €	112.000,00 €	138.000,00 €	164.000,00 €	164.000,00 €	- €	- €	- €	- €	- €
	indicador 1	- €	- €	- €	- €	35.000,00 €	70.000,00 €	105.000,00 €	350.000,00 €	525.000,00 €	700.000,00 €	700.000,00 €	700.000,00 €	700.000,00 €	700.000,00 €	700.000,00 €
	indicador 2	- €	- €	- €	- €	36.000,00 €	72.000,00 €	108.000,00 €	360.000,00 €	540.000,00 €	720.000,00 €	720.000,00 €	720.000,00 €	720.000,00 €	720.000,00 €	720.000,00 €
	indicador 3	- €	- €	- €	- €	2.500,00 €	5.000,00 €	7.500,00 €	25.000,00 €	37.500,00 €	50.000,00 €	50.000,00 €	50.000,00 €	50.000,00 €	50.000,00 €	50.000,00 €
	indicador 4	- €	- €	- €	- €	2.500,00 €	5.000,00 €	7.500,00 €	25.000,00 €	37.500,00 €	50.000,00 €	50.000,00 €	50.000,00 €	50.000,00 €	50.000,00 €	50.000,00 €
	B= SUMA (Ahorros , conforme hoja "IMPACTO SOCIO ECONOMICO")	- €	- €	- €	- €	76.000,00 €	238.000,00 €	340.000,00 €	898.000,00 €	1.304.000,00 €	1.684.000,00 €	1.520.000,00 €	1.520.000,00 €	1.520.000,00 €	1.520.000,00 €	1.520.000,00 €
	COSTE TOTAL FASE I= C _i	214.375,01 €	428.750,02 €	643.125,02 €	857.500,03 €	- €	- €	- €	- €	- €	- €	- €	- €	- €	- €	- €
	COSTES PERSONAL I+D+I (Costes de personal propio relacionado con el proyecto no imputados al mismo)=D _i	94.500,00 €	94.500,00 €	94.500,00 €	94.500,00 €	77.750,00 €	77.750,00 €	77.750,00 €	77.750,00 €	77.750,00 €	77.750,00 €	32.750,00 €	53.000,00 €	53.000,00 €	53.000,00 €	53.000,00 €
	GASTOS INTERNOS I+D+I (otros gastos e I+D+I no imputados al proyecto generados o relacionados con el mismo)=E _i	65.000,00 €	65.000,00 €	65.000,00 €	65.000,00 €	65.000,00 €	20.000,00 €	20.000,00 €	20.000,00 €	20.000,00 €	20.000,00 €	20.000,00 €	20.000,00 €	20.000,00 €	20.000,00 €	20.000,00 €
	COSTE TOTAL DESPLIEGUE FASE II=Fi	- €	- €	- €	- €	- €	390.000,00 €	540.000,00 €	1.090.000,00 €	1.290.000,00 €	1.290.000,00 €	- €	- €	- €	- €	- €
	VALOR NETO/AÑO = V _i =B _i -C _i -D _i -E _i -F _i	373.875,01 €	588.250,02 €	802.625,02 €	1.017.000,05 €	66.750,00 €	249.750,00 €	297.750,00 €	289.750,00 €	83.750,00 €	296.250,00 €	1.467.250,00 €	1.447.000,00 €	1.447.000,00 €	1.447.000,00 €	1.447.000,00 €
	TIPO ACTUALIZACIÓN ANUAL = r _i	0%	4%	4%	4%	4%	4%	4%	4%	4%	4%	4%	4%	4%	4%	4%
	(1+r _i) ^j	1,00	1,04	1,08	1,12	1,17	1,22	1,27	1,32	1,37	1,42	1,48	1,54	1,60	1,67	1,73
	VALOR ACTUAL A 2017/AÑO = VA _i = V _i / (1+r _i) ^j	373.875,01 €	565.625,02 €	742.071,95 €	904.109,33 €	57.058,18 €	205.276,29 €	235.316,15 €	220.186,19 €	61.195,30 €	208.141,32 €	991.221,53 €	939.943,61 €	903.791,93 €	869.030,70 €	835.606,44 €
	VAN = SUMA(VA _i) =	1.383.022,12 €														
		CALCULO DE LA TASA INTERNA DE RENDIMIENTO (TIR)														
TIR= r _i , CUANDO SUMA (VA) _i = 0		8,05%														

Tabla 15: Análisis Coste-Beneficio de Emalcsa#120 con financiación de la Línea FID



6.3 Descripción y valoración de las externalidades del proyecto, como beneficios y/o ahorros obtenidos de forma indirecta en otros ámbitos de la sociedad.

El cumplimiento de los objetivos que se pretenden alcanzar en este proyecto puede ser transferible a otros ámbitos de la gestión del agua, a otros sectores industriales y a otros ámbitos de la sociedad, para la consecución de ahorros y beneficios como:

- Mejora de la **sostenibilidad ambiental**, ya que la consecución de soluciones innovadoras que maximicen la gestión eficiente del agua contribuye también a la conservación de los ecosistemas naturales y la biodiversidad.
- La **reducción de enfermedades** relacionadas con el agua, al mejorar la calidad de esta y controlar/reducir contaminantes, disminuyendo el riesgo de enfermedades transmitidas por el agua, beneficiando la salud pública a nivel general y reduciendo los costes asociados a la atención médica de este tipo de enfermedades y la presión de los sistemas de salud.
- El impulso de la **concienciación ambiental**, gracias a las actividades de difusión de resultados que se organizarán con el proyecto, que servirán como herramienta educativa que promueva prácticas sostenibles entre la población.
- Disponer de sistemas eficientes de gestión del agua que ayuden a prevenir eventos inesperados o **mejorar la resiliencia de las comunidades** ante desastres naturales.
- Reducir el desperdicio de agua y optimizar los sistemas de bombeo y distribución, puede conducir a un ahorro significativo de energía, beneficiando la eficiencia energética y **disminuyendo la huella de carbono**.
- **Impulsar la innovación y el desarrollo tecnológico** en áreas relacionadas a la gestión del agua, generando oportunidades económicas y de empleo en el área metropolitana de A Coruña.
- **Mejorar la calidad de vida** de la comunidad local alimentada por las infraestructuras de EMALCSA, al aportarles un suministro de agua más seguro y sostenible, proporcionando un entorno más saludable y próspero.

Estos beneficios indirectos subrayan la importancia de abordar la gestión integrada del sistema de agua urbana desde una perspectiva holística, reconociendo sus múltiples impactos en la sociedad y el medio ambiente asociado, tal y como desde el origen de esta iniciativa nos mostró el marco conceptual DUSA en el que se soporta.



7. EJECUCIÓN DEL PROYECTO Y CRONOGRAMA

7.1 Plan de trabajo. Líneas de actuación

En el **plan de trabajo** del proyecto **Emalcsa#120** se prevén las siguientes actividades:

Nº de actividad	Nombre Actividad	Duración
1	Consultas preliminares, diálogos técnicos, definición de pliegos CPI y consentimientos legales	4 meses
2	Firma del convenio	2 meses
3	Oficina Técnica CPI. Elaboración de pliegos y tramitación	4 meses
4	Publicación de pliegos para proyectos CPI	2 meses
5	Selección y adjudicación	2 meses
6	Desarrollo de los proyectos CPI	36 meses
7	Evaluación de resultados e impacto socioeconómico	1 mes
8	Elaboración de memoria de sostenibilidad y plan de integración en servicios públicos actuales	1 mes

Tabla 16: Plan de trabajo del proyecto **Emalcsa#120**

7.2 Estructura propia. Recursos, personal y departamentos adscritos al proyecto con identificación de roles y trabajos

Desde el punto de vista de la ejecución de **Emalcsa#120**, se estima que el proyecto involucrará durante toda la duración del proyecto (estimada en 30 meses) a un equipo altamente cualificado de entre 6 a 12 trabajadores, con perfiles que variarán en función de la fase del proyecto y las tareas específicas que resulten necesarias en cada fase de este:

- Personal técnico, con perfiles enfocados a la prescripción y verificación de los desarrollos, así como el acompañamiento y validación de los resultados
- Personal de oficina, para llevar a cabo las actividades de control administrativo, contratación, suministros y justificación de las actividades dentro del programa FID...
- Personal de I+D, con conocimientos en las materias que coordinarán las acciones, tanto a nivel interno con los licitadores como con los centros tecnológicos. También actuarán desde el principio con los posibles desplegadores de las tecnologías, mediante una labor de comunicación y divulgación continua
- Otros, como personal auxiliar de laboratorios, limpieza y logística, muy necesario para cumplir los exigentes calendarios planteados.

7.3 Para cada línea de actuación: Descripción detallada de las tareas a realizar para la obtención del nuevo o mejorado producto, proceso o servicio, con énfasis en las novedades tecnológicas e innovadoras.

En el plan de trabajo de **Emalcsa#120** se prevén las siguientes actividades:

ACTIVIDAD 1: Consultas preliminares, diálogos técnicos, definición de pliegos CPI y consentimientos legales (4 meses).

- **Actividad 1.1:** Consultas preliminares, diálogos técnicos y definición de especificaciones técnicas de pliegos CPI (3 meses).

Web del proyecto: Web específicamente dedicada al proyecto a través de la cual se comunique todas las acciones de sensibilización, dinamización y concienciación, y se centralicen las interacciones con las empresas potencialmente licitadoras.

Eventos de Consultas Preliminares del Mercado: Acción de lanzamiento, consistente en la presentación del proyecto, retos a abordar, empresas potencialmente licitadoras y explicación del procedimiento de CPI. Entrevistas con empresas participantes en la consulta. Elaboración de conclusiones.

Evento de presentación de pliegos de condiciones: Acción de presentación de los pliegos de condiciones en materias vinculadas a la CPI explicando procedimiento elegido (CPP, CPTI o Asociación para la Innovación), así como los contenidos de los trabajos a realizar y las vías de participación.

- **Actividad 1.2:** Consentimientos legales y estudio de adecuación de las tecnologías presentadas al caso real (1 mes).

ACTIVIDAD 2: FIRMA DEL CONVENIO (2 meses)

ACTIVIDAD 3: Oficina Técnica CPI. Elaboración de pliegos y tramitación (4 meses), que integra actividades que se pueden desarrollar de forma paralela:

- **Actividad 3.1:** Definición y creación de la Oficina Técnica (1,5 meses).
- **Actividad 3.2:** Redacción de Pliegos Administrativos (3 meses).
- **Actividad 3.3:** Redacción de Pliegos Técnicos (3 meses).
- **Actividad 3.4:** Tramitación de Pliegos (1 mes).

ACTIVIDAD 4: Publicación de pliegos para proyectos CPI (2 meses).

ACTIVIDAD 5: Selección y adjudicación (2 meses).

ACTIVIDAD 6: Desarrollo de los proyectos CPI (36 meses)



Se establecen 5 fases que se irán ejecutando una detrás de otra, pero con cierto solape entre ellas:

- **Fase 1 proyectos CPI – Análisis y Diagnóstico (2 meses)**
- **Fase 2 proyectos CPI – Diseño y despliegue de las distintas soluciones en los tres subretos (4 meses)**
- **Fase 3 proyectos CPI – Desarrollo de prototipos (18 meses)**
- **Fase 4 proyectos CPI – Validación de los prototipos en laboratorio (8 meses)**
- **Fase 5 proyectos CPI – Validación final en entornos reales (12 meses)**

A continuación, se procede a profundizar en qué se realizará en cada una de las fases establecidas:

Fase 1: Fase de Análisis y Diagnóstico. En esta fase, básicamente se validarán las propuestas de los licitadores y se hará un análisis de los riesgos y oportunidades que se presentan en la propuesta que ha sido elegido en la licitación. Se valorarán las posibles sinergias entre los tres subretos planteados, dada la visión integrada y el grado de aplicación de las distintas soluciones, no solo de forma funcional, sino también estratégica, para la mejora de las prestaciones en los servicios de EMALCSA.

Fase 2: Diseño y despliegue de las distintas soluciones en los tres subretos. En esta fase se decidirán los aspectos técnicos del desarrollo y la logística para su desempeño de acuerdo con los CT colaboradores, así como con las conclusiones de la Fase 1. Se concertarán los acuerdos oportunos para el desarrollo de las distintas tecnologías y se validarán los cronogramas de trabajo. También se definirán los hitos mas importantes y la sistemática de verificación.

Fase 3: Desarrollo de prototipos. Durante este período los adjudicatarios desarrollarán su propuesta, bajo la supervisión y seguimiento de los técnicos de EMALCSA y los colaboradores científicos. Esta fase también incluye un exhaustivo análisis de los costes, así como la toma de decisiones sobre el alcance final de los prototipos, los escenarios de demostración y sus funcionalidades, en base al avance en el desarrollo y despliegue de los aspectos tecnológicos en cada subreto. En esta fase se hará también el seguimiento de los hitos planteados en la Fase 2, acomodando su desarrollo a las problemáticas y nuevas oportunidades que vayan surgiendo en esta fase para los objetivos del proyecto **Emalcsa#120**.

Fase 4: Validación de los prototipos en laboratorio. Una vez aprobados y desarrollados se realizará la verificación del alcance, funcionalidad, seguridad y capacidad de las soluciones en ambientes controlados, con el fin de garantizar el cumplimiento de los objetivos en cada subreto y corregir posibles funcionamientos anómalos o las problemáticas derivadas de las fases de desarrollo. En esta fase será fundamental el seguimiento por parte de los

técnicos de EMALCSA, con el objetivo de definir claramente las expectativas reales de funcionamiento de los prototipos.

Fase 5: Validación final en entornos reales. En esta última fase, los prototipos se expondrán a condiciones reales, tanto de operación como de desarrollo en campo, evaluando no solo la parte tecnológica, sino los aspectos relacionados con los resultados socioeconómicos planteados en la memoria del proyecto, en línea con la cuantificación de los beneficios planteados y su viabilidad. En esta fase la operación debe exponer a los distintos elementos a las condiciones y actividades de máximo nivel de exigencia y plantear la reingeniería final para su validación.

ACTIVIDAD 7: Evaluación de resultados e impacto socioeconómico (1 mes). Con los resultados de los despliegues en casos reales se analizarán los resultados y el plan de contingencia en relación con el nivel de consecución de los objetivos, así como la exposición de los riesgos y amenazas de cara a la fase de despliegue, tanto interno como externo.

ACTIVIDAD 8: Elaboración de memoria de sostenibilidad y plan de integración en servicios públicos actuales (1 mes).

7.4 Nuevas contrataciones

No se dispone de información suficiente en el momento actual para definir la necesidad de nuevas contrataciones por parte de EMALCSA en el contexto del proyecto **Emalcsa#120**, aunque dados los recursos de los que actualmente se disponen, en un principio no sería necesario realizar nuevas contrataciones para llevar a cabo el proyecto. Sin embargo, en caso de que fuese necesario, los perfiles que previsiblemente serían más necesarios serían los siguientes:

- Ingeniero Químico, Control de proceso y seguimiento e implementación resultados de monitorización en procesos.
- Químico/Farmacéutico, para mejora general de los sistemas de análisis y validación de datos de monitorización.
- Ingeniero informático/telecomunicaciones, dado el gran despliegue tecnológico asociado al proyecto y la necesidad de su integración dentro de los sistemas existentes.
- Ingeniero de Informática industrial y robotización para la implementación de nuevas tecnologías en el contexto operativo de los sistemas existentes de manera óptima.
- Formación Profesional Superior, en especialidades de Química Analítica, mantenimiento electromecánico y electrotecnia, para la mejora del apoyo a la implementación de las nuevas tecnologías en los distintos ámbitos de producción de la empresa.

No obstante, EMALCSA se compromete a garantizar que, si se pone en marcha un proceso de contratación de personal, éste esté completamente alineado con el Plan de Igualdad de Género. En este plan se promueve un entorno laboral inclusivo y equitativo, donde todas las personas tengan igualdad de oportunidades sin importar su género. En todas las etapas del proceso de selección, desde la publicación de ofertas de trabajo hasta la toma de decisiones finales, se aplicará rigurosamente las políticas y prácticas diseñadas para promover la igualdad de género y eliminar cualquier tipo de discriminación.

7.5 Empleo inducido por proyecto de CPI

Un proyecto de Compra Pública Innovadora de esta magnitud tendrá un impacto positivo en la generación de empleo, no solo en términos de tecnología, sino también en áreas relacionadas con la operación, el mantenimiento, el tratamiento de datos o el control de calidad de aguas. Este impacto además lo tendrá a nivel local, dada la apuesta de una compañía tan señalada como EMALCSA en el ámbito del área metropolitana de A Coruña, como a nivel más regional o incluso nacional por la gran influencia que este proyecto tiene en el sector en general.

Desde el punto de vista complementario al proyecto y pensando en el aprovechamiento de los resultados obtenidos, los perfiles más adaptados a los requerimientos de **empleo inducido por Emalcsa#120** serían:

- Empleos relacionados con los ámbitos de la ingeniería y la tecnología, como ingenieros especializados en tratamiento de agua, automatización de procesos y sistemas de gestión de redes. De la misma forma, y pensando en los desarrollos que aborda el proyecto, serán necesarios perfiles de ingenieros en los ámbitos tecnológicos de la monitorización en tiempo real, los sensores avanzados, el análisis y tratamiento de datos o los materiales avanzados, todo ello muy apalancado en la aplicación de tecnologías como la IA, de especial trascendencia e importancia en nuestra ciudad.
- Personal de operación y mantenimiento de los sistemas de última generación implementados en las instalaciones de EMALCSA, mantenimiento de equipos de tratamiento de aguas o sistemas automatizados.
- Perfiles profesionales de investigación y desarrollo que trabajen en la mejora continua de las tecnologías aplicadas a los sistemas de agua urbana desde una perspectiva integral, lo que le confiere una especial significación y oportunidad a los grupos en las universidades gallegas.

- Personal que desarrolle servicios de apoyo al sector, como servicios de consultoría en gestión del agua, auditorías o evaluaciones de calidad.
- Personal de la industria local y auxiliar interesada en las contrataciones auxiliares de EMALCSA.
- Personal relacionado con proyectos futuros o paralelos derivados de la experiencia adquirida en la CPI, como implementación de tecnología en otras plantas o expansión de los servicios ofrecidos por EMALCSA.
- Empleo relacionado con el sector de las tecnologías ambientales, la conservación, la ecología y la protección de la biodiversidad.

Así, el posible impacto en el empleo de **Emalcsa#120** no solo se limita a la fase de implementación del proyecto, sino que se extiende a la operación continua, el mantenimiento y la evolución tecnológica, generando oportunidades a largo plazo para la comunidad local y contribuyendo al desarrollo sostenible en el ámbito laboral de personal de alta cualificación.

7.6 Cronograma

A continuación, se muestra el cronograma estimado para la iniciativa **Emalcsa#120**, con fecha de inicio estimada el 18/09/24. Se muestra la previsión temporal desde la fecha de solicitud, pero es importante destacar en este punto que las tareas de la CPM o diálogos técnicos de la Actividad 1, ya están siendo ejecutados desde varios trimestres previos:

emalcsa	CRONOGRAMA PROYECTO EMALCSA#120																emalcsa	
AÑO	2024		2025				2026				2027				2028			
TRIMESTRE	3T	4T	1T	2T	3T	4T	1T	2T	3T	4T	1T	2T	3T	4T	1T	2T	3T	4T
1. Consultas preliminares, diálogos técnicos, definición de pliegos CPI...																		
2. Firma del Convenio MEIC EMALCSA																		
3. Oficina Técnica CPI. Elaboración de pliegos y tramitación																		
4. Publicación de pliegos para proyectos CPI																		
5. Selección y adjudicación																		
6. Desarrollo de los proyectos CPI																		
Fase 1: Análisis y Diagnóstico																		
Fase 2: Diseño y despliegue de las distintas soluciones en los tres subretos																		
Fase 3: Desarrollo de prototipos																		
Fase 4: Validación de los prototipos en laboratorio																		
Fase 5: Validación final en entornos reales																		
7. Evaluación de resultados e impacto socioeconómico																		
8. Elaboración de memoria de sostenibilidad y plan de integración																		

Figura 29: Cronograma del proyecto **Emalcsa#120**



7.7 Plan de comunicación y publicidad

La consecución de los ambiciosos objetivos planteados para el proyecto **Emalcsa#120**, supondrá un impacto tecnológico, medioambiental, social y económico en el ámbito de los procesos de gestión de los sistemas de agua urbana ofrecidos por EMALCSA.

Sin embargo, para potenciar el impacto, se desarrollará un **Plan de comunicación y publicidad** que permita:

- **Informar** adecuadamente sobre el proyecto y sus avances al conjunto de personal implicado, a través de un plan de actuaciones de información calendarizado y segmentado por públicos objetivos (eventos, ponencias temáticas, etc.).
- Impulsar actuaciones de **difusión** a nivel autonómico, nacional o europeo, de forma que se informe de la iniciativa, de los resultados que se van obteniendo y de las posibilidades de las tecnologías desarrolladas en el proyecto para otros ámbitos de actuación.
- En consecuencia, durante las primeras semanas de ejecución del proyecto **Emalcsa#120** será establecerá un **manual de estilo** adecuado y compatible con los términos exigidos por los organismos financiadores, y que tendrá en cuenta los requerimientos de comunicación establecidos por el marco de la **Línea de Fomento de Innovación desde la Demanda (FID) para la Compra Pública de Innovación** (características técnicas, incluyendo los objetivos de buenas prácticas) así como los planteamientos de imagen de carácter creativo.
- En el Manual de Estilo se especificarán las características de los documentos relativas al formato y de naturaleza más creativa.
 - Tipografías para utilizar en cada uno de los estilos.
 - Estilos de títulos y párrafos (tamaño de la tipografía, interlineado, separación entre párrafos, sangrías, etc.)
 - Gama de colores a emplear y aplicaciones de uso de estos de (estilos de texto, gráficos, esquemas, tablas, etc.)
 - Diseño de la página (márgenes, encabezados, etc.).

Finalmente, se considera la incorporación en el manual de estilo un apartado con una serie de recomendaciones para la redacción de textos incluyendo recomendaciones sobre el uso de lenguaje no sexista, la claridad y estilo en la redacción, etc.

Dentro de la estrategia de comunicación de **Emalcsa#120** se diferenciará entre comunicación interna y externa:





Figura 30: Esquema de estrategia de comunicación del proyecto **Emalcsa#120**

Los mensajes que comunicar se dividirán en:

- Información disponible públicamente que será ampliamente difundida (comunicación externa).
- Información confidencial que no será comunicada fuera del proyecto (comunicación interna).

En ambos casos también se segmentará la comunicación entre:

- los **perfiles Técnicos o científicos**, donde prevalecerá la información más compleja y las actividades de participación más técnicas.
- Los perfiles generales, donde la importancia de la comunicación se centrará en los efectos de los desarrollos y su importancia en términos de cumplimiento de los objetivos, tanto del programa CPI general como del proyecto **Emalcsa#120** en particular.

Teniendo en cuenta lo anterior se realizarán dos planes de difusión diferentes y complementarios: plan de comunicación interno y el externo.

El **plan de comunicación interno** estará planteado en torno a aquellos agentes que han tenido o tendrán involucración con el proyecto **Emalcsa#120**, desde un punto de vista tanto funcional como de usuario.

Por otro lado, el **plan de comunicación externo** incluirá aquellas iniciativas y actuaciones que puedan revertir en la mejor imagen y difusión del proyecto, así como, específicamente, el impulso a la difusión del proyecto en redes que puedan generar sinergias de conocimiento y promover las alianzas entre actores (instituciones europeas, entidades públicas nacionales y europeas, institutos de investigación, clúster y empresas orientadas a la innovación, asociaciones, entidades del tercer sector, etc.) con capacidad para plantear futuros proyectos de colaboración en el ámbito de la compra pública innovadora.

A continuación, se va a profundizar con un poco más de detalle en cada uno de los dos tipos de comunicación.

Plan de Comunicación Externo

El objetivo general de un plan de comunicación es identificar las acciones de comunicación y difusión que se prevén dentro del proyecto **Emalcsa#120** a lo largo de su duración, así como las estrategias y herramientas previstas para llevarlas a cabo para los perfiles externos a EMALCSA.

En este sentido, la metodología propuesta plantea determinar en función del colectivo implicado la comunicación individual de cada actuación cubriendo en cada uno las siguientes tres etapas independientemente de si se trata de una actividad o actuación enfocada a la difusión interna o externa del proyecto **Emalcsa#120**:

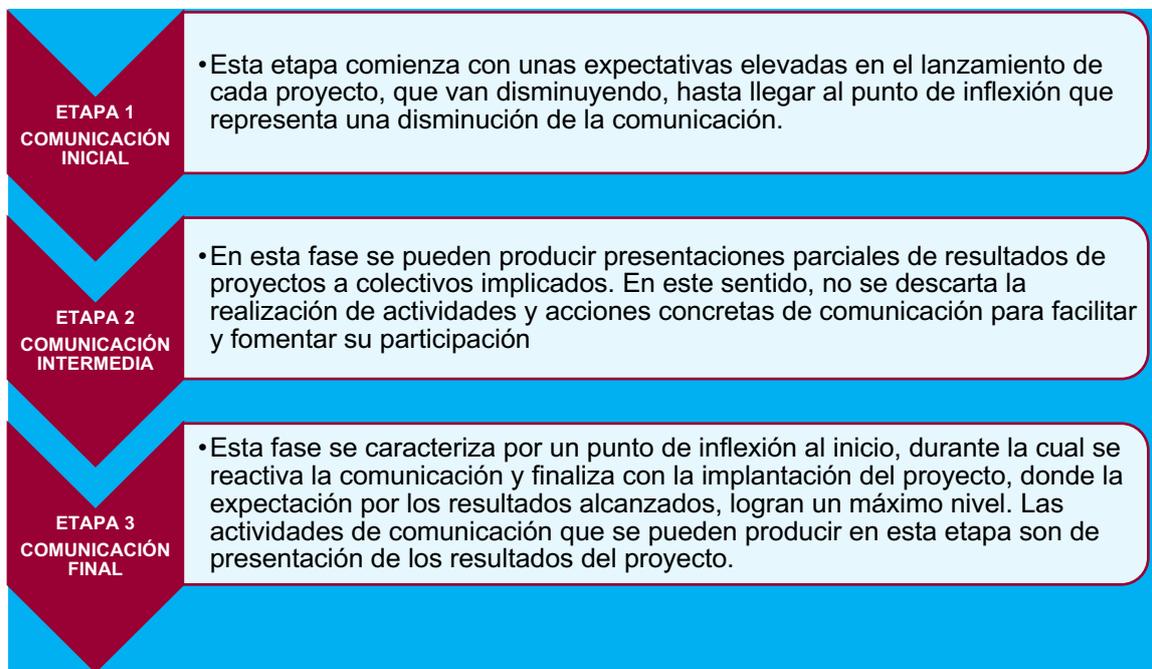


Figura 31: Esquema de metodología de comunicación del proyecto **Emalcsa#120**

Principales Acciones de Comunicación Externa

Se destacan las principales a desarrollar en el marco del proyecto **Emalcsa#120**:

Eventos públicos

Eventos y jornadas de comunicación, con la participación de los principales integrantes en el proyecto, tanto en términos de colaboración de CT's como de empresas adjudicatarias de las licitaciones públicas.

Acciones en redes sociales

Hoy en día las empresas u organizaciones emplean las redes sociales como uno de los canales principales para promocionar eventos, sabiendo captar el verdadero potencial de este medio, es por ello por lo que se creará un canal online – además de la utilización del propio perfil de EMALCSA - donde se alojarán los contenidos digitales elaborados con el fin de sensibilizar al público objetivo de los foros. Adicionalmente se abrirán otros canales de comunicación a través de redes sociales, en Twitter, Instagram, YouTube, WhatsApp y LinkedIn, pudiéndose también utilizar los propios perfiles de EMALCSA. Estos canales de comunicación se analizarán para conocer la eficacia de su utilización y el impacto en el público objetivo y potencial. Además, su utilización para difundir los distintos eventos a realizar mejorará la imagen de estos, permitirá conocer las apreciaciones de los interesados. Las redes sociales tendrán actividad durante las 2 semanas anteriores a los eventos y la semana de celebración de estos.

Creación de página web

En el marco del proyecto se ha creado una página web específica de **Emalcsa#120**, que recoge tanto los objetivos de éste, como el progreso que se vaya alcanzando. La web del proyecto irá creciendo al incorporar en ella los desarrollos y actividades de las distintas actividades de este, siendo en si misma un canal de comunicación y un repositorio general de todos los aspectos de comunicación y divulgación de carácter público.

Asimismo, la web desarrollará un entorno registrado para la interacción de los principales agentes implicados en los desarrollos, creando una comunidad que permita dinamizar el desarrollo de estos y su divulgación en foros y entornos de alto nivel, tanto científico como sectorial.

Resumen de las tareas

A continuación, se recoge una relación de tareas a realizar para alcanzar los objetivos propuestos a lo largo de esta sección e implementar el plan de trabajo y la metodología propuesta:

- Preparación y aprobación del **Manual de Estilo** del Proyecto **Emalcsa#120**.
- Preparación y aprobación del **Plan de Comunicación Externa** del Proyecto.
- **Identificar toda actividad** susceptible de ser objeto de comunicación, garantizando la conexión entre avance técnico y comunicadores. Si no fuera así, existe el riesgo de que los comunicadores no cuenten con suficientes fuentes para construir los mensajes.
- **Crear plantillas** (documentos, hojas Excel, memorias, presentaciones, etc.) con la comunicación del proyecto **Emalcsa#120** y la exigida por los organismos responsables de la financiación.

- Establecimiento de tipologías de plantillas que se requerirán en el marco del proyecto. Al menos, se considera documentos e informes, hojas Excel, presentaciones, emails, programas de eventos, pósteres, etc.).
- Diseño preliminar de cada una de las plantillas.
- Aplicación de eventuales comentarios y mejoras y creación de las plantillas definitivas.
- Creación de una carpeta con el set de plantillas y los manuales de estilo.
- Comunicación de los implicados de las normas de uso de dichas plantillas.
- Control de la adecuada aplicación de las plantillas y, en general, de las normas de publicidad y manual de estilo.
- Gestionar **eventos y jornadas** de comunicación.
 - Planteamiento de la escaleta, contenidos de la jornada y preparación, coordinación y revisión de documentos para ponencias.
 - Selección de formato del evento o jornada, selección y reserva de espacios, etc.
 - Confirmación de ponentes y preparación de BIO presentación a ponentes.
 - Preparación de agendas del evento.
 - Preparación de mensajes clave institucionales.
 - Gestión de inscritos: mecanismos de inscripción, envío de confirmaciones, agradecimientos a asistentes, etc.
 - Seguimiento de inscripciones.
 - Convocatoria de medios de comunicación.
 - Preparación de material gráfico en formato digital o impreso y logística.
 - Preparación de listado de asistencia.
 - Contratación de servicios de iluminación y audio, servicios de *streaming* y grabación del acto.
 - Actualización de la página web antes, durante y después del acto.
 - Pruebas del acto (conectividad, sonido, etc.).
 - Apoyar en las tareas de difusión en redes sociales u otros medios.
- Planteamiento de un **plan de contenidos** en RR. SS:
 - Redacción de contenidos para las diferentes RR.SS.
 - Acciones de difusión en RR. SS (cuentas personales e institucionales) antes, durante y después del evento o acto.
 - Acciones de seguimiento de indicadores de redes sociales.
 - Actualizar contenidos de páginas webs o redes sociales relacionadas con el proyecto **Emalcsa#120**.

- Acceso a los perfiles de RR.SS. del proyecto **Emalcsa#120**.
- Subida de contenidos (textos) y formateo de contenidos (hashtags, acortamiento de enlaces, etc.).
- Adición de imágenes de soporte en los tamaños adecuados a los contenidos.
- **Publicación** de contenidos (en tiempo real o mediante aplicaciones para su programación).
- Gestión de **riesgos** específicos de comunicación y gestión de crisis.
- **Otras** de similar naturaleza.

Plan de Comunicación interna

La coordinación y la comunicación interna es uno de los pilares fundacionales de un modelo de gobernanza efectivo y eficiente y más en proyectos complejos con múltiples agentes y diferentes líneas de desarrollo en paralelo.

Para la coordinación de los diferentes canales, herramientas y protocolos de comunicación entre los distintos agentes involucrados en el proyecto **Emalcsa#120**, será necesario tener redactado un **plan de comunicación interna**. Éste se desarrollará respetando los procedimientos propios de EMALCSA.

En este plan se determinarán los canales de comunicación a ser empleados para cada tipo de comunicación, las personas a ser informadas de las distintas comunicaciones internas, los protocolos (antelación, acuse de recibo, etc.) y otros aspectos relevantes de forma que la comunicación sea fluida y se garantice que las personas que participan en cada comunicación son las adecuadas.

Este plan de comunicación interna deberá estar estrechamente alineado con la plataforma compartida de trabajo.

Plataforma de trabajo colaborativo:

- Se utilizará una plataforma de trabajo colaborativo en office365, para la gestión de los trabajos, incluyendo el repositorio documental. Permitirá la colaboración y la comunicación fluidas entre personas de un mismo equipo u organización. Esta herramienta permitirá disponer de múltiples funcionalidades clave para la gestión de proyectos como son la comunicación telemática síncrona (llamadas de voz o video, reuniones en línea enriquecidas y webinars) o asíncrona (mensajes de voz, chat, muro de mensajes o notificaciones vía correo electrónico), el almacenamiento y acceso a bibliotecas digitales, gestión y edición de documentos de trabajo, calendarios compartidos, convocatorias de reuniones, agendas, etc.
- Funcionalmente, la herramienta permitirá configurarse para establecer una metodología de gestión y planificación de proyectos, seguimiento

de indicadores y de gestión documental orientada al control, la toma de decisiones y a la agilidad.

- Debe asegurar la seguridad y escalabilidad en cuanto a usuarios y número de documentos.

La herramienta de control y seguimiento facilitará:

- **La gestión documental:** una solución que permita el almacenado, acceso y recuperación (backup) de los documentos del proyecto **Emalcsa#120** a través de un acceso remoto (desktop y móvil) de forma controlada por permisos de acceso que se establecerán en cada caso (garantizando, a la vez, el control de la documentación y la confidencialidad).
- **La gestión de accesos.** Este último punto es muy relevante considerando que, en muchos casos, desde la Oficina Técnica se manejará información confidencial tanto de las administraciones involucradas en el proyecto **Emalcsa#120**, como de las empresas que participan en los procesos de Compra Pública.
- **Capacidades para la gestión de proyectos:** Para dar soporte a la metodología de gestión del proyecto **Emalcsa#120**, se utilizarán metodologías del PMI, junto con herramientas y aplicaciones integradas de gestión.

7.8 Medidas de la lucha contra el fraude implantadas o a implantar

El Código Ético de EMALCSA, aprobado por el Consejo de Administración de la compañía, en la fecha 24 de 10 de 2023, representa un conjunto de directrices esenciales que busca instaurar un comportamiento íntegro, responsable y transparente entre todos los individuos que forman parte de la entidad. Estas normas son fundamentales tanto en el desempeño diario de sus funciones como en las interacciones profesionales que mantienen.

El propósito fundamental de este Código es traducir los valores y principios de la institución en acciones concretas y deseables. Para ello toma como punto de partida la cultura de la organización, la legislación que le es aplicable y el compromiso de la entidad con la ética y la transparencia.

La institución tiene una enérgica postura en contra del fraude y la corrupción. Esta posición se reafirma mediante un seguimiento especial de delitos y conductas prohibidas, que se articulan a través de un comité de *Compliance*. En esta acción se enfatiza el compromiso de mantener altos estándares de conformidad con las normas legales, éticas y morales. Además, se asume la responsabilidad de adoptar principios de integridad, imparcialidad y honestidad como cimientos de las acciones institucionales. Como prueba de este compromiso, se establece una política de "tolerancia cero" frente al fraude

y la corrupción que no solo previene la ocurrencia de conductas indebidas, sino que también favorece su detección temprana y eficaz.

En armonía con estos principios, la entidad ha desarrollado un listado de conductas prohibidas, así como los deberes de los trabajadores y sus sanciones, aprobado en la fecha 24 de 10 de 2024. Este plan es un testimonio tangible del compromiso de la organización con una gobernanza sólida, fundamentada en valores de ética y transparencia. Adicionalmente, el compromiso se extiende a la correcta gestión de los fondos comunitarios, demostrando la diligencia de la entidad en el uso responsable y honesto de los recursos a su disposición.

En conjunto, el Código Ético, el seguimiento de los delitos y conductas prohibidas y el listado de deberes de los trabajadores, reflejan una cultura organizativa comprometida con la integridad, la transparencia y la responsabilidad.

8. PRESUPUESTO

8.1 Relacionar desagregadamente en un cuadro las líneas de trabajo, licitaciones CPI y cronograma con los hitos técnicos y presupuesto económico reflejados en el apartado 3.6. Para cada línea de trabajo, detallar las inversiones materiales e inmateriales y los gastos en personal, materiales y otros necesarios, aun no siendo elegibles

A continuación, se relacionan los hitos técnicos (Apartado 3.6), el cronograma y el presupuesto de **Emalcsa#120**:

emALCSA		EMALCSA#120																emALCSA		
AÑO		Presupuesto	2024		2025				2026				2027				2028			
TRIMESTRE			3T	4T	1T	2T	3T	4T	1T	2T	3T	4T	1T	2T	3T	4T	1T	2T	3T	4T
1. Consultas preliminares, diálogos técnicos, definición de pliegos CPI...		19.626,20 €																		
Informes OEPM		1.597,20 €																		
Apoyo en la CPM y definición de retos		18.029,00 €																		
2. Firma del Convenio MEIC EMALCSA																				
3. Oficina Técnica CPI. Elaboración de pliegos y tramitación																				
Oficina Técnica externa		718.740,00 €																		
Comunicación y Publicidad		50.000,00 €																		
Contratos OPIs		45.000,00 €																		
Otros gastos		195.000,00 €																		
Personal interno		406.000,00 €																		
4. Publicación de pliegos para proyectos CPI																				
5. Selección y adjudicación																				
6. Desarrollo de los proyectos CPI		4.356.000,00 €																		
H1: Desarrollo de sistemas inteligentes en redes de agua basados en conducciones con capacidades mejoradas		847.000,00 €																		
H2: Desarrollo de plataforma automatizada de estaciones de alerta temprana para monitorización de aguas		1.694.000,00 €																		
H3: Desarrollo de piloto de demostración para bombeo integrado de agua en régimen hiperlaminar (SIBRH)		1.815.000,00 €																		
7. Evaluación de resultados e impacto socioeconómico																				
8. Elaboración de memoria de sostenibilidad y plan de integración																				

Tabla 17: Relación de cronograma del proyecto **Emalcsa#120** con inversiones y gastos en cada fase

9. RESULTADOS ESPERADOS

9.1 Nuevas tecnologías o modificaciones desarrolladas

Subreito 1.1: Sistemas inteligentes en redes de agua basados en conducciones con capacidades mejoradas

En el ámbito de los nuevos sistemas de conducciones los aspectos más relevantes en cuanto a tecnologías se dividen en dos ámbitos:

- Materiales, donde el uso de materiales plásticos reciclables y la implementación de nuevos aditivos para la mejora de sus condiciones mecánicas y químicas suponen un campo de experimentación de absoluta novedad en nuestro sector. Este aspecto da importancia por fin al agua como uno de los elementos fundamentales de la vida, al traspasar desde otros sectores (alimentario, hidrocarburos, etc.), esta visión de experimentación en materiales que en agua estaba casi siempre supeditado únicamente a los aspectos mecánicos (sistemas a presión).
- Tecnologías, la implementación en los sistemas de conducciones de prestaciones ampliadas a los tubos, como sensórica incorporada para detección de roturas o intrusiones, implica la modificación sustancial del paradigma de las redes actualmente existentes y convertir los elementos de unión de los tubos en transmisores con las contingencias lógicas de la necesaria durabilidad (la tubería debe soportar al menos 50 años de vida útil enterrada), y funcionalidad (la tecnología vive mal bajo tierra). Este es el gran desafío de los sistemas planteados en esta línea.

En los sistemas de canalización de agua se pueden dar diferentes problemáticas:

- La oxidación: se trata de una reacción química producida debido al contacto con el oxígeno (O₂) o una sustancia oxidante, como puede ser el agua (H₂O). Las consecuencias de este proceso en los materiales son: la decoloración, el deterioro y la pérdida de las características naturales de un material, lo que acaba traducándose en corrosión.
- La acumulación de lodo o magnetita: es otra de las consecuencias en instalaciones de circuitos cerrados. Las llamadas incrustaciones son el resultado del depósito de calcio y magnesio en las paredes de las tuberías. Con el aumento de la temperatura en sistemas de calefacción, las sales de calcio y magnesio se vuelven más densas.
- La formación de biofilm: son comunidades de microorganismos adheridos a una superficie, que representan la forma habitual de crecimiento de las bacterias.

Se pretende diseñar un sistema de tubería con materiales y aditivos adecuados para evitar que se produzcan estas problemáticas y reducir las posibilidades de

contar con una avería por estos inconvenientes, incorporando una capa interna 100% lisa y con una capacidad antimicrobiana del 99%.

La configuración interna de la tubería junto con los materiales de ésta, crearán una estructura interna efecto extra lisa y flexible que impida la acumulación de microorganismos y por tanto la formación de biopelículas en el interior de las tuberías. Con el desarrollo de una capa interna extra lisa se evitarán las problemáticas asociadas a la acumulación de residuos en el interior de las tuberías, mejorando y manteniendo la calidad de agua y minimizando las pérdidas de carga y el consumo energético en las redes de bombeo en un 30%.

- Reducción de las necesidades de captación de agua. La mejora en las redes por la vía de la reducción de las fugas reduciría la necesidad de captar agua para garantizar el mismo nivel de abastecimiento a la población y permitiría optimizar las instalaciones hidráulicas para la captación (que tienen un importante impacto medioambiental en las zonas de afección). Debido a las fugas ocasionadas en los sistemas de canalización es necesario captar entre un 25% - 30% más de agua para garantizar el abastecimiento. Con este sistema, se pretende reducir a 0 la captación como consecuencia de las fugas del sistema.
- Monitorización de las fugas de fluidos y los perjuicios asociados mediante la Capa "Detectora" que conforma la tubería. El ahorro de agua que se pretende conseguir con el nuevo desarrollo puede superar el 30%.
- Monitorización del funcionamiento de la instalación para mejorar la gestión de la red. La detección precoz de la fuga va a hacer que no se pierda agua como consecuencia de su rápida reparación. Debido a las fugas ocasionadas en los sistemas de canalización es necesario captar entre un 25% - 30% más de agua para garantizar el abastecimiento. Con este sistema, se pretende reducir a 0 la captación del agua por posibles fugas del sistema ahorrando más del 30% de agua
 - Monitorización de las Intrusiones en las redes
 - La trazabilidad de la instalación
 - Determinar el momento de renovación óptimo y sobre todo disponer de información relevante para una adecuada planificación, permitiendo un uso óptimo de los recursos.

Subreto 1.2: Plataforma automatizada de estaciones de alerta temprana para monitorización de aguas

Como ya ha quedado expuesto, el mercado ofrece en la actualidad sistemas de monitorización de agua bastante avanzados y con buenas prestaciones. El problema de estos sistemas se puede resumir en que son caros y complejos, tanto de implantación como de operación.

La apuesta en cuanto a resultados del desarrollo es mejorar de forma significativa estos dos aspectos. Para ello la apuesta está vinculada a una nueva configuración de las tecnologías existentes aplicando criterios de:

- Complementos de bajo coste
- Integración en bloques, estos bloques presentan escalabilidad y configurabilidad como elementos fundamentales de desarrollo, de manera que para cada situación y partiendo de una base común podamos integrar distintos parámetros según necesidades sin tener que cambiar equipos.
- Robotización, a través de un sistema que permite de forma automática desarrollar las funciones de limpieza, operación y calibración de las distintas sondas y sistemas, incorporando en la infraestructura todos los reactivos y elementos necesarios.

Finalmente, el desarrollo de la plataforma conlleva la incorporación de forma estandarizada de tres elementos transversales:

- Alimentación eléctrica autónoma, aunque con capacidad de incluir tomas a corriente.
- Conectividad, hacia arriba y hacia abajo, tanto para la recolección de los datos y su disponibilidad en diferentes plataformas de gestión, como para conocer el estado de los sistemas y su correcto funcionamiento en tiempo real, incluida la algoritmia que permita corregir derivas y actuar para optimizar las acciones remotas.
- Sistemas de captación adaptativos a diferentes configuraciones. Agua natural de ríos o embalses, conducciones atmosféricas o tomas a presión.

Todo ello en una configuración móvil donde los componentes sean seguros y fiables, pero también de bajo coste y donde la parte más innovadora está en como unir todos estos elementos de una manera funcional y segura.

Subreto 2.1: Sistema Integrado de Bombeo en Régimen Hiperlaminar (SIBRH)

La capacidad de reproducir el fenómeno físico de la hiperlaminarización es el principal resultado esperado en esta acción. Las pruebas de laboratorio confirman que sucede y los análisis matemáticos demuestran que es replicable y responde a las leyes de la física y no a la causalidad del análisis empírico.

Sin embargo, el reto es convertir este fenómeno en una instalación industrial que replique el mismo con garantías y con la suficiente seguridad y resiliencia como para que pueda ser implementado en los millones de sistemas de bombeo existentes en las redes de abastecimiento y que consumen cantidades ingentes de energía en un momento crítico para su suministro.

Los resultados se orientan a dos ámbitos:



- **Ámbito hardware**, vinculado a la adaptación de una bomba estándar con un sistema pulsante que sea viable en su concepción mecánica clásica
- **Ámbito Software**, en este caso se trata de desarrollar la algoritmia que interpreta las ecuaciones físicas del fenómeno, trasladando al sistema mecánico a través del análisis de la información recopilada la secuencia adecuada para convertir el flujo, de natural turbulento, en laminar, con el consiguiente ahorro energético.

El reto secundario por conseguir es que estos desarrollos se puedan hacer a precios asequible y competitivos de cara a su implantación en los sistemas públicos.

9.2 Nuevos bienes o servicios innovadores en mercado.

Las diferentes tecnologías que se desarrollarán en el proyecto **Emalcsa#120**, para abordar los requerimientos de los retos tecnológicos planteados, generarán los siguientes **bienes o servicios innovadores al mercado**:

- **Sistemas inteligentes en redes de agua basados en conducciones con capacidades mejoradas**: En este caso, los bienes a desarrollar son sistemas de conducciones con capacidades ampliadas de implantación directa en las redes de distribución de las ciudades. Estos sistemas incluyen los tubos, con diferentes capacidades según necesidades, pero básicamente con capacidades estructurales, de biocida y de detección de fugas o intrusión de serie, junto con los elementos que completan el sistema en cuanto a la detección y comunicación de las incidencias a través de la conectividad con sistemas de gestión estándar.

Además de los sistemas planteados aportan la posibilidad de que los servicios de monitorización puedan ser prestados como servicio, gracias a la integración de la solución en una plataforma propia multipropósito que permite adicionar a esta tecnología un servicio de alto valor añadido, sobre todo para abastecimientos y servicios de pequeño tamaño o con dispersión geográfica extrema.

- **Plataforma automatizada de estaciones de alerta temprana para monitorización de aguas**: los sistemas de alerta temprana suponen el diseño, la implementación y la construcción de equipos configurables de alta demanda en el sector del agua urbana. Los sistemas, por su configuración y naturaleza multidisciplinar, agnóstica en cuanto a parámetros y versatilidad son un producto que puede ser utilizado tanto de forma estable como a demanda en otros ámbitos como la industria o el control extraordinario en sistemas como playas, lagos o infraestructuras hidráulicas de generación.

Además, el desarrollo al ser integrable en plataformas de diferente naturaleza también se presta a un modelo vinculado a la generación de datos,

o de información elaborada según se requiera, dada el alto perfil tecnológico de los sistemas de integración y su posibilidad de uso.

- **Sistema Integrado de Bombeo en Régimen Hiperlaminar (SIBRH):** El bombeo en régimen hiperlaminar, una vez resueltas las principales incertidumbres técnicas descritas, está llamado a convertirse en un referente a nivel mundial del transporte de fluidos (agua, petróleo, gas natural, productos químicos...). En este sentido, provocaría un cambio de paradigma a nivel industrial, con el objetivo de minimizar los procesos en régimen turbulento. Teniendo en cuenta este aspecto disruptivo, los bienes que el proyecto impulsaría en el mercado serían:

- a) Dispositivos laminarizadores, con el objetivo de hacerlos cada vez más eficaces y adaptados a las necesidades de cada aplicación en el sector del agua o en el ámbito industrial en general.
- b) Bombas con un régimen de funcionamiento sincronizado con su respectivo laminarizador.
- c) Sistemas de control, configurando sus desarrollos para convertirlos en cada vez más precisos, rápidos y sofisticados.

9.3 Mejoras del servicio público

El cumplimiento de los objetivos de **Emalcsa#120** de aumentar la sostenibilidad y la eficiencia en los servicios vinculados a los sistemas de agua urbana. En este caso tanto la mejora del control sobre la calidad del agua, la eficiencia de los procesos de transporte y la automatización de las redes de agua mediante la gestión integrada para el área metropolitana de A Coruña conlleva varias mejoras significativas en el servicio público que EMALCSA ofrece, cómo por ejemplo:

- **Calidad del agua potable:** La calidad del agua potable se garantiza sustancialmente, partiendo del conocimiento preventivo y en tiempo real de contaminantes y microorganismos perjudiciales detectados por la mejora de los sistemas de monitorización de calidad, cumpliendo al mismo tiempo con estándares más estrictos y garantizando la salud pública de la población de A Coruña y su entorno metropolitano.
- **Eficiencia en los procesos de tratamiento:** El conocimiento de la calidad en origen permitirá que los procesos de tratamiento del agua sean más eficientes y efectivos, reduciendo los tiempos de tratamiento y aumentando la capacidad de producción. Esto permitirá atender las demandas de agua potable en un área muy poblada, como la coruñesa que depende de la gestión de EMALCSA, de manera más rápida y eficiente y actuar de forma flexible ante picos de demanda o problemas de calidad relacionadas con fenómenos vinculados al cambio climático.
- **Reducción de pérdidas en la red de distribución:** La automatización de las redes de agua permite una detección temprana y precisa de fugas, reduciendo las pérdidas de agua en la red de distribución. Por tanto, se

minimizan los desperdicios y se conserva el recurso hídrico de manera eficiente. También es relevante la eliminación del fraude al poder detectar las intrusiones en las redes de manera inmediata y poder actuar para solucionarlo de manera fácil y económica.

- **Ahorro energético:** La eficiencia en los procesos de bombeo y tratamiento conlleva un ahorro significativo en el consumo energético. La automatización y la consecución de regímenes de fluido más estables, permitirá ajustar la operación de las bombas según la demanda real, optimizando el uso de energía. En este sentido, la implementación de bombeos en régimen hiperlaminar permitiría transportar el mismo caudal de agua con menos recursos energéticos, respecto a la situación actual, con sus consecuentes ahorros en costes operativos y disminuciones de la huella de carbono de las operaciones de EMALCSA.

- **Automatización y monitorización continua:** El impulso de un enfoque de automatización de las operaciones y la monitorización continua, garantizan un funcionamiento ininterrumpido de la planta. Por tanto, la detección temprana de problemas y la capacidad de respuesta rápida contribuyen a la fiabilidad del servicio de cara a los ciudadanos de A Coruña.

- **Reducción de costes operativos:** EL aumento de la eficiencia en los procesos, la reducción de pérdidas y el ahorro energético se traducen en una disminución de los costes operativos para la planta, que permiten una gestión más sostenible y pueden repercutir en un ahorro económico del servicio público ofrecido a los ciudadanos de A Coruña.

- **Cumplimiento normativo:** El aumento en la calidad del agua tratada contribuye al cumplimiento riguroso de las normativas medioambientales y de salud pública, sobre todo en el actual marco de implantación del Decreto 03/2023 de Calidad de Agua para Consumo Humano, que ha subido mucho las exigencias en cuanto a control y cuanto a parámetros.

- **Resiliencia ante eventos extremos:** La automatización y monitorización continua permiten una respuesta más rápida y efectiva ante eventos extremos, como contaminaciones repentinas o cambios bruscos en la demanda. Este factor de robustez y fiabilidad repercute en un servicio más seguro para el ciudadano.

- **Contribución a la sostenibilidad ambiental:** La reducción de pérdidas, el ahorro energético y la mejora en los procesos contribuyen a la sostenibilidad y minimización del impacto ambiental de la planta, promoviendo prácticas más responsables para la sociedad. Estos aspectos y el compromiso de EMALCSA son dos aspectos claves para conseguir una mayor y mejor concienciación social sobre la gestión integrada del agua con relación a su uso responsable, la protección y cuidado del medio ambiente y la participación social

En conjunto, estas mejoras elevan la calidad del servicio público de gestión del sistema de agua urbana, proporcionando a la comunidad un suministro de agua más seguro, eficiente y sostenible.

9.4 Impactos e indicadores. Identificación, construcción, metodología y resultados esperados.

Los impactos e indicadores que se esperan conseguir con **Emalcsa#120** son los siguientes:

RESULTADO	INDICADOR	IMPACTO
Eficiencia en la red de distribución	Mejora del ANR.	Lograr ANR<10 en los primeros 5 años de implementación.
Aumento de la resiliencia de las instalaciones	Reducción de número de averías y actividades de mantenimiento.	Reducción de un 20% en volumen de averías en la red de EMALCSA.
	Reducción de tiempos de mantenimiento.	Disminución de un 30% de los tiempos dedicados a actividades de mantenimiento en infraestructuras.
Aprovechamiento del recurso hídrico	Reducción en los niveles de consumo del recurso hídrico gestionado.	Reducción de un 10% en los niveles de consumo del recurso hídrico gestionado.
Calidad del agua potable	Cumplimiento de los estándares de calidad del agua potable.	Mantener un porcentaje de cumplimiento del 100% con los estándares de calidad establecidos.
Consumo energético	Eficiencia energética global en las instalaciones de EMALCSA.	Reducción en un 15% del consumo energético de las instalaciones en su conjunto.
	Eficiencia energética en los sistemas de bombeo.	Lograr una reducción del 50% en el consumo energético asociado al bombeo.
Implantación de sistemas inteligentes en redes de agua	Número de elementos de la red equipados con sistemas inteligentes.	Alcanzar la implementación de sistemas inteligentes en el 15% de la red de distribución durante los 10 primeros años.
Implementación de sistemas de	Tiempo de respuesta ante eventos críticos en la calidad del agua.	Reducir en un 50% los tiempos de respuesta ante situaciones críticas

monitorización temprana		detectadas por sistemas de monitorización temprana.
Reducción de emisiones de CO2	Disminución de emisiones de CO2 asociadas a la gestión del agua.	Alcanzar una reducción del 15% en las emisiones de CO2 durante los primeros 5 años.
Participación ciudadana	Nivel de satisfacción y participación ciudadana en iniciativas de gestión del agua.	Alcanzar un nivel de satisfacción del 90% y una participación activa en programas de divulgación y uso responsable del agua.

Tabla 18: Relación de impactos e indicadores de **Emalcsa#120**

Como consecuencia del desarrollo de estos impactos sobre los procesos del sistema de agua urbana gestionado por EMALCSA, se plantea la siguiente batería de indicadores (ya mostrados en el apartado 5.2 del Análisis Coste-Beneficio), con el propósito de medir el efecto ahorro-coste del proyecto **Emalcsa#120**:

indicador	Definición	indicador	coste anual estimado	ahorro coste/año (*)	OBSERVACIONES
indicador 1	eficiencia energética sistemas de bombeo, potabilización y distribución	15%	5.000.000,00 €	750.000,00 €	Se pondera la mayor capacidad de los bombeos con la menor en los sistemas de distribución
indicador 2	mejora rendimiento procesos de mantenimiento en redes y plantas de potabilización	10%	8.000.000,00 €	800.000,00 €	en este caso el beneficio se considera transversal derivado de la naturales de las propuestas
indicador 3	mejora en operaciones de gestión de sistemas de monitorización	25%	200.000,00 €	50.000,00 €	aunque los despliegues aun son menores, ya se puede cuantificar la mejora
indicador 4	costes de reactivos en potabilización	5%	1.000.000,00 €	50.000,00 €	Es un exponente claro de la mayor planificación y los ahorros derivados de las mejoras
				1.650.000,00 €	

(*) estos ahorros solo se pueden aplicar a partir del año 5, de forma progresiva el 10% el año 5, 10, 15, 50, 75 y 100% anual el año 10 del ahorro previsto, aplicable únicamente a los últimos 5 años

Tabla 19: Relación indicadores cuantitativos para el cálculo del ACB de **Emalcsa#120**

Dado que los indicadores económicos agrupan diferentes efectos, se hace una estimación del coste total de los distintos servicios/prestaciones de EMALCSA, para determinar las cantidades finales de "ingresos" que el proyecto generará.

Además, hay otros impactos que no tienen efectos económicos directos, por ser mejoras en intangibles, como es el caso de la mejora de la imagen de la compañía, la participación social o la mejora de la huella de carbono, entre los más evidentes.

9.5 Estimación de indicadores de realización y resultado FEDER

La estimación de los **indicadores de realización y resultado FEDER** para **Emalcsa#120** son los siguientes:

- Nº de empresas totales que van a realizar la innovación:** Gracias a la información recopilada durante el desarrollo de la Consulta Preliminar al Mercado realizada en el marco del proyecto de Compra Pública de Innovación, de forma previa a la elaboración de esta memoria técnica, se estima que la innovación puede ser desarrollada, al menos, por 15 empresas, con capacidades multidisciplinares en diferentes áreas de negocio relacionadas con los distintos subretos del proyecto.

- b) **Nº de PyMEs:** De todas las empresas presentadas a la CPM, algo más del 50% eran PyMEs, por lo que se estima que se puedan presentar al proyecto con propuestas de alto interés para **Emalcsa#120** unas 10 PyMEs.

9.6 Despliegue, estimaciones numéricas y presupuestarias

Una vez finalizada con éxito la fase de CPI, desde EMALCSA se propone una fase de despliegue en dos ámbitos: Externo e Interno.

El caso del **despliegue interno** de las soluciones se plantea desde el año 6 del proyecto, dejando un año entero desde la finalización de los proyectos para asentar la tecnología y buscar los socios adecuados a dicho despliegue. En este sentido, se plantea que las tres líneas ofrezcan oportunidades de mejora significativas en los procesos y resultados de las actividades de EMALCSA, por lo que se propone un despliegue con los siguientes valores estimados:

EVALUACION DE DESPLIEGUES INTERNOS A 5 AÑOS (*)											
LÍNEA DE ACTUACION	UNIDADES	PRECIO UNIDAD	% EMALCSA	PRECIO NETO	AÑO 6	AÑO 7	AÑO 8	AÑO 9	AÑO 10	TOTAL	IMPORTE
SISTEMAS DE BOMBEO HIPERLAMINARIZACION	BOMBA	100.000,00 €	100%	100.000,00 €	2	2	3	5	5	17	1.700.000,00 €
SISTEMAS DE CONDUCCIONES CON CAPACIDADES MEJORADAS	M.L.	150,00 €	100%	150,00 €	1.000	2.000	5.000	5.000	5.000	18.000	2.700.000,00 €
PLATAFORMAS DE MONITORIZACION	PLATAFORMAS	20.000,00 €	100%	20.000,00 €	2	2	2	2	2	10	200.000,00 €
					390.000,00 €	540.000,00 €	1.090.000,00 €	1.290.000,00 €	1.290.000,00 €		4.600.000,00 €

(*) Desde el año 5 al 10, a partir de ahí se considera el maximo despliegue vinculado al desarrollo del proyecto EMALCSA#120

Tabla 20: Relación de estimaciones económicas para el despliegue de las soluciones Emalcsa#120

Evidentemente, es complicado conocer el dimensionamiento final que se pueda alcanzar en las tecnologías planteadas, dado que sobre todo para los bombeos o las tuberías, su dimensión cambia significativamente los valores de inversión, por lo que se han tomado valores medios de coste en las instalaciones actuales.

Por otro lado, el planteamiento se basa en que las inversiones a realizar en el despliegue de EMALCSA, se compensarán hasta el año 10 con las previsiones de retorno por la comercialización de los resultados en el ámbito externo.

En este sentido, abrir una nueva línea de negocio en una empresa pública como EMALCSA, supone una mejora en la capacidad del servicio público prestado. Como se ha mencionado, el desarrollo del SIBRH y de los sistemas de tuberías mejoradas dotará a EMALCSA de una nueva línea de negocio durante, al menos, los primeros 5-6 años tras culminar el proyecto.

El modelo de desarrollo de negocio vinculado a los proyectos de CPP será el de colaboración público-privada, en donde los desarrollos se compartirán con las empresas participantes que tengan mayor capacidad comercial y de despliegue industrial, aportando EMALCSA su ejemplo en implantación y despliegue y los contactos tanto a nivel nacional como internacional en empresas del sector, tanto públicas como privadas.

- En el caso del sistema SIBRH, y dependiendo del alcance en el escalado industrial, se puede plantear que a partir de la prueba de concepto del proyecto y la validación del prototipo se dispondrá de dos ámbitos de despliegue:
 - o **Interno:** con la incorporación en fases de la tecnología a los más de 20 bombeos que dan soporte al sistema de agua urbana de A Coruña.
 - o **Externo:**
 - Despliegue en las entidades que han suscrito compromisos, como el caso de EMASESA, AQUAOLEIROS, AGUAS DE BURGOS o la Confederación hidrográfica del Miño-Sil, como demostradores directos del buen desarrollo tecnológico.
 - Comercialización sectorial en empresas. Hay que recordar que en todas las ciudades del mundo existen estos sistemas, con lo que las expectativas son altas.
- En el caso de los sistemas de tuberías con capacidades ampliadas, su despliegue está muy condicionado por los planes de renovación. En el caso concreto de EMALCSA, la red de distribución esta renovada en un 80%, con lo que el despliegue interno será más bajo en los primeros años. Sin embargo, las necesidades de renovación en redes públicas son muy altas, y un sistema como el planteado podría permitir, apoyado por los compromisos de despliegue en cuanto a su inclusión en licitaciones públicas, instalaciones de más de 100.000 m/año a partir del 6º año de desarrollo.

Por otro lado, los sistemas de monitorización desarrollados en la CPTI pueden suponer despliegues desde el 6º año de hasta 70 Uds./año, dada la alta demanda de estos sistemas, así como las nuevas necesidades que el RD 03/2023 impone a los operadores, en lo relativo a la monitorización en continuo de determinados parámetros de calidad del agua.

En términos de **retorno económico (royalties)**, podemos plantearnos el siguiente cuadro, con la incertidumbre asociada a los niveles de participación y los costes de desarrollo e implantación, tras el proyecto **Emalcsa#120**.

EVALUACION DE DESPLIEGUES EXTERNOS A 10 AÑOS (*)											
LINEA DE ACTUACION	UNIDADES	PRECIO UNIDAD	% EMALCSA	INGRESO NETO	AÑO 6	AÑO 7	AÑO 8	AÑO 9	AÑO 10	TOTAL	IMPORTE
SISTEMAS DE BOMBEO HIPERLAMINARIZACION	BOMBA	100.000,00 €	2%	2.000,00 €	5	10	15	20	20	70	140.000,00 €
SISTEMAS DE CONDUCCIONES CON CAPACIDADES MEJORADAS	M.L.	150,00 €	1%	1,50 €	50.000	60.000	70.000	80.000	80.000	340.000	510.000,00 €
PLATAFORMAS DE MONITORIZACION	PLATAFORMAS	20.000,00 €	1%	200,00 €	5	10	15	20	20	70	14.000,00 €
					86.000,00 €	112.000,00 €	138.000,00 €	164.000,00 €	164.000,00 €		664.000,00 €

(*) Los primeros 5 años se consideran parte del desarrollo de soluciones comerciales.

Tabla 21: Estimación de retorno económico del proyecto Emalcsa#120

Asimismo, el personal científico-técnico que trabaje en el proyecto adquirirá un nivel de conocimiento y experiencia únicos, dadas las características disruptivas de los retos planteados y el salto tecnológico que suponen para el sector. Esto supone que la propia EMALCSA podrá *ofrecer* servicios de consultoría e



ingeniería al resto de las empresas de distribución de agua, y también a otros centros de desarrollo, tanto a nivel nacional como internacional, no solo para el despliegue de las tecnologías, sino también para su evolución e implementación. También es de vital importancia para el proyecto la colaboración con otras empresas e instituciones, que nos han prestado desde el principio su apoyo y que suponen el germen de un ecosistema de innovación en la mejora de los sistemas de agua urbana en clave DUSA, de sumo interés para el desarrollo de nuestra ciudad y de la comunidad gallega, donde el agua es un elemento esencial por su capacidad para proveernos una naturaleza de gran calidad.

D. Jaime Castiñeira de la Torre
Director General EMALCSA

