

## Objetivos generales del proyecto.

El objeto de **EMB-SAT** es el **desarrollo de un sistema de información para la mejora de la gestión de presas y embalses basado en técnicas de Teledetección por Satélite**. La aplicación estará basada en la creación de una herramienta informática que permitirá la emisión automática y permanente de informes que den a conocer el estado y la evolución de tres parámetros fundamentales en la gestión de los embalses:

- Los movimientos registrados por las estructuras de contención y sus terrenos circundantes.
- Las reservas hidrológicas almacenadas en forma de nieve en las zonas altas de las cuencas vertientes.
- Los valores de ciertos factores determinantes de la calidad del agua embalsada.

Estos objetivos generales son de un elevado interés para los organismos responsables de la gestión de los Recursos Hídricos y de las infraestructuras hidráulicas. Muestra de ello es el **interés en el proyecto** de un referente mundial del sector del agua, tal y como es el **Canal de Isabel II**, como queda reflejado en la **carta anexa** a la presente solicitud.

Además, el desarrollo de este proyecto se alinea con los **Objetivos de Desarrollo Sostenible** (ONU, Agenda 2030, suscritos por España) nº 6 **Agua limpia y saneamiento** (garantizar la disponibilidad de agua y su gestión sostenible) y nº 13 **Acción por el clima** (adopción de medidas para combatir el cambio climático y sus efectos), así como con el **Pacto Verde Europeo** (European Green Deal), hoja de ruta para dotar a la UE de una economía sostenible y que llegue a ser climáticamente neutra en 2050.

El proyecto **EMB-SAT** contribuye a la consecución de estos objetivos mediante la **mejora de la gestión de los recursos hidráulicos** (fundamental para aumentar la resiliencia de las sociedades a los efectos del cambio climático), la **digitalización e innovación** en dicha gestión, reduciendo las necesidades de la realización de controles in situ en presas y embalses por personal especializado, lo cual puede resultar especialmente interesante en países en desarrollo, donde estas infraestructuras son a menudo difícilmente accesibles por diferentes motivos, y donde escasea la disponibilidad de ese personal especializado.

Además, en circunstancias sobrevenidas como la que se vive actualmente por la pandemia del **COVID-19**, se ha visto la necesidad de disponer de métodos y herramientas que permitan la gestión no presencial, o que reduzcan los requerimientos de actuación presencial del personal de gestión de todo tipo de servicios, siendo especialmente relevante el caso de servicios e infraestructuras críticas como la gestión de los recursos hidráulicos y el control del comportamiento estructural de las presas de embalse. El proyecto **EMB-SAT** contribuye de forma directa a la **gestión remota** de los recursos hidráulicos y de la infraestructura hidráulicas.

## Objetivos tecnológicos específicos del proyecto.

Los objetivos técnicos específicos que se plantea el proyecto son:

- Desarrollar los módulos de procesamiento interferométrico de series temporales de imágenes Radar necesarios para obtener los registros de movimiento de la estructura o terreno de interés.
- Desarrollar la aplicación encargada de estimar la extensión del manto nival en base al procesamiento de imágenes multiespectrales y radar.
- Desarrollar la herramienta de procesamiento de imágenes multiespectrales dirigido al cálculo de parámetros indicativos de la calidad del agua (Clorofila-A, Turbidez, Sólidos en Suspensión y Temperatura).
- Desarrollar el módulo de gestión de umbrales y alarmas.
- Desarrollar una aplicación que, en base a los módulos, aplicaciones y herramientas anteriormente descritos, permita configurar una plataforma web para la gestión automática y permanente de los datos de teledetección y su aplicación a la mejora de la explotación de presas y embalses.

Las tareas de desarrollo serán complementadas con sucesivas campañas de validación que serán llevadas a cabo con la **colaboración** del Departamento de Biología y Geología, Física y Química Inorgánica de la **Universidad Rey Juan Carlos** (ver acuerdo de colaboración incluido en la documentación anexa).

### 3.2.- GRADO DE INNOVACIÓN Y RETO TECNOLÓGICO DEL PROYECTO.

#### El reto tecnológico.

El proyecto **EMB-SAT** enfrenta el objetivo tecnológico de conseguir desarrollar una serie de herramientas de procesamiento de imágenes satelitales (tanto radar como multiespectrales) que, tras diversos ensayos piloto de comprobación, puedan ser validadas para su aplicación en la **creación de una plataforma que proporcione de manera automática, permanente, robusta y fiable, información de gran utilidad para la mejora de la explotación de presas y embalses.**

#### Innovación tecnológica.

Hasta la fecha no se ha diseñado ninguna plataforma web que, haciendo uso de imágenes satelitales de tipo radar o multiespectral, proporcione de forma combinada y permanente información especialmente dirigida a la mejora de la seguridad y la explotación de presas y embalses.

Así, la consecución del proyecto **EMB-SAT** supondría un proceso claramente innovador, tanto a nivel nacional como internacional, que nos permitiría liderar el sector en este campo.

#### Tecnologías aplicadas.

Dentro del conjunto de tareas que componen el proyecto **EMB-SAT** se utilizarán las siguientes tecnologías aplicadas a imágenes satelitales de tipo radar y multiespectral:

- Para la detección de movimientos en terrenos y estructuras: El tratamiento interferométrico de imágenes SAR (Synthetic Aperture Radar) haciendo uso del método **Persistent Scatterer Interferometry (PSI)**.
- Para la estimación del manto nival: La medida de la **absorción de la señal de retrodispersión** del sistema radar por parte de la nieve (Método Nagler y otros) nos permite detectar la existencia de nieve independientemente de la presencia o de nubes.
- Para la parametrización de la calidad del agua (Clorofila-a, turbidez, Sestón, Temperatura): Se utilizará el cálculo de índices en base a los valores de las diferentes **bandas de las imágenes multiespectrales**. Dichos cálculos se realizarán en base a métodos tales como los descritos por Giardino en 2001, Dominguez en 2011 o Potes en 2012.

Dentro de la documentación anexa a la presente solicitud se encuentra una descripción detallada de la metodología que se prevé utilizar dentro del proyecto.

#### El estado de desarrollo entre las empresas de la competencia.

Actualmente, dentro del sector de la Ingeniería y Consultoría relacionada con la hidrología y la gestión de recursos hídricos no existe la oferta de una plataforma web específica que, basada en el tratamiento de imágenes satelitales, proporcione una información automática y permanente que sea capaz de aportar datos que mejoren la gestión y explotación de presas y embalses.

Si bien es cierto que se puede encontrar oferta de servicios de análisis bajo demanda de movimientos en terrenos y estructuras basados en técnicas InSAR, o estudios puntuales que proporcionan medidas de parámetros de calidad del agua en base a técnicas de Teledetección, en ningún caso estos servicios integran un dato tan relevante como el estado del manto nival ni contemplan la visión global e integrada de los tres elementos que trata **EMB-SAT**: Movimientos, Manto Nival y Calidad del Agua.

Cabe destacar, por último, que la competencia no ha conseguido desarrollar hasta la fecha ninguna plataforma web que, en base a técnicas de teledetección y de forma automática y permanente, proporcione información integrada de las tres áreas mencionadas (Movimientos, Manto Nival y Calidad del Agua) con el objeto de ayudar a mejorar la seguridad y la explotación de presas y embalses.

#### Antecedentes científico-técnicos y necesidad tecnológica del proyecto.

El seguimiento permanente de los movimientos en las obras de contención y en los terrenos que las circundan es una actividad fundamental de cualquier órgano responsable de la explotación de embalses. El control de los movimientos en las presas se hace principalmente en base a la instalación de sistemas instrumentales que realizan, de forma automática, la auscultación de múltiples parámetros que definen el comportamiento de la estructura. Estos sistemas, a su vez, se ven complementados con campañas de medición topográfica que determinan, principalmente, los movimientos que se producen en la coronación de la presa. Por último, las laderas del embalse, en aquellos casos en los que, previamente, se ha detectado algún movimiento relevante suelen ser monitorizadas de forma periódica a través de campañas topográficas o mediante la instalación de

instrumentación específicamente diseñada para la detección de movimientos del terreno. En este sentido las técnicas InSAR (Interferometría de imágenes SAR) y más concretamente el método Persistent Scatterer Interferometry o PSI, se ha demostrado como una herramienta muy útil para la medición de desplazamientos en terrenos y estructuras a un coste muy inferior al que presentan las técnicas mencionadas anteriormente.

En la determinación del balance hidrológico de una cuenca, la cuantificación de las reservas de agua en forma de nieve es fundamental para determinar la disponibilidad y aportes de agua en la parte alta de las cuencas. Actualmente, los métodos más extendidos para la determinación del equivalente agua de la masa de nieve acumulada se basan principalmente en la realización de campañas de medición muy costosas ya que requieren el desplazamiento de personal técnico a puntos, en muchos casos, de difícil acceso. Estas campañas pueden ser complementadas con datos aportados por estaciones nivométricas o telenivómetros instalados en emplazamientos concretos. Finalmente, toda la información debe ser tratada a través de un Modelo de Nieve especialmente calibrado para el área en estudio que es el que finalmente aporta los resultados relativos al volumen de agua almacenado en forma de nieve. En este sentido, las técnicas de teledetección permiten obtener información de la distribución espacial y características del manto nival donde las mediciones de campo son más costosas en tiempo y recursos económicos. El manto nival se caracteriza por su alto albedo, fácilmente medible con los sensores multiespectrales ópticos, y en el caso de la temperatura, el contraste térmico también puede utilizarse para determinar la presencia de nieve. Su estimación con imágenes de tipo SAR, se basa en la fuerte absorción de la señal de retrodispersión del sistema radar. La información de ambos sistemas, se pueden combinar para analizar la evolución de las reservas de agua en forma de nieve.

El control de la calidad de las aguas almacenadas en los embalses es una actividad muy relevante para los organismos encargados de su gestión ya que, su posible contaminación puede implicar importantes afecciones, o revelar la presencia de vertidos que pongan en peligro el medioambiente. El seguimiento y evaluación de los parámetros de calidad de las masas de aguas superficiales requieren de campañas de campo regulares para el muestreo in situ que suponen un coste elevado, y en muchos casos dificultades de acceso y logística. Por otro lado, existen numerosos estudios de teledetección aplicados a la calidad de las aguas que ponen de manifiesto la capacidad que poseen los sensores remotos para controlar ciertos parámetros de calidad de la masa de agua, con los que hacer el seguimiento de su estado con una resolución temporal y espacial adecuada (Ritchie y Cooper, 2001, Doña et al. 2011).

Podemos concluir así que, el desarrollo de las herramientas que permitan obtener resultados precisos y fiables en relación al movimiento de terrenos y estructuras, manto nival y calidad de las aguas en base a técnicas de teledetección radar o multiespectral, supondría reducir costes de operación y resolver importantes necesidades tecnológicas, todo ello de gran utilidad para cualquier responsable de la seguridad y explotación de presas y embalses.

## **El estado del arte.**

### Movimiento del terreno y estructuras:

Las tecnologías basadas en el método Persistent Scatterer Interferometry (PSI) son formas avanzadas de DInSAR. En otras palabras, el interferograma está en el núcleo de la PSI. La diferencia fundamental es que las tecnologías PSI se desarrollan múltiples interferogramas a partir de una pila de imágenes de radar. Como mínimo, generalmente se requieren 15 escenas de radar para los métodos de PSI, aunque existen circunstancias en las que se puede realizar un análisis con menos imágenes (generalmente en áreas urbanas). Sin embargo, debe tenerse en cuenta que cuanto más escenas de radar haya disponibles, más precisos serán los resultados.

La causa principal que llevó para el desarrollo de PSI (Ferretti, Prati, & Rocca, Permanent Scatterers in SAR Interferometry, 2001) fue la necesidad de superar los errores introducidos en los valores de fase de señal por artefactos atmosféricos. Al examinar varias imágenes, generalmente un mínimo de 15 escenas, se generan muchos interferogramas (en este caso 14 interferogramas) seleccionando una de las escenas como maestra a la que las otras 14 escenas se convierten en esclavas. El proceso mediante el cual se logra la eliminación de los efectos atmosféricos implica buscar en las imágenes y los interferogramas píxeles que muestren una amplitud estable y una fase coherente en todas las imágenes del conjunto de datos. Se les conoce como Persistent Scatterers (PS). Por lo tanto, se identifica una cuadrícula escasa de objetivos puntuales caracterizados por altas relaciones señal / ruido (SNR) en un área de interés en la que se puede realizar el procedimiento de corrección atmosférica. Una vez que se eliminan estos errores, se puede crear un historial de movimiento para cada objetivo.

### Manto Nival:

Para identificar la presencia de nieve con imágenes multiespectrales ópticas, se aplican índices normalizados que consisten en combinaciones aritméticas de las bandas de los sensores, generalmente en el visible e infrarrojo cercano y medio (Dozier, 1989; Alonso y Moreno, 1969; Vargas et al., 2009; Rott, 1994; Hall et al., 1987; Jacobs et al., 1997). En cuanto a la temperatura de la superficie terrestre se pueden aplicar diferentes metodologías que utilizan las bandas que operan en la región térmica (Sobrino et al., 2004; Jimenez et al., 2009; Avdan y Jovanovska, 2016). Por último, Salcedo y Cogliati (2014), analizaron la combinación de datos térmicos del sensor Landsat TM y del satélite SAR ERS-2 para realizar el seguimiento de la cobertura nival en zonas de alta montaña con resultados positivos.

Las técnicas más habituales para detectar cobertura nivales con imágenes radar SAR se basan en el uso de dos imágenes de la zona de estudio: la imagen a analizar de la temporada de nieve y otra de referencia del periodo sin cobertura de nieve (Koskinen et al., 1997; Hallikainen et al. 2001; Nagler y Root 2005; Luojus et al., 2009; Schellenberger et al. 2012). Además, se pueden establecer umbrales de retrodispersión para diferenciar diferentes tipos de nieve: nieve húmeda o nieve congelada (Floricioiu y Rott, 2001).

### Calidad del Agua:

Existen numerosos estudios de teledetección aplicados a la calidad de las aguas que ponen de manifiesto la capacidad que poseen los sensores remotos para controlar ciertos parámetros de calidad de la masa de agua, con los que hacer el seguimiento de su estado con una resolución temporal y espacial adecuada (Ritchie y Cooper, 2001, Doña *et al.* 2011).

El estudio de la calidad de las aguas continentales mediante teledetección se basa en la cuantificación de aquellas sustancias disueltas o partículas en suspensión que modifican las propiedades ópticas de las masas de agua. Las masas de aguas absorben y transmiten la mayor parte de la energía que reciben, siendo en las longitudes de ondas más largas del espectro óptico donde presentan mayor absorción, la reflectividad disminuye desde el azul visible al rojo visible y hacia el infrarrojo cercano y SWIR, la reflectancia es prácticamente nula. La presencia de turbidez (orgánico e inorgánico), modifica ésta respuesta espectral característica del agua pura, y por tanto, dependiendo de la proporción de partículas orgánicas e inorgánicas presentes, la respuesta espectral del agua se verá modificada en una u otra región del espectro, siendo esta variación susceptible de ser captada en imágenes adquiridas a través de sensores remotos (Domínguez *et al.* 2011).

### **Ventajas e innovaciones tecnológicas de EMB-SAT:**

Cabe destacar que los aspectos diferenciales más relevantes del proyecto **EMB-SAT** son:

#### A- Movimientos en terrenos y estructuras:

El seguimiento permanente de los movimientos que afectan tanto a la obra de contención como a los terrenos circundantes son fundamentales a la hora de evaluar la seguridad de presas y embalses. Aunque los métodos tradicionales de auscultación instrumental proporcionan una información muy precisa y valiosa para estos fines no es menos cierto que, en ciertas ocasiones, son métodos que bien por razones técnicas o por motivos económicos, se nos revelan como inviables. Disponer de un seguimiento de estos movimientos a través de procedimientos de análisis de imágenes satelitales de tipo radar supone no solo la posibilidad de recopilar la información a un coste muy inferior si no, también, la posibilidad de hacer análisis de zona mucho más extensas o de realizar estudios retrospectivos relativos a comportamientos pasados de una estructura.

#### B- Cuantificación del manto nivoso:

En la determinación del balance hidrológico de una cuenca, la cuantificación de las reservas de agua en forma de nieve es fundamental para determinar la disponibilidad y aportes de agua en la parte alta de las cuencas. Las técnicas de teledetección permiten obtener información de la distribución espacial y características del manto nival donde las mediciones de campo son más costosas en tiempo y recursos económicos. El manto nival se caracteriza por su alto albedo, fácilmente medible con los sensores multiespectrales ópticos, y en el caso de la temperatura, el contraste térmico también puede utilizarse para determinar la presencia de nieve. Su estimación con imágenes de tipo SAR, se basa en la fuerte absorción de la señal de retrodispersión del sistema radar. La información de ambos sistemas, se pueden combinar para analizar la evolución de las reservas de agua en forma de nieve.

### C- Informes de Calidad del Agua:

El seguimiento y evaluación de los parámetros de calidad de las masas de aguas superficiales requieren de campañas de campo regulares para el muestreo in situ que suponen un coste elevado, y en muchos casos dificultades de acceso y logística. Existen numerosos estudios de teledetección aplicados a la calidad de las aguas que ponen de manifiesto la capacidad que poseen los sensores remotos para controlar ciertos parámetros de calidad de las masa de agua, con los que hacer el seguimiento de su estado con una resolución temporal y espacial adecuada y con un coste muy inferior al de las técnicas de medición mas tradicionales.