

**CONAMA 2024**

CONGRESO NACIONAL DEL MEDIO AMBIENTE

# Innovaugas 4.0 - Reto 1

Sistema integral de información hidrológica para una gestión avanzada de los recursos hídricos en la Demarcación Hidrográfica Galicia-Costa



# CONAMA 2024

INNOVAUGAS 4.0 - RETO 1: SISTEMA INTEGRAL DE INFORMACIÓN HIDROLÓGICA PARA UNA GESTIÓN AVANZADA DE LOS RECURSOS HÍDRICOS EN LA DEMARCACIÓN HIDROGRÁFICA GALICIA-COSTA

---

**Autor Principal:** Almudena Rodríguez Vila (AQUATEC, PROYECTOS PARA EL SECTOR DEL AGUA)

**Otros autores:** Rubén Enrique Benavides González (TRAGSA); María Herranz Montes (AQUATEC, PROYECTOS PARA EL SECTOR DEL AGUA); Ramón Piñeiro Bella (AQUATEC, PROYECTOS PARA EL SECTOR DEL AGUA)

## 1. TÍTULO

Innovaugas 4.0 - Reto 1: Sistema integral de información hidrológica para una gestión avanzada de los recursos hídricos en la Demarcación Hidrográfica Galicia-Costa.

## 2. RESUMEN

La herramienta *Aquasost 4.0* es la solución diseñada para hacer frente a uno de los retos identificados por Aguas de Galicia en su proyecto *Innovaugas 4.0*: la mejora de la gestión integral de sus recursos hídricos que le ayude a cumplir con sus competencias como organismo de cuenca en un contexto de alta incertidumbre marcada, entre otros, por los efectos del cambio climático.

## 3. INTRODUCCIÓN Y ANTECEDENTES

Aguas de Galicia es el organismo de cuenca de la Comunidad Autónoma de Galicia. Sus competencias van desde la gestión del dominio público hidráulico en el ámbito territorial de la Demarcación Hidrográfica Galicia-Costa (en adelante, DHGC), así como la planificación, ejecución de obras y explotación de infraestructuras en todo el territorio de Galicia. Abarcar todas estas competencias implica la necesidad de la gestión de la ingente cantidad de información existente relacionada con el ciclo del agua. La **gestión integral del agua** es una tarea compleja ya que implica el trabajo con una gran cantidad de datos provenientes de diferentes fuentes y formatos. Además, el territorio de la DHGC es muy heterogéneo, tanto por la diversidad en el comportamiento hidrológico e hidráulico de sus cuencas, como por la dispersión geográfica de su población. A toda esta complejidad desde el punto de vista de la gestión se suma la incertidumbre y los riesgos asociados a los fenómenos del cambio climático.

El proyecto *Innovaugas 4.0* (<https://innovaugas.xunta.gal>) es una iniciativa de Aguas de Galicia para intentar buscar una solución a la problemática descrita y de forma estratégica: buscar la mejora tecnológica para la solución de los problemas públicos a partir de la mejora de la competitividad empresarial. Para ello, se ha basado la financiación del proyecto en la **compra pública de innovación (CPI)**. Esta financiación bebe de la *Línea de Fomento de la Innovación desde la Demanda para la Compra Pública de Innovación* (la Línea FID) del Ministerio de Ciencia e Innovación. *Innovaugas 4.0*, como proyecto seleccionado en el marco de esta Línea FID, está cofinanciado en un 80% por el Fondo Europeo de Desarrollo Regional 2014-2020 (FEDER). El proyecto cuenta con un presupuesto global elegible de 7 millones de euros, de los cuales 5,6 M€ se destinaron a la CPI.

*Innovaugas 4.0* se estructura en tres retos diferentes para abordar las principales problemáticas a las que se enfrenta Aguas de Galicia como gestor de recursos hídricos:

- Reto 1: Sistema integral de información hidrológica para una gestión avanzada de los recursos hídricos.

- Reto 2: Fortalecimiento de las capacidades de preparación y adaptación al cambio climático.
- Reto 3: Economía circular en el ciclo integral del agua.

## 4. RETO 1

El diseño de la solución para cada uno de los retos en los que se estructura *Innovaugas 4.0* fueron canalizados por su correspondiente proceso de licitación pública. En el caso del Reto 1, los pliegos fueron publicados en febrero de 2022 bajo el título “Servicio para el desarrollo, implantación y validación de una infraestructura integrada de recopilación, procesado e interpretación de datos que permita agregar y explotar toda la información existente procedente de distintas fuentes, de forma coherente, ampliando el conocimiento de las cuencas y apoyando la toma de decisiones para la reducción de presiones e impactos con la incorporación de tecnologías digitales de última generación”. Los trabajos fueron adjudicados a la UTE formada por las empresas Viaqua, Gestión Integral de Augas de Galicia, SAU y Fundación Instituto Tecnológico de Galicia (UTE Viaqua-ITG). En esta UTE colaboraron varias empresas entre las que se encuentra AQUATEC Proyectos para el sector del agua, S.A.U., quien redacta el presente comunicado. Los trabajos fueron finalizados en mayo del 2024.

## 5. OBJETIVOS

La solución al Reto 1 se materializó en una herramienta digital denominada *Aquasost 4.0*. Esta plataforma se tuvo que adaptar a una serie de condicionantes requeridos por Aguas de Galicia. Entre ellos, la arquitectura tecnológica y funcional de la herramienta tendría que:

- Permitir la **gestión integral y análisis inteligente (IA)** de aquella información considerada de interés para la **ayuda de toma de decisiones** de Augas de Galicia, ya sean datos propiedad del mismo organismo de cuenca, de la Xunta de Galicia o de terceras fuentes de carácter abierto.
- Ser **abierto** para que en el futuro fuese posible la integración de datos externos de terceros e, incluso, la incorporación de información proporcionada por la ciudadanía.

## 6. AQUASOST 4.0

Esta plataforma se estructura en 5 módulos diferentes para dar respuesta a todos los objetivos del Reto 1 (*Presiones e Impactos, Caracterización Hidromorfológica, Visor del riesgo de cianobacterias, Datahub y Calidad*). Incluye además un *Dashboord* donde se representan los indicadores y métricas más relevantes de todos los módulos de análisis (excepto “Datahub”).

Este panel informativo es la primera visualización de la herramienta que obtiene el usuario una vez que accede a la plataforma a través de su identificación.

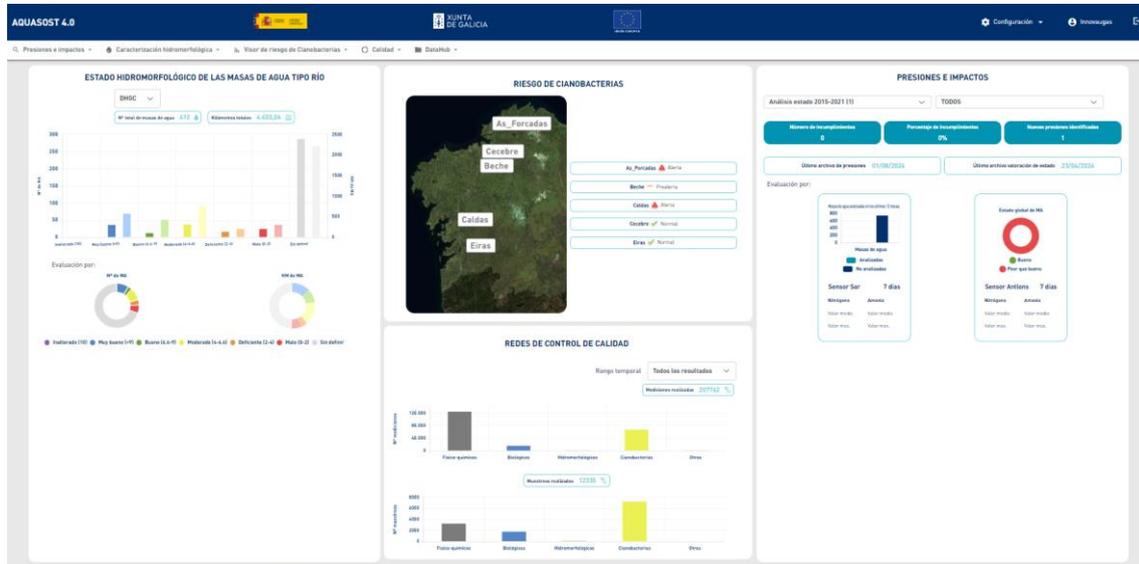


Figura 1. Dashboard o panel informativo de Aquasost 4.0

La plataforma se ha diseñado para el uso por parte de usuarios con diferentes roles. Esta funcionalidad será interesante para los diferentes permisos que a Aguas de Galicia le pueda interesar otorgar, tanto a personal interno como externo.

En general, la interfaz de los módulos de análisis consta de un panel con información gráfica en la margen izquierda (visor) y un panel con información alfanumérica asociada en la margen derecha. A continuación, se describen las características y funcionalidades principales de cada uno de los módulos de la herramienta.

## Módulo “Datahub”

El primer paso en el diseño de *Aquasost 4.0* fue la recopilación y análisis de toda la información disponible, interna y externa a Aguas de Galicia, que tuviese interés para los objetivos establecidos. Esta información se concentra en este módulo gracias al uso de tecnologías optimizadas para cada tipo específico de datos existentes (PostgreSQL, InfluxDB, MinIO, MongoDB y Geoserver). Al mismo tiempo, en “Datahub” se estructuran las diferentes fuentes de datos en distintos silos de almacenamiento. Esto permite al usuario la búsqueda, visualización, carga y descarga de información de forma sencilla e intuitiva. Para estas funcionalidades “Datahub” se ha estructurado en dos partes diferenciadas:

- **Visor:** permite la consulta de las capas georreferenciadas incluidas dentro del “Datahub”, así como la carga externa de capas en formato *geojson* o como servicios WMS.

- Catálogo: permite la búsqueda y descarga de cualquier archivo incluido en el “Datahub” a través de diferentes filtros (nombre, tipo de silo, archivo y tags), así como la subida de nuevos archivos, creación de nuevos silos y tags que resulten de interés.

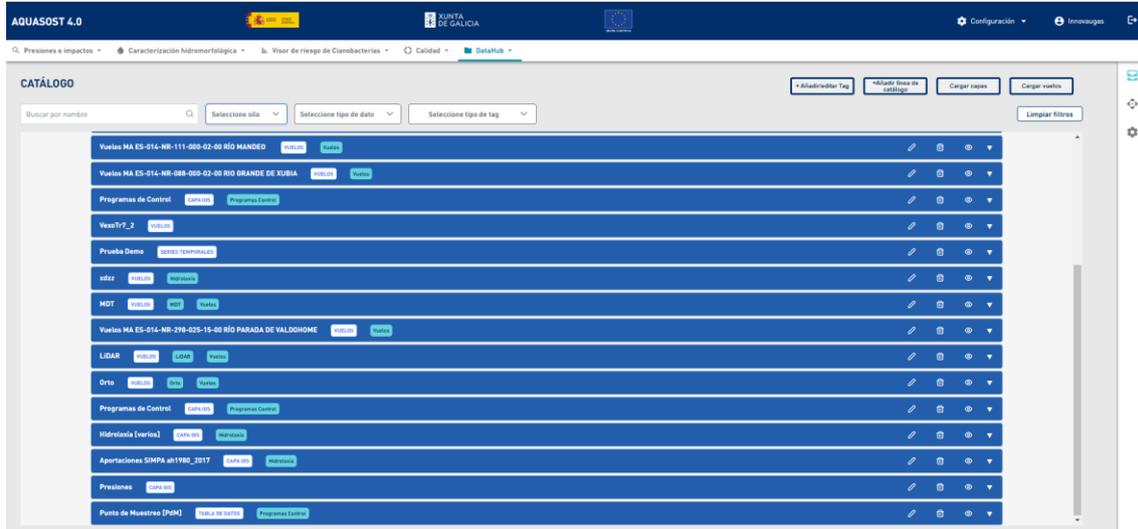


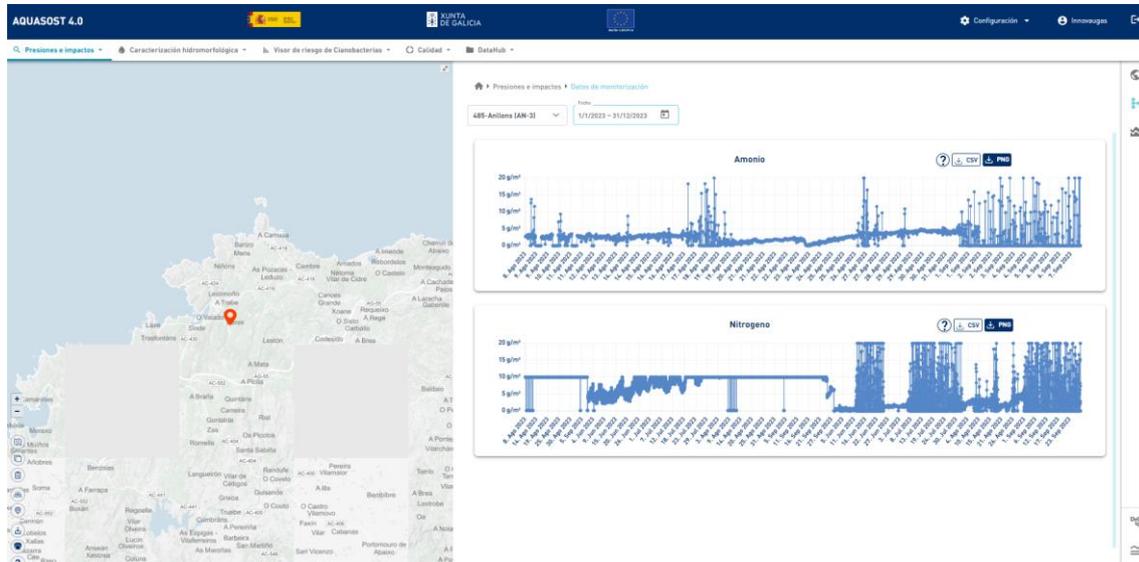
Figura 2. Catálogo del módulo “Aquahub”. Aquasost 4.0.

Una funcionalidad importante de este módulo es la actualización de los datos de origen del que dependen todos los procesos y análisis de la plataforma: las masas de agua. Esta información es revisada y actualizada en cada ciclo hidrológico (6 años), y de ella depende toda la planificación hidrológica de las demarcaciones hidrográficas. Para ello, se ha creado una funcionalidad de “Configuración” que permite actualizar las capas de las masas de agua.

## Módulo Visor de riesgo de cianobacterias

Este módulo tiene como objetivo predecir la aparición de eventos de *blooms* de cianobacterias que puedan poner en riesgo la calidad del agua de los principales embalses de la DHGC, permitiendo de esta manera la gestión preventiva de estos fenómenos. Por tanto, este módulo funciona como un **sistema de alerta temprana (SAT)**.

Esta predicción se consigue a través de la aplicación de modelos estadísticos que usan datos procedentes de la monitorización continua de la calidad del agua de los embalses, tanto a través de datos de satélite (estimación de la concentración de clorofila-a y cianobacteria), como a través de sondas multiparamétricas instaladas en boyas en los diferentes embalses.



**Figura 3.** Monitorización del punto de muestreo en el río Anllóns para el año 2023. Módulo de Visor del riesgo de cianobacterias. *Aquasost 4.0.*

El nivel o estado de riesgo de la floración algal para todos los embalses se mide en función de unos umbrales establecidos y determinan el estado de alerta.

**Cuadro 1.** Criterios del nivel de riesgo de *blooms* en embalses. *Aquasost 4.0*

| Concentración toxinas en agua ( $\mu\text{g/l}$ ) | Nivel de riesgo | Nivel de alerta |
|---|-----------------|-----------------|
| $C < 0,2$   | Bajo            | Normal          |
| $0,2 \geq C < 1$                                  | Medio           | Pre-alerta      |
| $C \geq 1$  | Alto            | Alerta          |

Fuente: Augas de Galicia

Las fuentes de información usadas en este módulo son las siguientes:

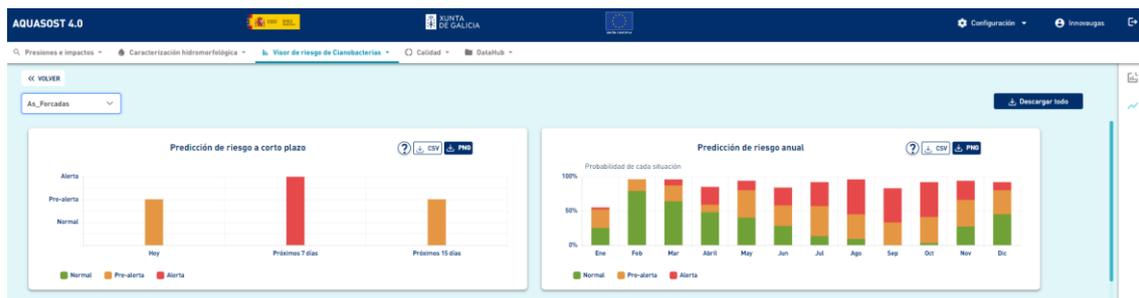
- La Red de Observación Ambiental de Galicia (ROAGA) cuenta con sensores que permiten el registro semanal de los datos (<https://gaia.xunta.es/plataforma/temas/agua/roaga>)
- Las boyas WiMo (de la casa comercial NKE), instaladas en el marco del proyecto próximas a los sensores del ROAGA para permitir la comparación de datos. Estas sondas multiparamétricas permiten el registro de los siguientes datos con frecuencia horaria: conductividad, temperatura, oxígeno disuelto, clorofila-a , ficocianina y pH.



**Figura 4.** Boyas multiparamétricas instaladas en el marco del proyecto en diferentes embalses

- El satélite *Sentinel 2* proporciona análisis regulares cada 5 días.

Estas fuentes de información multitemporales permiten hacer predicciones para cada embalse del estado de riesgo por cianobacterias a tres horizontes temporales: actual, semanal y quincenal.



**Figura 5.** Predicción de *blooms* en el embalse de As Forcadas. *Aquasost 4.0*.

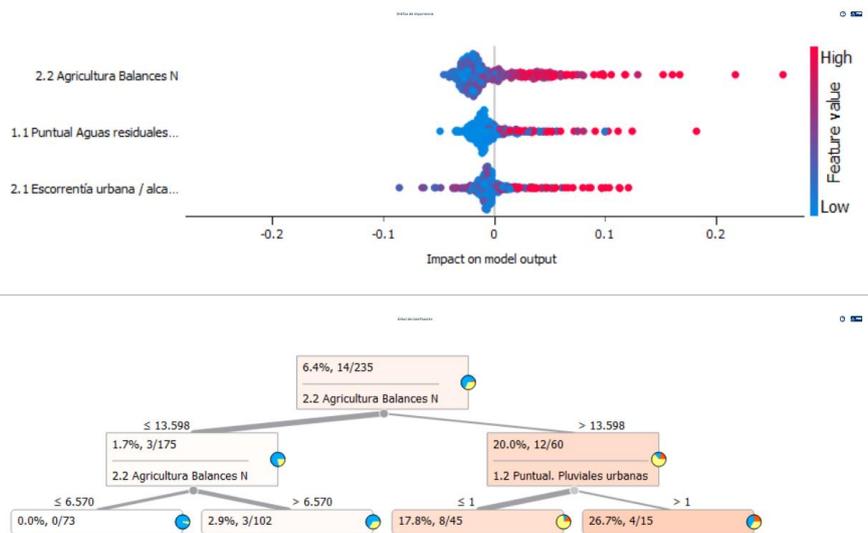
## Módulo Presión e Impacto

Este módulo tiene como objetivo principal ayudar a Augas de Galicia a interpretar la relación existente entre las presiones inventariadas y los impactos identificados en las masas de agua de la DHGC. El conocimiento de esta relación es clave para la planificación de un Programa de Medidas eficiente y eficaz.

A través de modelos estadísticos, calibrados y validados con los datos existentes, se intenta deducir qué presiones pueden estar provocando los impactos y en qué condiciones. Son relaciones complejas y multifactoriales, por eso se han incluido en el análisis factores que pueden influir en este proceso de degradación, como el tipo de masa de agua o la posición de esta.

Los modelos estadísticos tienen como resultado las probabilidades que tiene una presión de estar causando los incumplimientos identificados en el Programa de Seguimiento y Control de

cada ciclo hidrológico. Para ello, se analizan los incumplimientos de cada elemento de calidad y su relación con las presiones inventadas. Como resultado se obtienen 2 gráficos por elemento: un árbol de clasificación y otro de importancia. En el primer caso, se usa el algoritmo de árboles de clasificación donde el modelo selecciona las variables que mejor explican las valoraciones de estado y determina los umbrales críticos. En el segundo caso, para la obtención de los gráficos de importancia se usa el modelo de *random forest* donde se combinan los árboles de clasificación.



**Figura 6.** Análisis estadístico de la relación presión e impacto del  $\text{NO}_3$ . Árbol de clasificación (arriba) y árbol de importancia (abajo). Módulo Presiones e impactos. *Aquasost 4.0*.

Otras funcionalidades de este módulo son la consulta, gestión y descarga de la información relacionada con las presiones e incumplimientos de los Programas de Seguimiento y Control de cada ciclo hidrológico. Esta consulta y análisis también se puede hacer a través de la funcionalidad creada de "Gestión de proyectos", donde se permite la consulta de la información por masa de agua y por punto de muestreo.

| Punto Muestreo          | Estado Global | Incumplimiento Global | Estado Ecológico | Incumplimiento Ecológico | Estado Químico | Incumplimiento Químico | Observaciones Global | Estado Biol |
|-------------------------|---------------|-----------------------|------------------|--------------------------|----------------|------------------------|----------------------|-------------|
| ES0142                  | CW-03-10      | Sin datos             |                  |                          |                |                        |                      |             |
| ES0143                  | CW-03-20      | Sin datos             |                  |                          |                |                        |                      |             |
| ES01412                 | CW-12-10      | Sin datos             |                  |                          |                |                        |                      |             |
| ES-014-NR-244-020-01-00 | 14.906.03.040 | Buena a mejor         | Muy bueno        |                          | Buena          |                        |                      |             |
| ES-014-NR-244-020-17-00 | D_1074        | Poor que bueno        |                  | TBT                      | Buena          | Poor que bueno         |                      | TBT         |

**Figura 7.** Ejemplo de consulta de un punto de muestreo a través de la función “Gestor de proyectos”. Módulo Presiones e impactos. *Aquasost 4.0.*

Finalmente, en el caso de las presiones, el aplicativo permite la eliminación de presiones existentes y la carga de nuevas presiones.

## Módulo de Calidad

Este módulo funciona como punto central de gestión de la información procedente de las Redes de Control de la Calidad (RCC) de la DHGC, permitiendo además la alimentación de los otros módulos de análisis (excepto “Datahub”). Al estilo de los módulos anteriores, permite la visualización, consulta, carga y descarga de datos relativos a la RCC.

El módulo se ha estructura en 5 apartados correspondientes a los diferentes tipos de muestreos realizados en las masas de agua dentro de los Programas de Control de Calidad. Además de los muestreos habituales fisicoquímicos, biológicos, hidromorfológicos y cianobacterias, se ha añadido un apartado más para aquellos muestreos que se puedan realizar en campañas especiales. Con el fin de facilitar la consulta y análisis de esta gran cantidad y diversidad de información recopilada, el módulo la centraliza en torno al parámetro *Punto de muestreo*. Además, dentro del apartado denominado “Administración”, se estructura la información según los parámetros *Programa*, *Parámetro*, *Matriz*, *Fuente*, *Método de medición* y *Estación*.

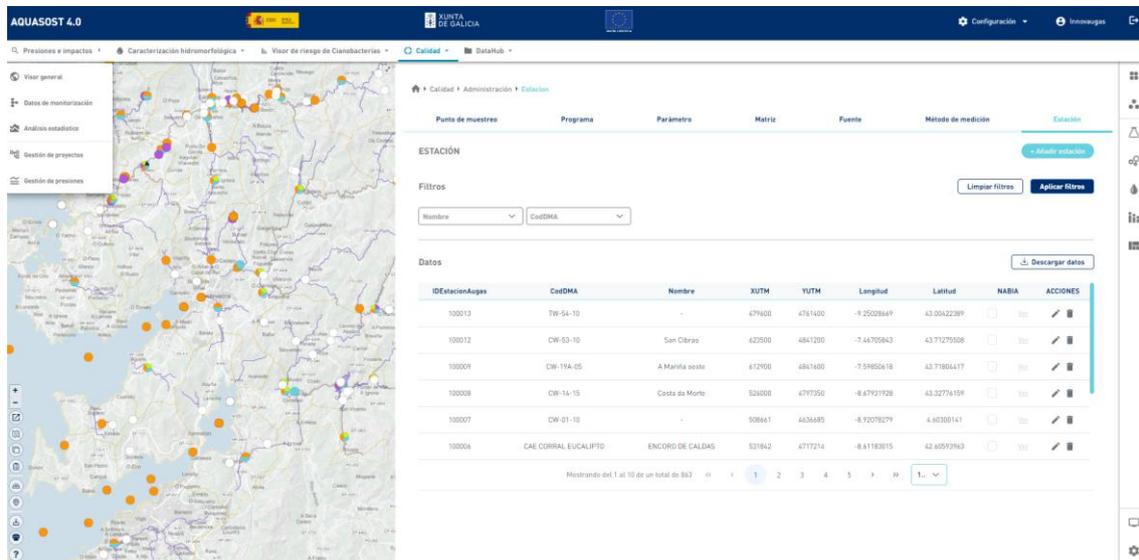


Figura 8. Funcionalidad de “Administración” dentro del módulo de Calidad. *Aquasost 4.0*.

El apartado “Configuración” permite consultar en todo momento la trazabilidad de la vinculación de los puntos de muestreo con las masas de agua. Esta funcionalidad se considera de especial interés ya que, tal como se ha mencionado anteriormente, las masas de agua son actualizadas cada ciclo hidrológico y sus puntos de muestreo también pueden verse modificados.

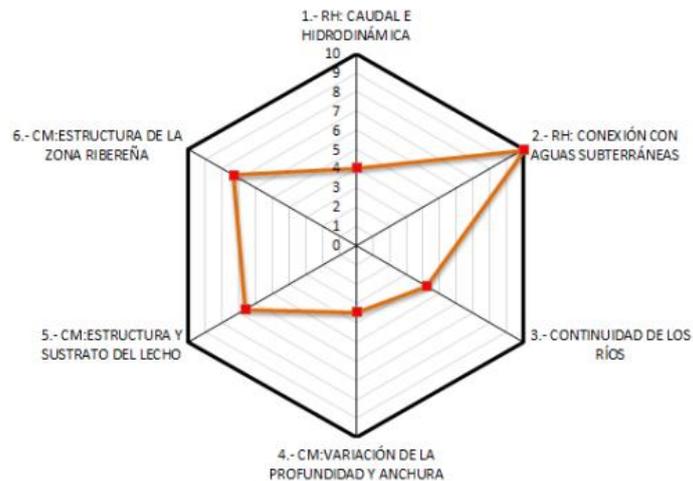
## Módulo Caracterización Hidromorfológica

La Directiva Marco del Agua obliga a que sus Estados miembros alcancen y mantengan sus masas de agua en buen estado. El estado de una masa de agua depende de su estado químico y ecológico. El estado ecológico lo define, a su vez, el peor de los estados biológico, fisicoquímico e hidromorfológico. Los módulos anteriores se han centrado en la gestión y análisis de la información recopilada para el cálculo del estado de las masas de agua, pero no en el cálculo de estado directamente. Este aplicativo, sin embargo, se presenta además como una **herramienta de cálculo** y de preconfiguración de la información necesaria para la determinación del estado hidromorfológico.

Los trabajos y cálculos necesarios para la caracterización del estado hidromorfológico están establecidos por los protocolos publicados por el anterior Ministerio para la Transición Ecológica a través de la Instrucción del Secretario de Estado de Medio Ambiente el 22 de abril de 2019:

- *Protocolo de Caracterización Hidromorfológica de masas de agua de la categoría Ríos. Código: M-R-HMF-2019*
- *Protocolo para el Cálculo de Métricas de los indicadores hidromorfológicos de las masas de agua categoría Río. Código: MET-R-HMF-2019*

El resultado final de la caracterización hidromorfológica es un hexágono donde cada vértice representa cada uno de los seis elementos hidromorfológicos que la determinan, tal como se representa en la siguiente figura.



**Figura 9.** Niveles y tipos de trabajos para el cálculo de los 6 indicadores hidromorfológicos (Protocolo MET-R-HMF-2019)

El estado de cada uno de estos indicadores viene determinado por los umbrales definidos en la *Guía para la evaluación del estado de las aguas superficiales y subterráneas*, publicada a través de la Instrucción del Secretario de Estado de Medio Ambiente el 14 de octubre de 2020. De esta manera el estado hidromorfológico puede ser “muy bueno”, “bueno”, “moderado”, “deficiente” o “malo”. El valor del estado hidromorfológico está definido por el peor valor de los 6 vértices del hexágono, siguiendo el principio “uno fuera, todos fuera” de la Directiva Marco del Agua.

Los trabajos necesarios para la aplicación de los protocolos de caracterización mencionados dependen de trabajos de diferentes tipos (gabinete y campo) y realizados a diferente escala espacial (masa de agua, tramo y subtramo hidromorfológico). La información manejada en todos estos trabajos es muy numerosa y diversa (imágenes, tablas, textos o archivos georreferenciados).

| NIVEL DE TRABAJO PARA LA ELABORACIÓN DEL PROTOCOLO DE CARACTERIZACIÓN HIDROMORFOLÓGICA |                          |  |                  |
|--|--------------------------|--|------------------|
| NIVEL  | INDICADOR                | ELEMENTO DE CARACTERIZACIÓN  | TRABAJO          |
| MASA DE AGUA   | RÉGIMEN HIDROLÓGICO      | Régimen hidrológico de caudales líquidos                                 | GABINETE         |
|  |                          | Conexión con masas de agua subterránea y grado de alteración de la misma |                  |
|  |                          | Posibles fuentes de alteración del régimen hidrológico                   |                  |
| CONTINUIDAD DEL RÍO  |                          | Obstáculos y condiciones de paso   | GABINETE Y CAMPO |
|  |                          | Efecto barrera para las especies piscícolas                              |                  |
| TRAMO HIDROMORFOLÓGICO   | CONDICIONES MORFOLÓGICAS | Profundidad y anchura del cauce  | GABINETE Y CAMPO |
| SUBTRAMO DE MUESTREO   |                          | Estructura y sustrato del lecho  | CAMPO            |
|  |                          | Estructura de la zona ribereña   | GABINETE Y CAMPO |

**Figura 10.** Niveles y tipos de trabajos para el cálculo de los 6 indicadores hidromorfológicos (Protocolo M-R-HMF-2019)

En definitiva, el cálculo del estado hidromorfológico implica que Augas de Galicia disponga de una gran cantidad de recursos, especialmente si se tiene en cuenta que la DHGC es la demarcación hidrográfica con más km de masas de agua por unidad territorial de todo el Estado español. Este módulo nace de la necesidad de minimizar esta necesidad, buscando la **automatización**, en la medida de lo posible, de los trabajos asociados a la aplicación de los protocolos de caracterización mencionados.

Frente a este marco de trabajo complejo, se ha diseñado un aplicativo estructurado en submódulos de cálculo (*Tramificación, Revisión de imágenes y Cálculo de indicadores*). Por otro lado, se han incluido un apartado de *Consulta* y otro para la generación de *Informes*. En este último se puede obtener para una o para varias masas de agua un resumen de los resultados de la caracterización y propuestas de mejora para aquellos indicadores en un estado peor que bueno.

## INNOVAUGAS 4.0 - RETO 1: SISTEMA INTEGRAL DE INFORMACIÓN HIDROLÓGICA PARA UNA GESTIÓN AVANZADA DE LOS RECURSOS HÍDRICOS EN LA DEMARCACIÓN HIDROGRÁFICA GALICIA-COSTA

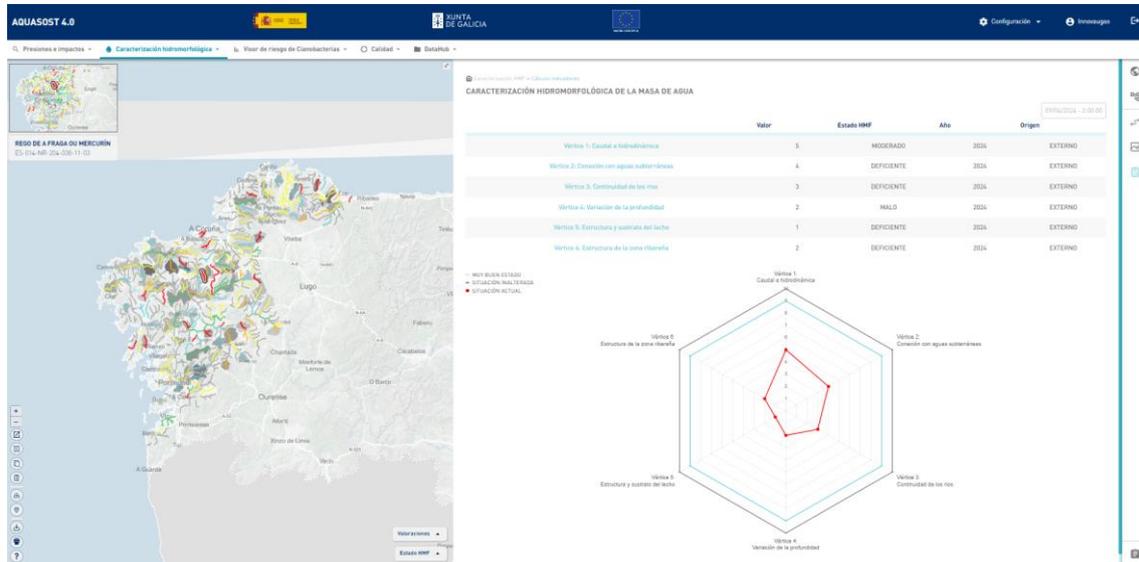


Figura 11. Ejemplo de consulta del estado hidromorfológico de una masa de agua. Módulo de Caracterización Hidromorfológica. *Aquasost 4.0*.

Estos submódulos de cálculo se han concentrado dentro de un apartado del aplicativo denominado *Proyectos*. Dentro de este apartado se pueden generar diferentes proyectos que pueden incluir una o varias masas de agua. Dentro de cada proyecto, se pueden eliminar o incluir nuevas masas de agua, consultar el estado del proceso de cálculo y el estado hidromorfológico calculado, así como descargar los datos generados. Es interesante resaltar que dentro de cada proyecto es posible hacer **cálculos masivos** de algunos indicadores sobre varias masas de agua a la vez, lo que agiliza los procesos de cálculo de forma significativa.

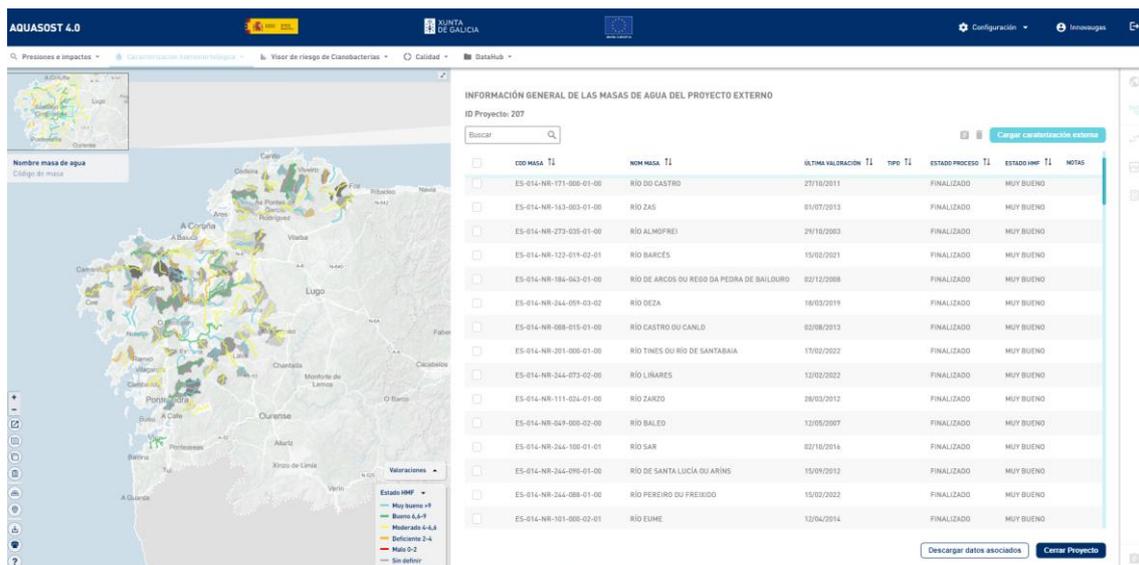
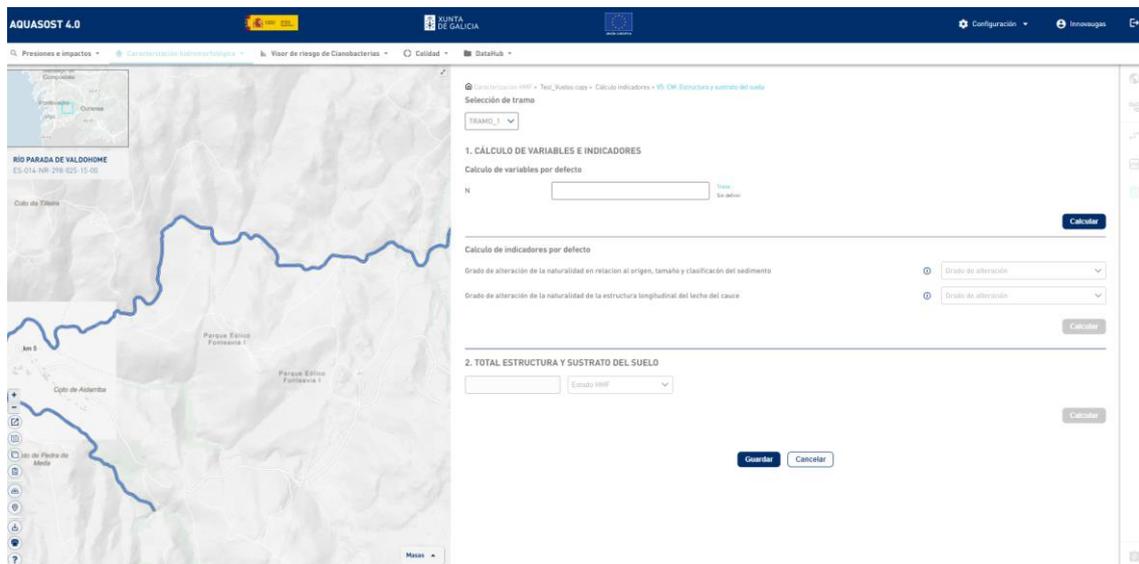


Figura 12. Apartado de *Proyectos* del Módulo de *Caracterización Hidromorfológica*. *Aquasost 4.0*.

A continuación, se describen más en detalle las funcionalidades de cada uno de los submódulos de cálculo.

### Submódulo de *Cálculo de indicadores*

La función de este submódulo es la de calcular los 6 indicadores hidromorfológicos. Aquellos indicadores que dependan de datos recogidos en campo necesitarán de los cálculos aportados por el submódulo de *Tramificación*. En el caso concreto del indicador referente a la *Estructura de la ribera*, necesitará de los cálculos del submódulo de *Revisión de imágenes*.



**Figura 13.** Ejemplo del cálculo del indicador nº5 (*Estructura y morfología del lecho*) dentro del Submódulo *Cálculo de indicadores*. Módulo de *Caracterización Hidromorfológica*. *Aquasost 4.0*.

### Submódulo de *Tramificación*

La definición del tramo y subtramo de muestreo es imprescindible para el cálculo del estado de los indicadores referentes a las condiciones morfológicas del cauce (Figura 10)

## INNOVAUGAS 4.0 - RETO 1: SISTEMA INTEGRAL DE INFORMACIÓN HIDROLÓGICA PARA UNA GESTIÓN AVANZADA DE LOS RECURSOS HÍDRICOS EN LA DEMARCACIÓN HIDROGRÁFICA GALICIA-COSTA

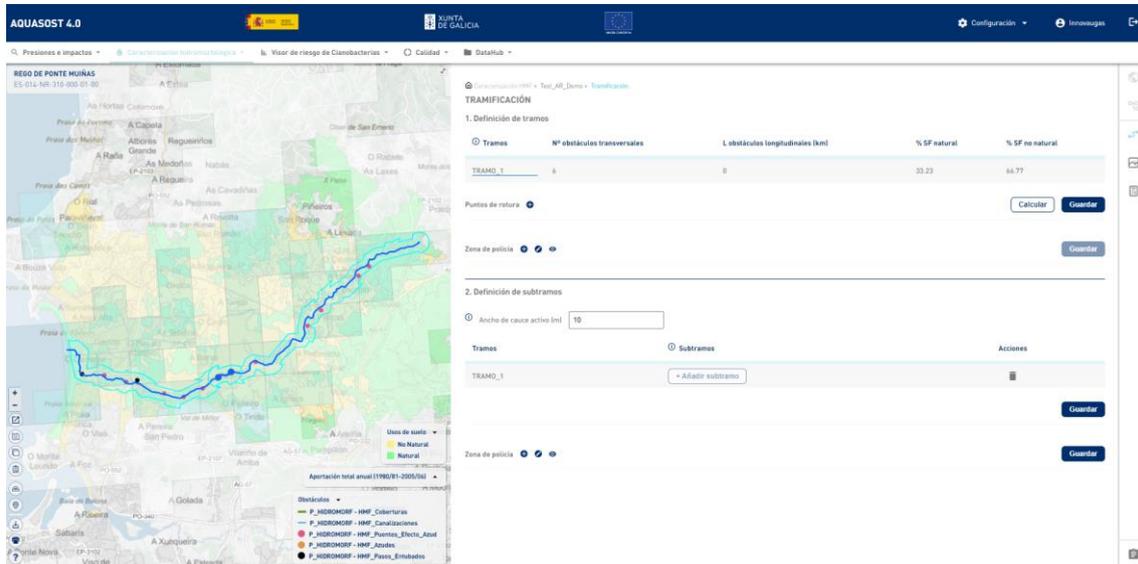


Figura 14. Ejemplo del cálculo del tramo y subtramo de caracterización de una masa de agua. Módulo de *Caracterización Hidromorfológica* - Submódulo *Tramificación*. *Aquasost 4.0*.

### Submódulo de *Revisión de imágenes*

Este aplicativo necesita que se haya tramificado previamente la masa de agua. Su objetivo es el cálculo de los parámetros necesarios para el cálculo del estado de la estructura de la vegetación de ribera, el cual se valora a nivel subtramo. Por otro lado, necesita de las imágenes obtenidas por vuelos dron donde, a partir de algoritmos entrenados, es capaz de identificar las especies presentes. Además, a partir de modelos digitales del terreno, es capaz de delimitar parámetros como la ribera funcional o identificar obstáculos.

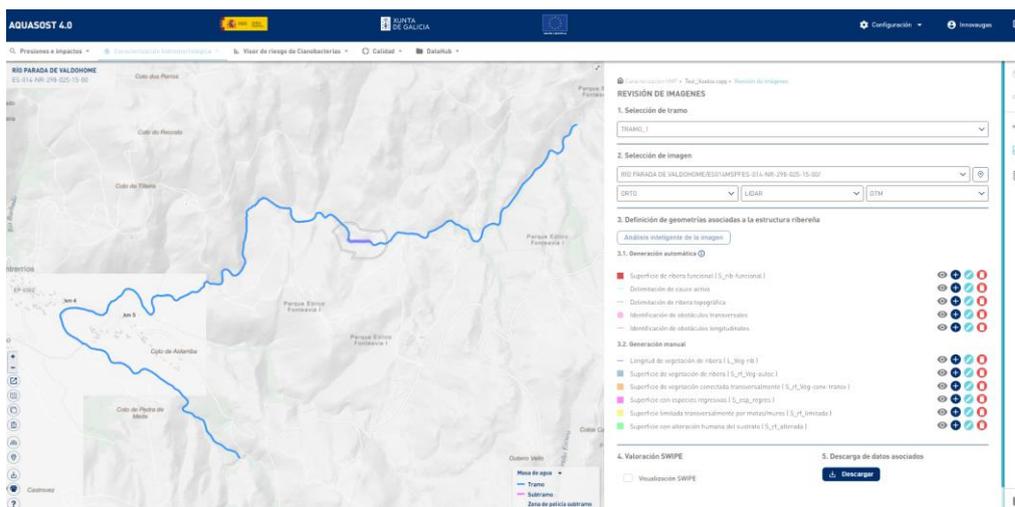


Figura 15. Ejemplo del cálculo de los datos necesarios para el cálculo de la estructura de la ribera. Módulo de *Caracterización Hidromorfológica*, Submódulo *Revisión de imágenes*. *Aquasost 4.0*.

## 7. BIBLIOGRAFÍA