

II Jornada Tècnica

Embassaments: Reserva i/o Defensa?



La Cuenca Mero-Barcés como Modelo de Laboratorio Natural para el Apoyo a la Gestión del Abastecimiento Urbano

Jordi Delgado Martín

*Grupo de Ingeniería del Agua y del Medio Ambiente
Universidade da Coruña*

Desarrollo Urbano Sensible al Agua

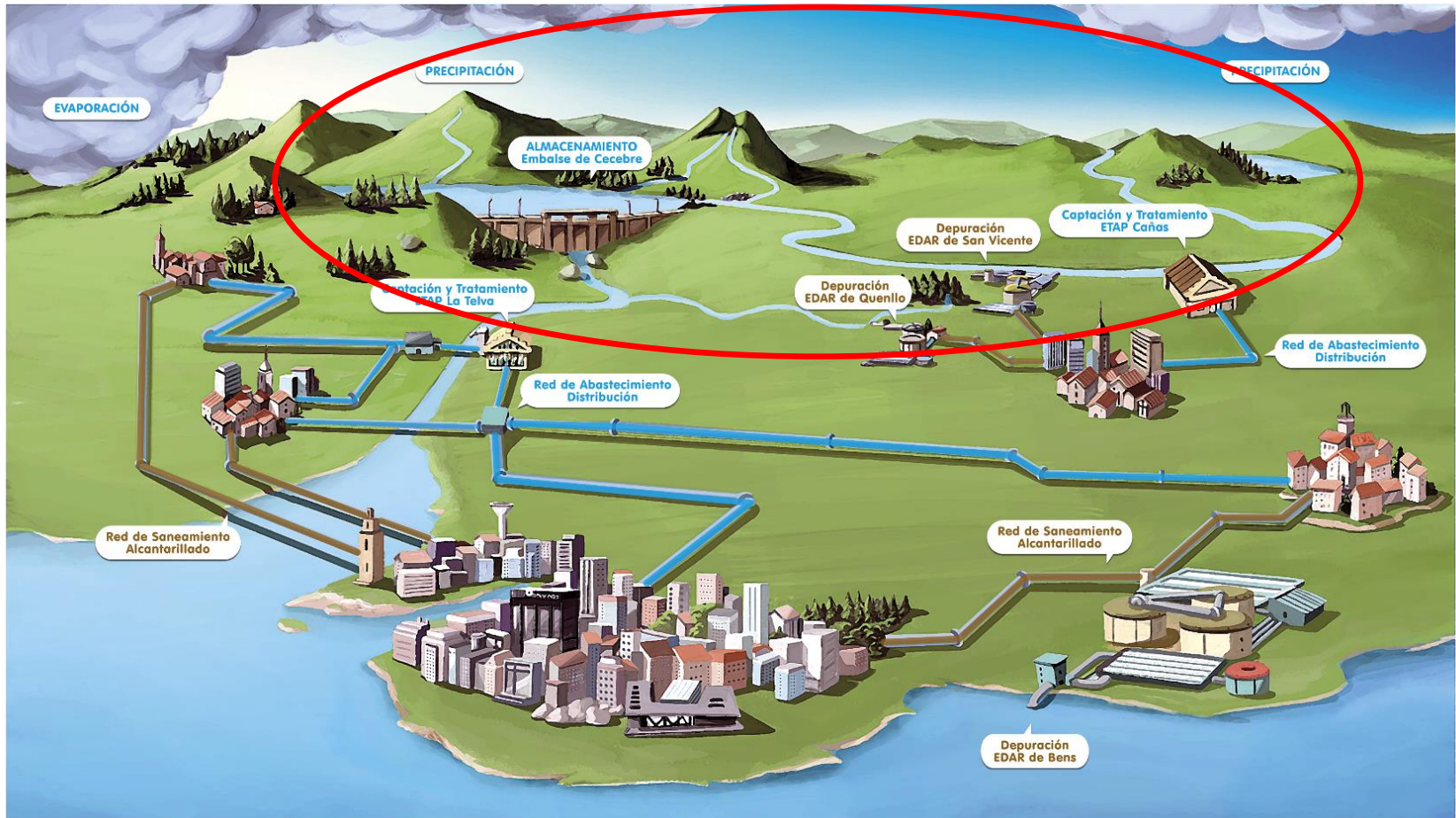
Ley 1/2022,
de 12 de julio,
de mejora de
la gestión del
ciclo integral
del agua
(CAG)



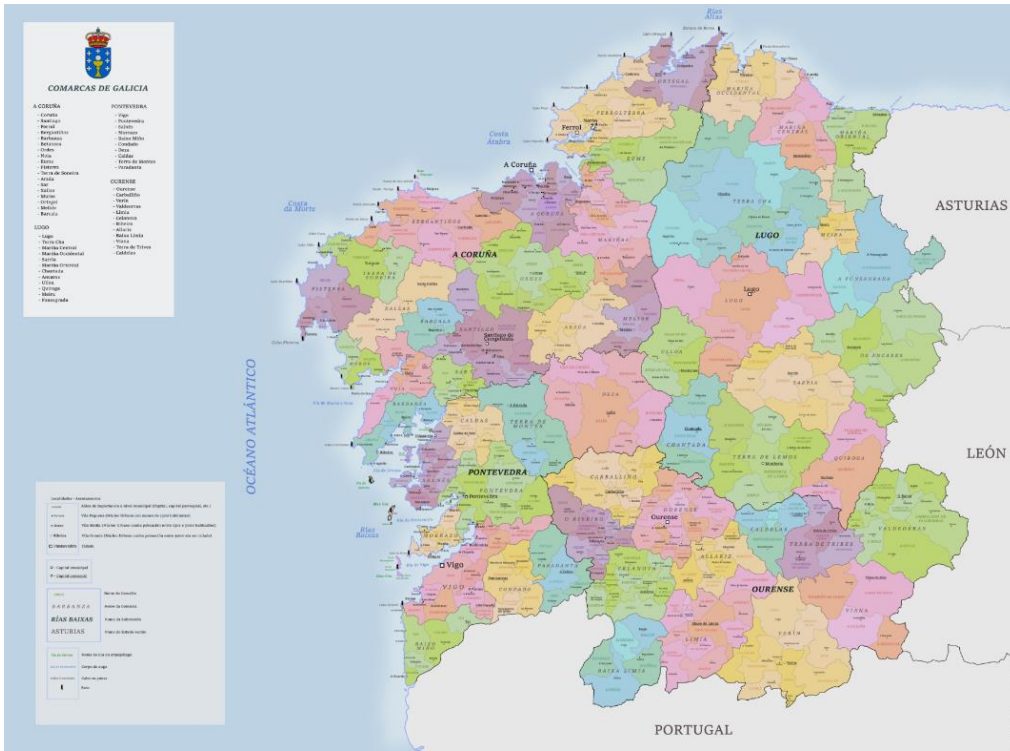
<https://www.catedraemalcsa.com/gestion-integrada-de-los-recursos-hidricos-en-el-sistema-de-agua-urbana-desarrollo-urbano-sensible-al-agua-dusa-como-enfoque-estrategico/>

... 'integración del planeamiento urbano en la gestión, protección y conservación del ciclo urbano del agua, de forma que se asegure una gestión del agua sensible a los procesos hidrológicos y ecológicos'

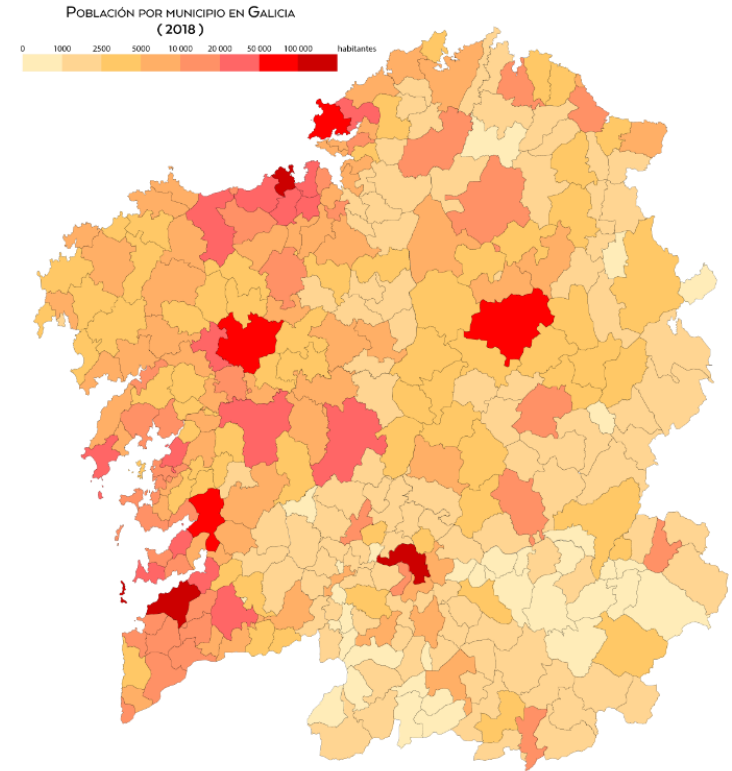
Marco Conceptual



Marco Territorial



Superficie de Galicia
29.575 km²



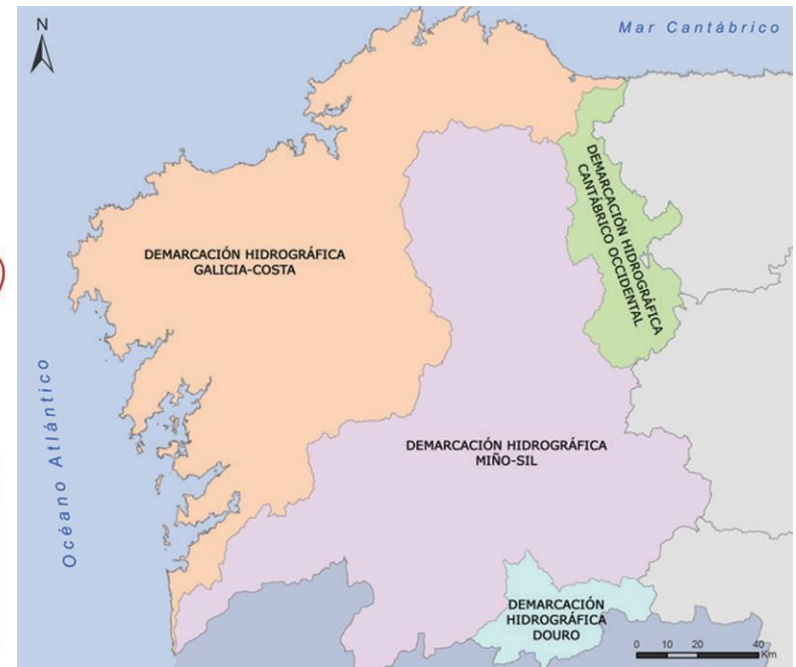
Población de Galicia
2.705.833 habitantes
(IGE, 2024)

Marco Organizativo

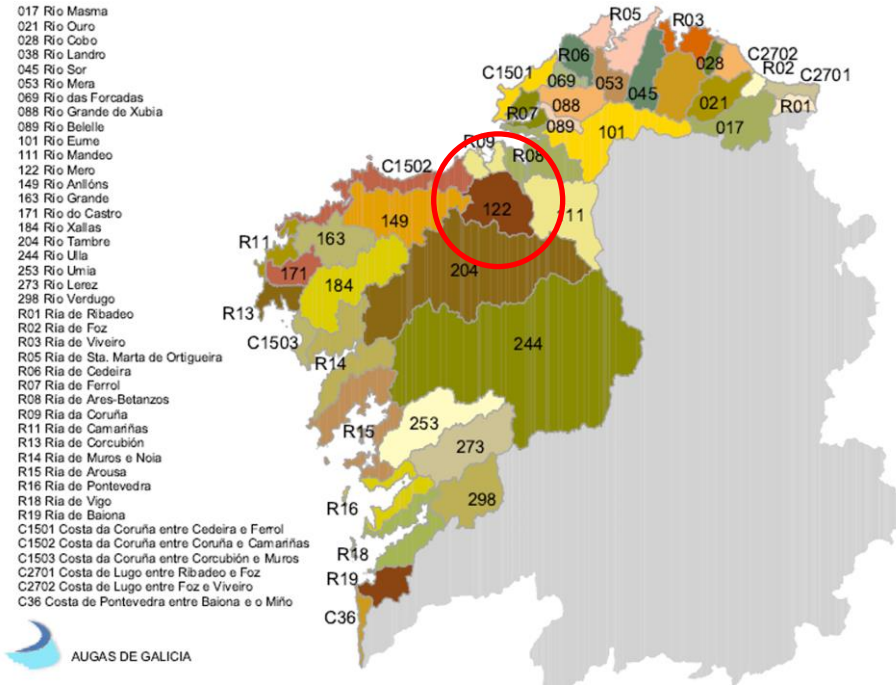
Galicia-Costa

12.991 km² y 2.036.665 habitantes

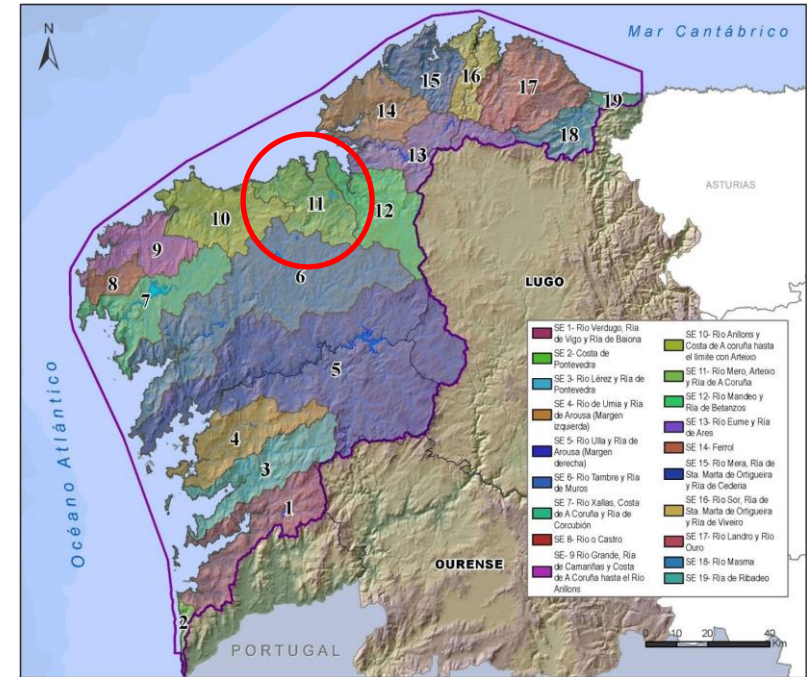
(Augas de Galicia, 2022)



Marco Organizativo



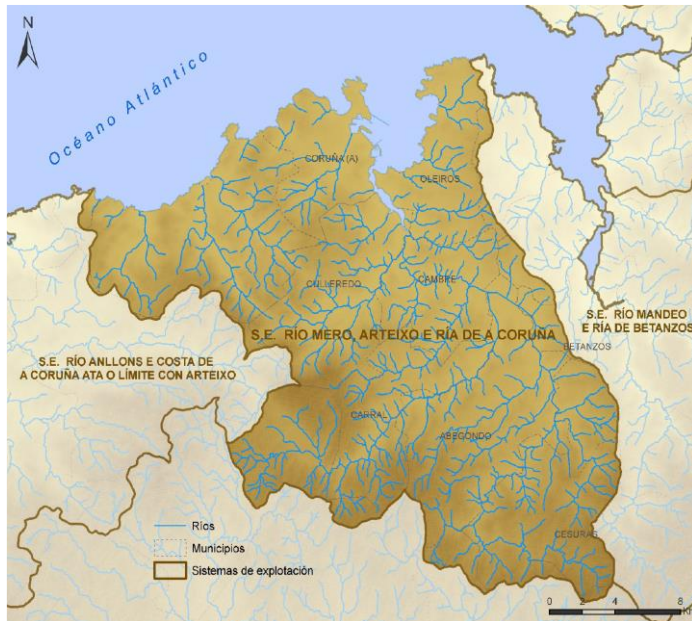
42 Cuencas y Subcuencas



19 Sistemas de Explotación

Marco Local

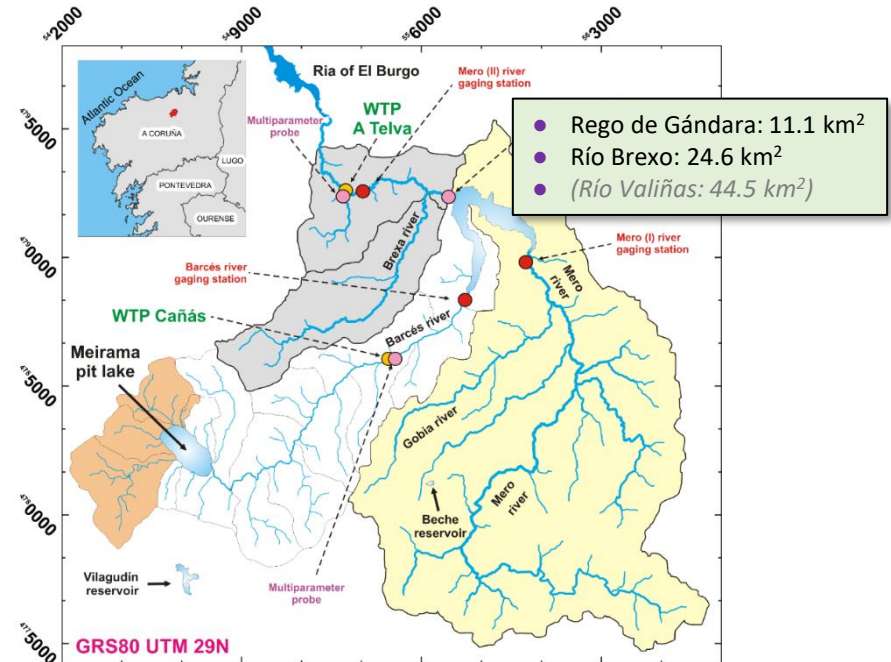
Sistema de Explotación nº 11 (Augas de Galicia, 2022)



535.3 km²

(Plan Hidrológico Galicia-Costa 2021-2027)

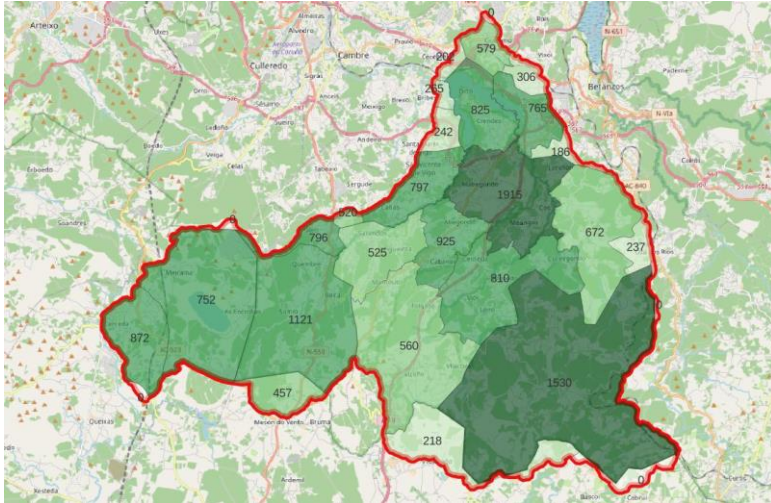
Cuenca Mero-Barcés



263.7 km²

(Plan Hidrológico Galicia-Costa 2021-2027)

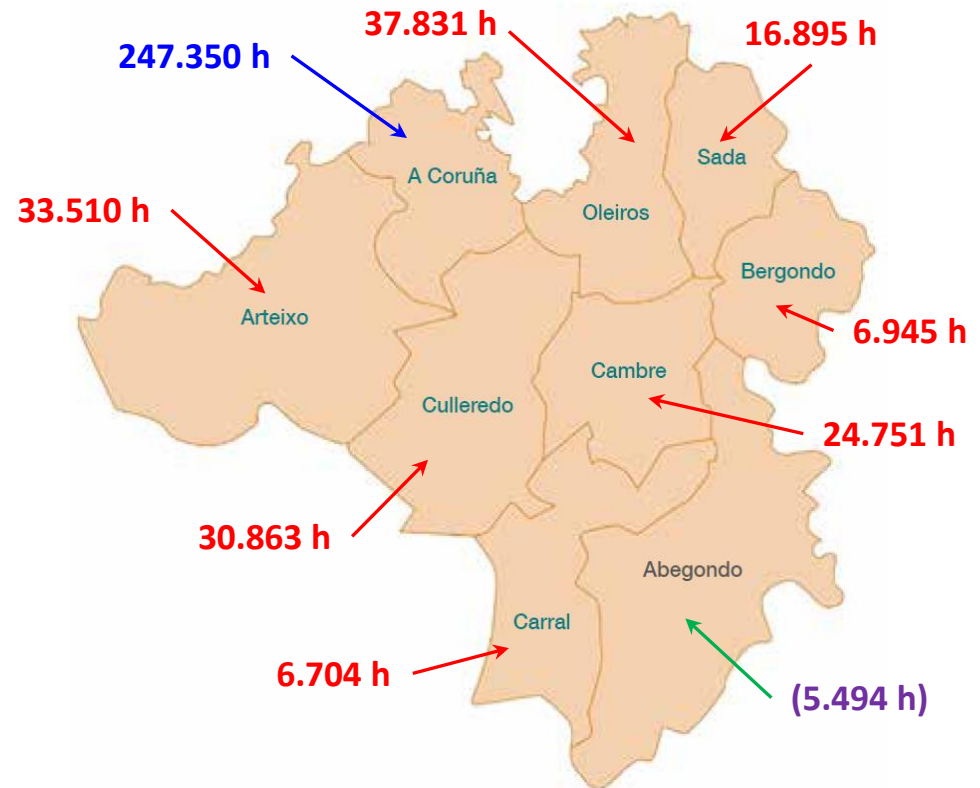
Marco Local



Población Cuenca Mero-Barcés

~16.077 habitantes

(Aprox. A. Varela con datos de censo 2020)



Suministro 2023: 404.875 habitantes

(Memoria Sostenibilidad EMALCSA, 2023)

Marco Local

Nº	Sistema de Explotación	Superficie (km ²)	t _c (h)	t _c (d)
5	Río Ulla y Ría de Arousa (margen dcha)	3061.02	36	1.50
6	Río Tambre y Ría de Muros	1930.56	28	1.17
1	Río Verdugo y Rías de Vigo y Bayona	750.95	17	0.71
17	Ríos Landro y Ouro	727.14	16	0.67
7	Rio Xallas, Costa de Coruña y Ría de Corcubión	664.5	15	0.63
10	Río Anllons y Costa de Coruña (hasta Arteixo)	663.15	15	0.63
3	Río Lérez y Ría de Pontevedra	629.85	15	0.63
12	Rio Mandeo y Ría de Betanzos	617.28	14	0.58
4	Río Umia y Ría de Arousa (margen izdo)	591.3	14	0.58
13	Río Eume y Ría de Ares	578.66	14	0.58
11	Río Mero, Arteixo y Ría da Coruña	535.3	13	0.54
14	Ferrol	526.36	13	0.54
9	Río Grande y ría de Camariñas	444.33	12	0.50
15	Río Mera y Rías de Ortigueira y Cedeira	420.05	12	0.50
16	Río Sor y Rías de Ortigueira y Viveiro	294.97	10	0.42
18	Río Masma	289.95	10	0.42
8	Río Ou Castro	153.29	8	0.33
19	Ría de Ribadeo	61.77	6	0.25
2	Costa de Pontevedra	50.45	6	0.25

Total	12990.88		
Media	683.73	14.42	0.60
Mediana	578.66	14	0.58
Mínimo	50.45	6	0.25
Máximo	3061.02	36	1.5

	Superficie (km ²)	t _c (h)	t _c (d)
Río Ter	3010	91.2	3.80
Río Llobregat	4948	98.4	4.10
Río Ebro	~86000	480	20

$$t_c(h) = 0.3 \times \left(\frac{L}{\sqrt{S}} \right)^{0.76}$$

L = longitud del cauce, km

A = superficie de cuenca, km²

$$L \approx 1.4 \times \sqrt{A}$$

$$S = 0.02$$

Témez, J R (1978) Generalización del Método Racional y Tiempos de Concentración. Dirección General de Carreteras. Revista Ingeniería Civil



Contexto

- % de **área ocupada** por la Cuenca Mero-Barcés

- 0.77 (cierre en presa) a 0.89% (cierre en ETAP) del área de Galicia

- % de **población abastecida** por las aguas de la Cuenca Mero-Barcés

- 14.9 % (del total de la CCAA)

- 19.7 % (del total de la demarcación Galicia-Costa)

- % de **población residente** en la Cuenca Mero-Barcés

- 0.6 % (del total de Galicia – CCAA)

- 0.8 % (del total de Galicia-Costa)

- 4.1 % (del total de la población abastecida)

La Cuenca del Mero-Barcés (con el embalse de Abegondo-Cecebre en su núcleo) es un entorno de importancia crítica...

Realidad

(Masa ES-014-MR-122-000-02-00 – Embalse de Abegondo-Cecebre)

2. ANÁLISE DE PRESIÓNS, IMPACTOS E AVALIACIÓN DO RISCO

PRESIÓNS SIGNIFICATIVAS

PUNTUAIS	Augas residuais urbanas (1.1)
DIFUSAS	Uso agrícola (2.2); Usos Gandeiros (2.10)
EXTRACCIÓNS	-
HIDROMORFOLÓX.	-
OUTRAS	-

PRESIÓNS POTENCIAIS

Puntual. Residuais urbanas; Puntual. Pluviais

IMPACTOS

Enriquecemento en materia orgánica; Enriquecemento en nutrientes

El PH reconoce un
RIESGO ALTO para esta
masa de agua...

RISCO

RISCO ALTO

Ficha Masas de Agua – Plan Hidrológico 2021-2027

(Augas de Galicia 2022)

Realidad

(Masa ES-014-MR-122-000-02-00 – Embalse de Abegondo-Cecebre)

3. AVALIACIÓN DO ESTADO E CUMPRIMENTO DE OMAs

Estado Total:	PEOR QUE BO	
Estado Ecológico:	Deficiente	Fitoplancton, fósforo, transparencia, osíxeno
Estado Químico:	Bo	-
Rías:	-	Zonas de Baño: - Deterioro: NON
Incumprimentos:	-	

PH 2009-2014:

Estado: PEOR QUE BO

Incumprimentos: fitoplancto , transparencia e Fósforo total

PH 2015-2021:

Estado: PEOR QUE BO

Incumprimentos: fitoplancto, Transparencia, Fósforo total e Osíxeno

El PH sugiere un estado
PEOR QUE BUENO para
esta masa de agua...

Ficha Masas de Agua – Plan Hidrológico 2021-2027

(Augas de Galicia 2022)

Realidad

(Masa ES-014-MR-122-000-02-00 – Embalse de Abegondo-Cecebre)

5. PROGRAMA DE SEGUIMIENTO

Código estación	Programa
14.RW.11.020	Vixilancia-Subprograma de Seguimento do Estado Xeral das Augas
14.RW.11.020	Operativo-Subprograma de control operativo xeral

... pero el PH no
proporciona medidas de
mejora significativas...

6. MEDIDAS PdM 2021-2027

Código Medida	Descripción
ES014.06.0012.00	<u>Diagnóstico da carga interna de nutrientes no sedimento dos encoros</u>
ES014.06.0009.00	<u>Implantación dun capturadoiro na presa de Cecebre</u>
ES014.06.0011.00	"Posta en marcha e seguimento das actuacións que dean solución aos problemas detectados no "Estudo das problemáticas que afectan ao estado ecolóxico dos encoros da demarcación de Galicia Costa"
ES014.06.0002.00	Seguridade de presas e encoros na DHGC
ES014.06.0014.00	Aprobación normas de explotación de presas e adaptación a novas normas técnicas de seguridade
ES014.05.0012.00	Redacción e implantación de plans de emerxencia en presas
ES014.07.0010.00	Calidade ambiental para a análise e xestión das redes de vixilancia e operativas definidas no Plan Hidrolóxico

Ficha Masas de Agua – Plan Hidrológico 2021-2027
(Augas de Galicia 2022)

Gestión del Agua

- Los PHs son herramientas de planificación útiles en su conjunto pero adolecen de falta de especificidad cuando tratan el abastecimiento.
 - Ley 1/2022, de 12 de julio, de *mejora de la gestión del ciclo integral del agua*.
 - Real Decreto 3/2023, de 10 de enero, por el que se establecen los *criterios técnico-sanitarios de la calidad del agua de consumo, su control y suministro*.
- La gestión tradicional de recursos hídricos se basa en reglas “*estáticas*”:
 - *Ciclicidad* del medio natural (*p. ej.* estacionalidad)
 - Previsión de contingencias basada en extremos recurrentes en el tiempo (*p. ej.* periodos de retorno).
 - Identificación de escenarios.
 - Buen conocimiento de las demandas.
- Pero el contexto se ha vuelto más exigente. Un Ejemplo...



Real Decreto-ley 20/2022, de 27 de diciembre, de medidas de respuesta a las consecuencias económicas y sociales de la Guerra de Ucrania y de apoyo a la reconstrucción de la isla de La Palma y a otras situaciones de vulnerabilidad.

Jefatura del Estado
«BOE» núm. 311, de 28 de diciembre de 2022
Referencia: BOE-A-2022-22685

Gestión del Agua

Proyecto de Bombeo Reversible: As Encrobas - Meirama



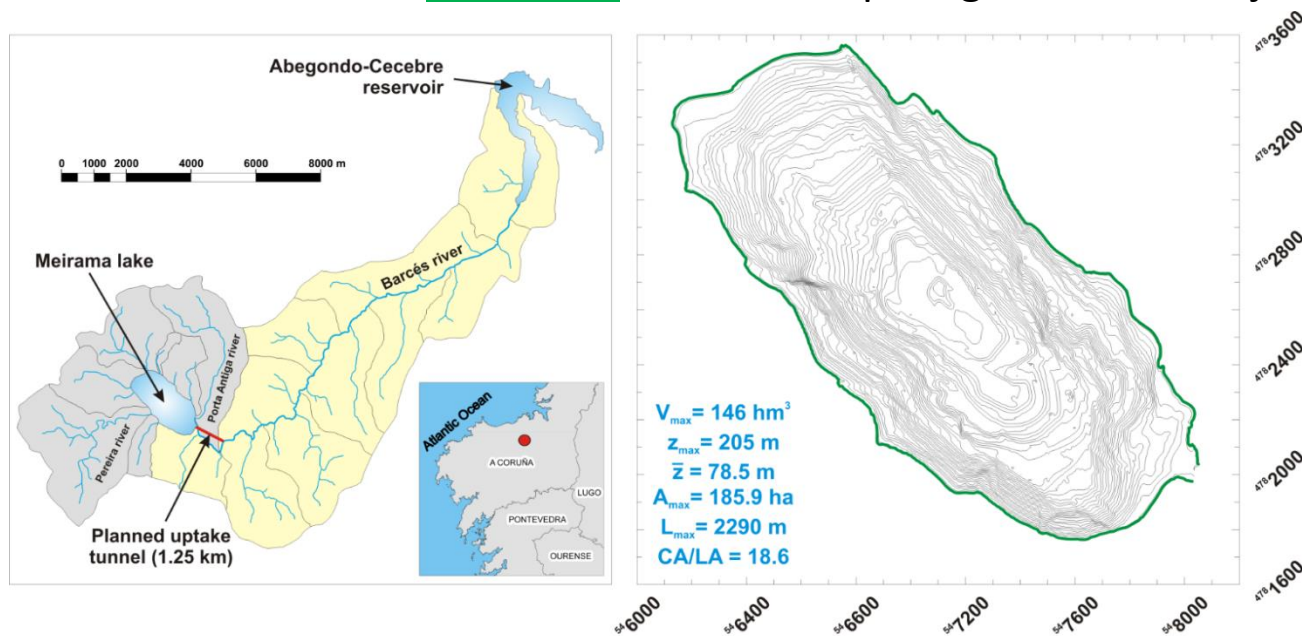
- **Promotor:** Coventina Renovables (**TASGA**)
- **Inversión:** 443,5 M€
- **Potencia:** 440 MW
- **Re-bombeo:** ~5,25 hm³
- **Declaración como PIE:** 1/9/2025

Gestión del Agua

- **Marco regulador** cada vez más exigente
 - *P. Ej. nuevas sustancias de interés, OMAs, transición energética...*
- **Interacción múltiple** entre los compartimentos del medio natural
 - *P. Ej. agua-flora-fauna-clima; necesidad de compatibilizar usos...*
- **Disponibilidad de medios** mejorada para escrutar el medio natural
 - *P. Ej. sistemas de medida y control, observación remota...*
- **Capacidad mejorada de análisis** y tratamiento de la información
 - *P. Ej. algoritmos y software, machine learning, deep learning, IA generativa...*
- **Recurrencia de fenómenos** con impactos adversos
 - *P. Ej. eutrofización, blooms algales, olor y sabor, incendios, vertidos...*
- **Mayor sensibilización social**
 - *P. Ej. escrutinio de la información pública; incremento del nivel de exigencia...*
- **Rol de los fenómenos globales** en las dinámicas locales
 - *P. Ej. ENSO-NAO-AMO, indicadores fenológicos...*

Auga desde a Orixe, AdO

- Los sistemas naturales son complejos y sus interacciones múltiples.
 - Agua + Sedimentos + Flora + Fauna → **Aproximación multidisciplinar**
- El ámbito de interés no es el DPH, sino la Cuenca Hidrográfica.
- Los factores que dan lugar a cambios adversos en el medio se solapan.
 - Presiones antrópicas, forzamiento climático...
- Debemos conocer cual es la resiliencia del sistema para gestionarlo mejor.





- Area (A_0) = 355 ha
- Volumen (V_0) = 20.9 hm³
- Profundidad máxima (z_{max}) = 17.8 m
- Profundidad media (V_0/A_0) = 5.9 m
- Longitud máxima (L) = 3627 m
- Máxima anchura (b) = 1525 m
- Anchura media (A_0/L) = 979 m
- Cociente CA:LA = 72.6
- Tiempo medio de residencia (R_T) = 1.6 meses

- Area (A_0) = 171 ha
- Volumen (V_0) = 148 hm³
- Profundidad máxima (z_{max}) = 205 m
- Profundidad media (V_0/A_0) = 86.5 m
- Longitud máxima (L) = 2218 m
- Máxima anchura (b) = 1011 m
- Anchura media (A_0/L) = 771 m
- Cociente CA:LA = 17.5
- Tiempo medio de residencia (R_T) = 84 meses



- Area (A_0) = 3.5 ha
- Volumen (V_0) = 0.27 hm³
- Profundidad máxima (z_{max}) = ~9 m
- Profundidad media (V_0/A_0) = ~7 m
- Longitud máxima (L) = 290 m
- Máxima anchura (b) = 215 m
- Anchura media (A_0/L) = 121 m
- Cociente CA:LA ≈ 0.01
- Tiempo medio de residencia (R_T) ≈ 1.5 meses



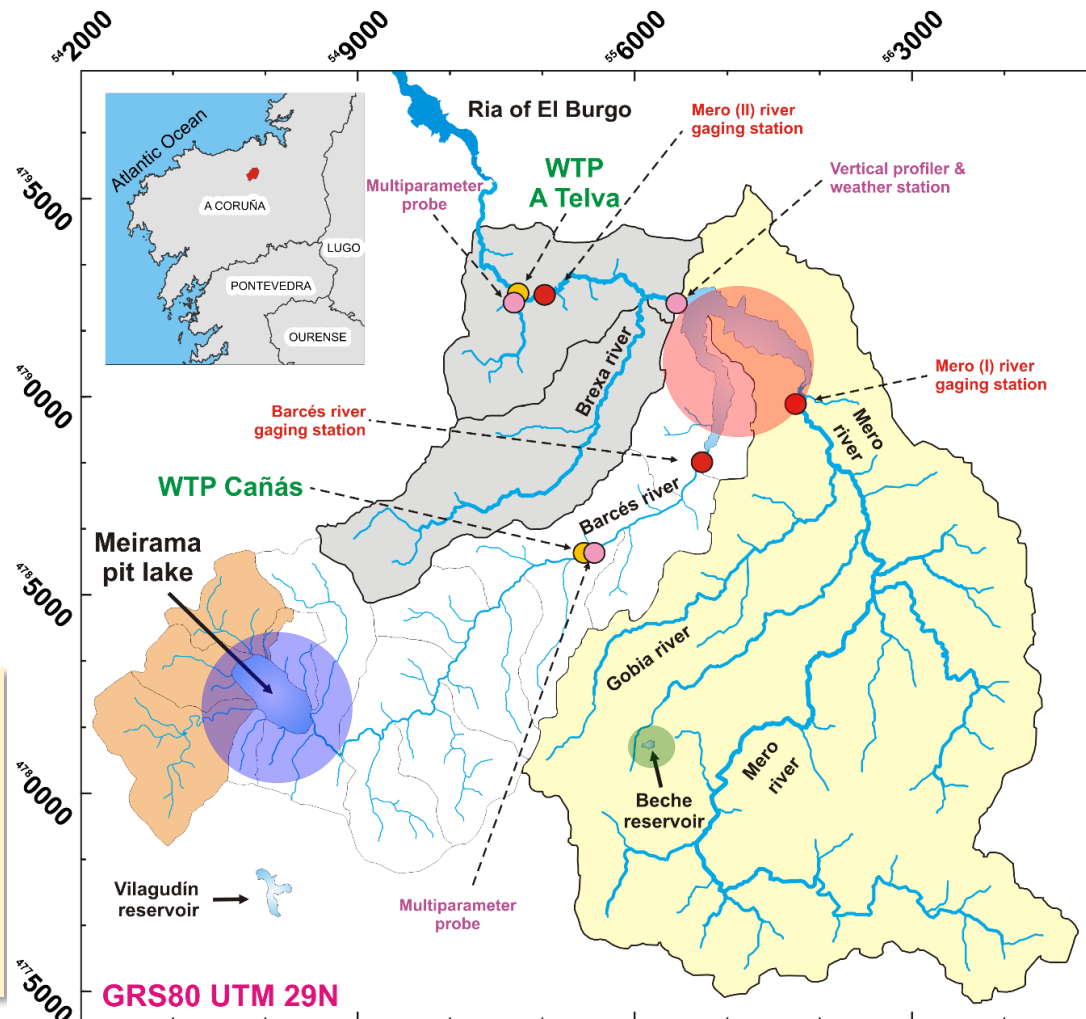
Actividades Precursoras

- **MICINN – Restauración de la mina de lignito de Meirama (2008-2011)**
 - Centrado en la limnología y calidad química del agua.
 - En colaboración con LIMEISA, ampliado a estudio multidisciplinar plurianual con *establecimiento de condiciones de referencia* y *seguimiento durante y tras el proceso de inundación* (periodo 2008-2018).
 - Entorno de trabajo extenso (cabecera y cuenca del río Barcés)
- **EU Life+ – AquaPlann Project (2009-2013)**
 - Batimetría y análisis de la colmatación del embalse de A-C
 - Primer estudio limnológico detallado del embalse de A-C
- **GAIN – WaterWatch (2016-2018)**
 - Calidad de agua y sedimentos en el río Mero, aguas debajo de la presa de Cecebre
- **EU – CFIS-Ecopharma (2014-2016)**
 - Tecnologías para la medida en medio natural de microcontaminantes y PPCPs
- **EU – A Coruña Smart City (2012-2014)**
 - Dotación instrumental para el embalse, ETAPs, ríos...
- **EU Life+ – Life Fluvial (2017-2021)**
 - Conservación de corredores fluviales atlánticos en la Red Natura 2000.

Actividades Precursoras



- **EMALCSA:** Red propia de seguimiento y control de las aguas naturales
 - Operativa desde 2014
 - Registros continuos de alta frecuencia desde 2018



Actividades Precursoras

Perfilador Automático Vertical



- Medidas subcontinuas a 2 m b.s. (5 min)
- 6 perfiles diarios (intervalo de 4 h)
- En los perfiles, $\Delta Hh = 0.5 \text{ m}$ (2 min/ Δh)

Sonda multiparamétrica



- Temperatura
- EC₂₅ (TDS, salinidad)
- pH
- ORP (E_H)
- DO₂ (sat. O₂)
- Turbidez
- F-DOM
- Clorofila (UFR)
- Ficocianina (UFR)
- Profundidad
- Otros parámetros calculados

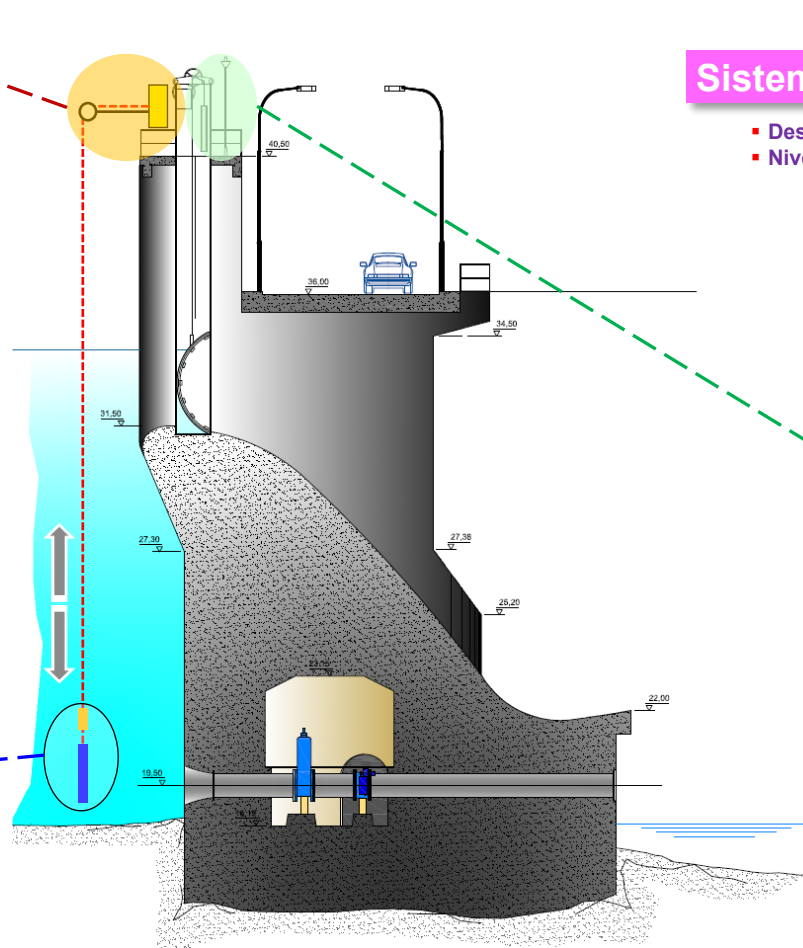
Sistema de Control de Presa

- Descarga
- Nivel de la lámina libre / profundidad

Estación Meteorológica



- Temperatura del aire
- Humedad relativa
- Presión atmosférica
- Precipitación
- Dirección del viento
- Velocidad del viento
- Radiación solar total
- Otros parámetros calculados



Proto - AdO



- **Proyecto EMALCSA-GLEON (2017-2021)**

- Integración del embalse de A-C en la red GLEON.
- Puesta a punto, operación y mantenimiento de la red de control del medio natural.
- Primeras actividades propias en el contexto de un programa plurianual de trabajo.

- Uso de *sensores remotos* multiespectrales y térmicos sobre drones (**3edata+ GEAMA**)
- Análisis e interpretación de *datos* (**GEAMA, Modes**)
- *Microcontaminantes* y contaminantes persistentes (**React!**)
- *Modelo hidrodinámico 3D* preliminar del embalse (**GEAMA**)



- Participación en iniciativas GLEON

- **EMLS:** European Multilake Survey
 - Estudio, a escala continental sobre los condicionantes de las eclosiones de cianobacterias
- **MetOx:** Methane in Oxidic Waters
 - Estudio global sobre la contribución de lagos y embalses a la generación de CH₄ y otros GEIs
- **FunAqua:** Fungi in Aquatic Systems
 - Estudio sobre la biodiversidad de hongos en sistemas acuáticos continentales
- **AbA:** Anoxia begets Anoxia
 - Estudio a nivel global sobre la dinámica de la anoxia en lagos y embalses
- **Galactic:** Global Lake Microplastics
 - Acumulación y flujo de microplásticos en lagos y embalses

AdO

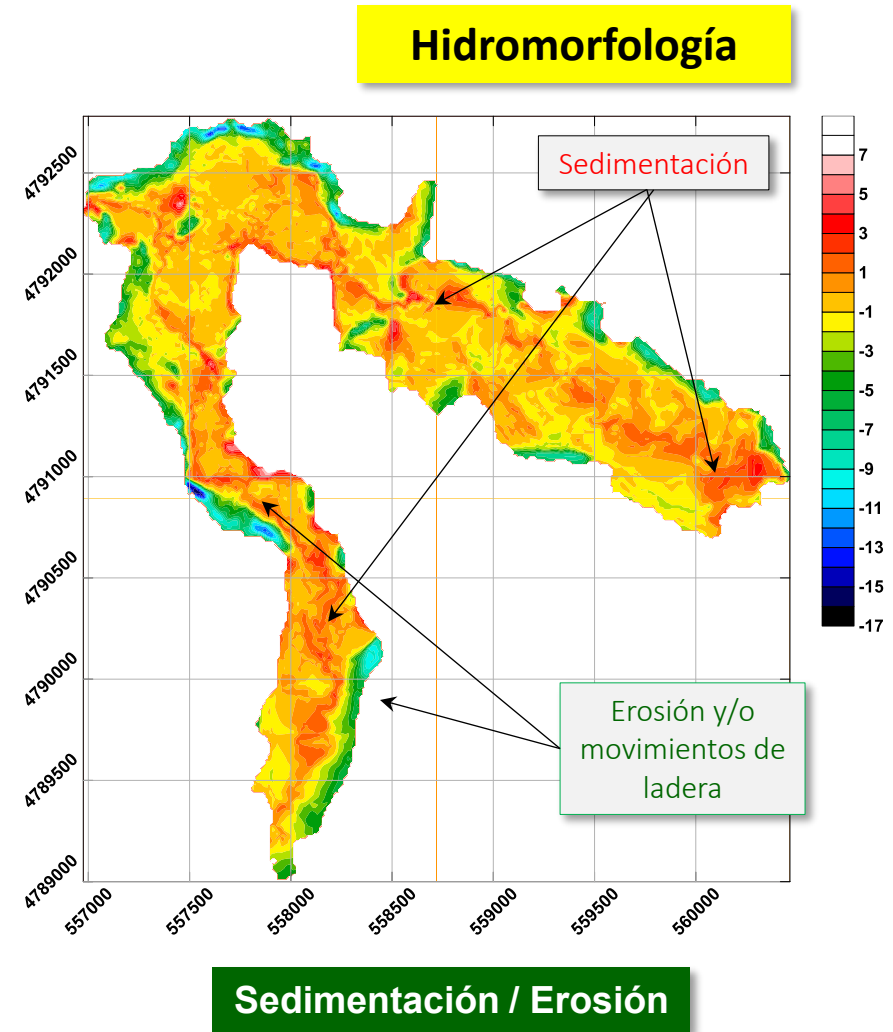
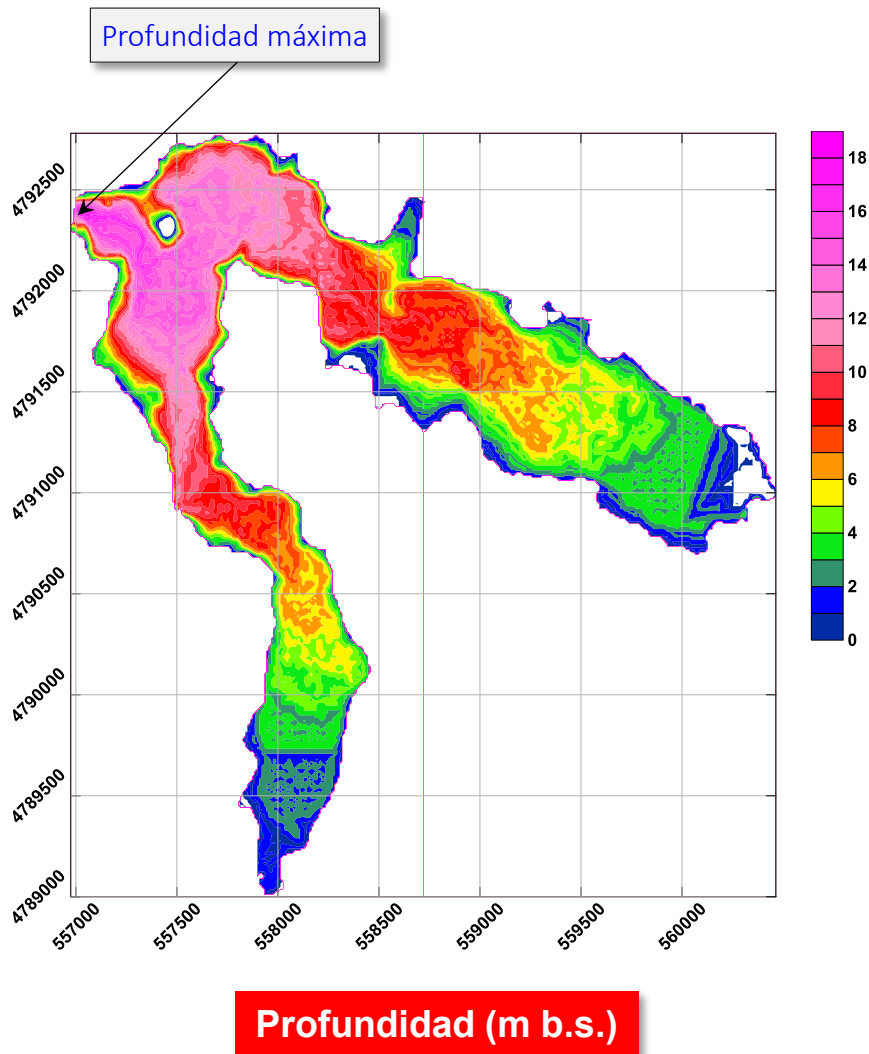
- **Proyecto EMALCSA - AdO (2022-2024)**

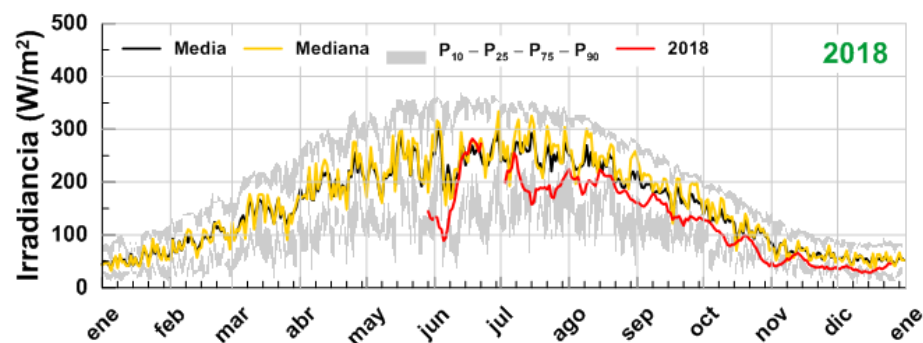
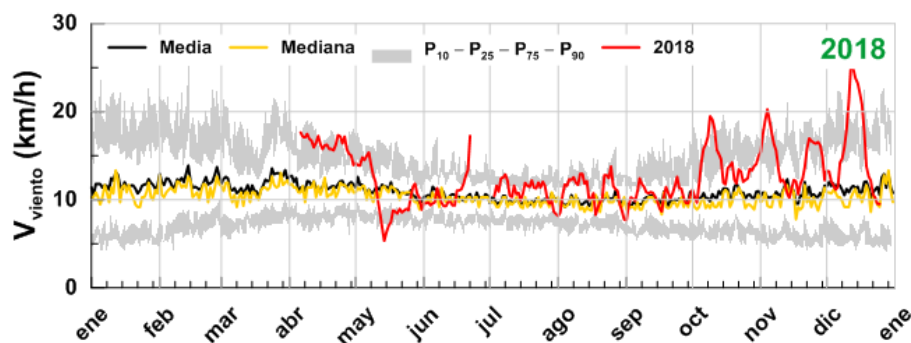
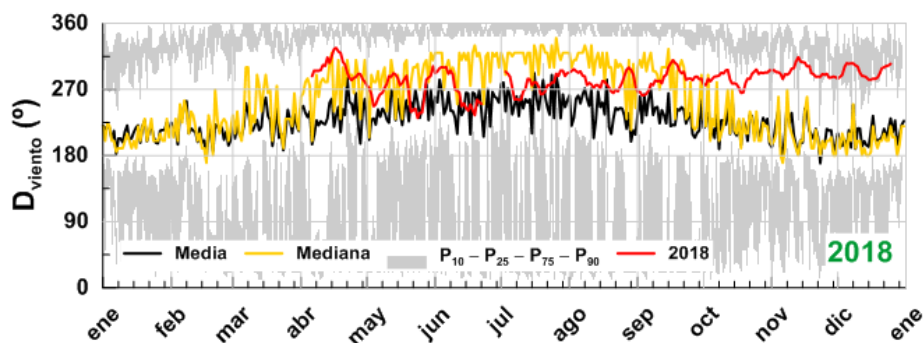
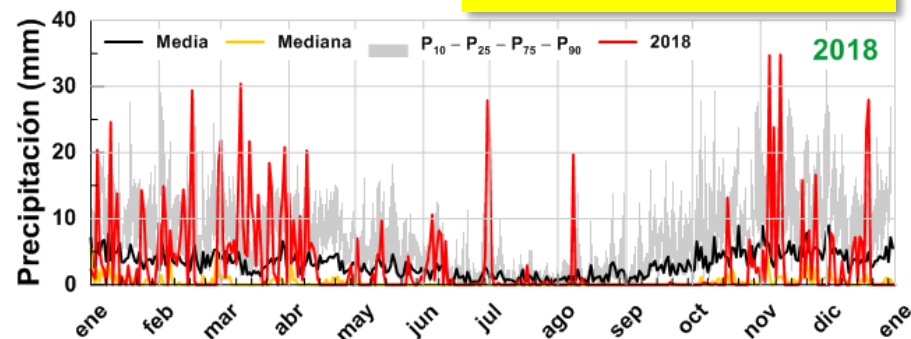
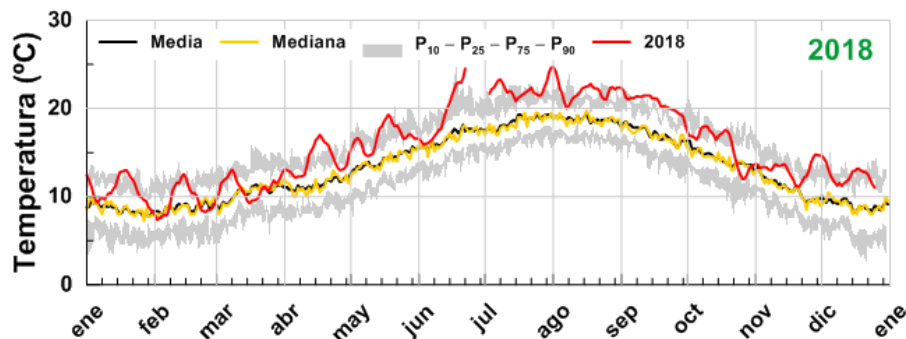
- Continuidad de las tareas de *mantenimiento de la instrumentación* así como seguimiento y *análisis de los datos* (GEAMA - 2022-2023)
- Estudio del *fitoplancton* del embalse de A-C (R. Bao & R. Carballeira - 2022)
- Presencia de *Galemys* en el río Mero (A. Martínez-Abraín *et col.* - 2022)
- *Flujos bénticos* desde los sedimentos acumulados en el azud de captación de A Telva, batimetría y análisis de su estado (GEAMA – 2022 - 2023)
- Estudio y caracterización de la *flora litoral acuática* de los ríos Mero y Barcés (M. Leira *et col.* 2023)

- **EU - LabPlas (2021-2025)**

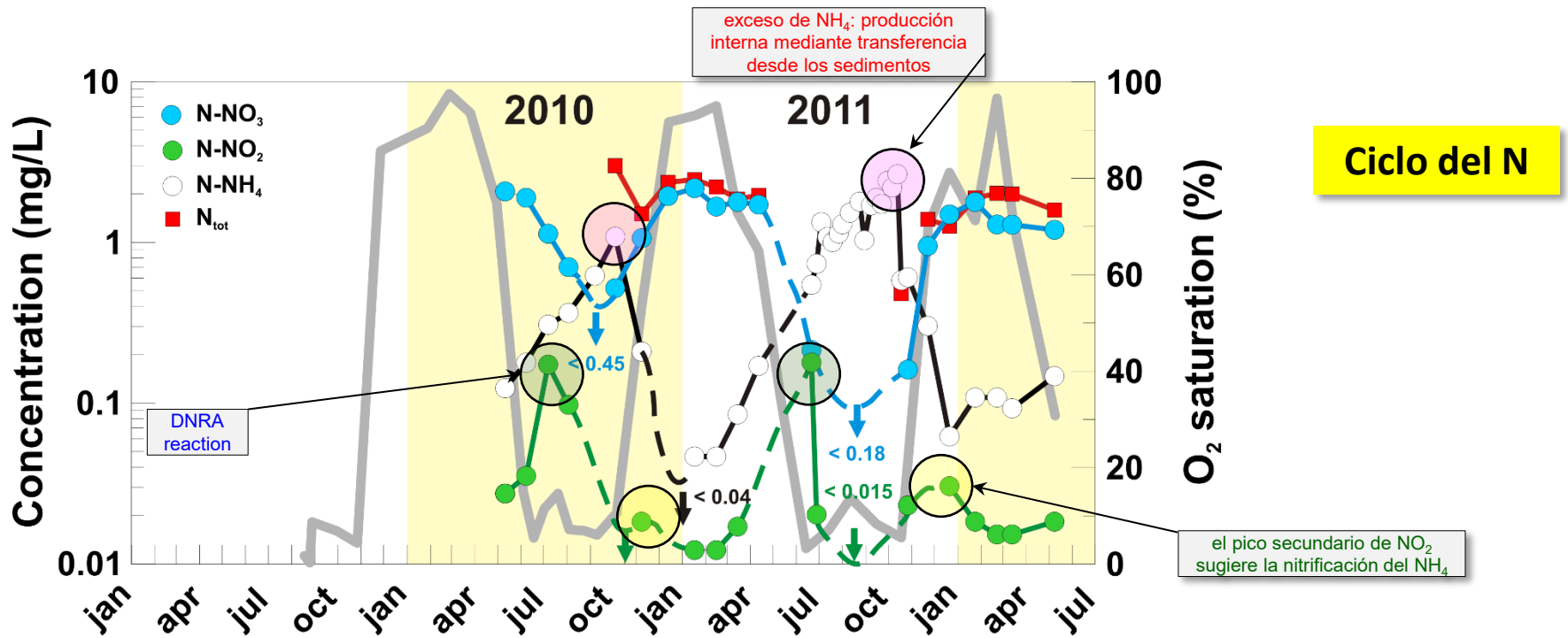
- Conocimiento sobre las fuentes, transporte, distribución e impacto de la contaminación por plásticos







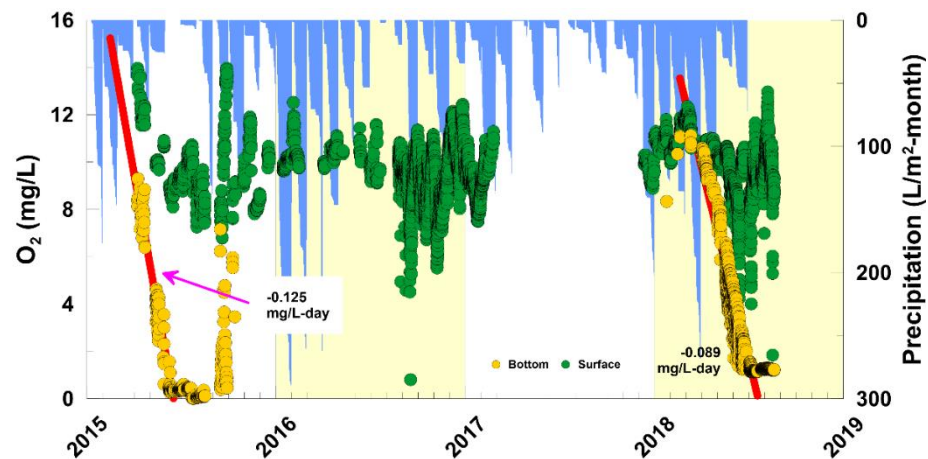
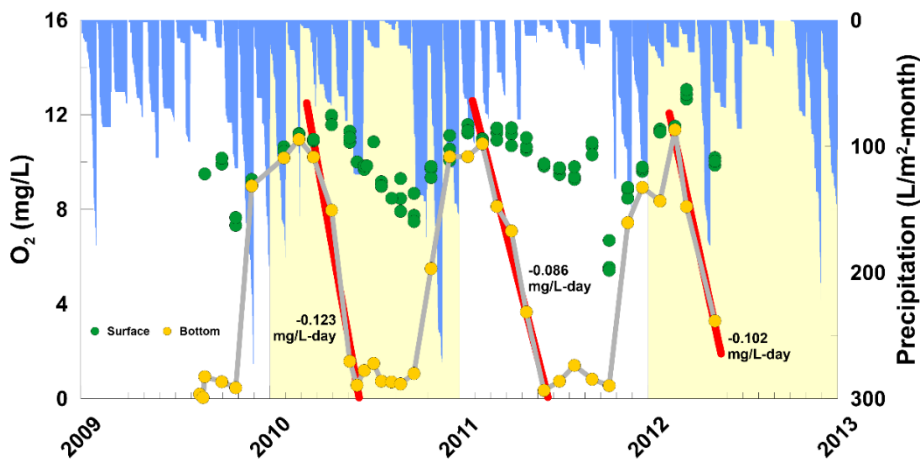
- Para la descripción de la meteorología hemos elaborado una serie de plantillas con información relativa a una serie histórica local que abarca un periodo de 29 años completos (1989-2018)
- Los datos históricos se expresan como valores diarios de media, mediana y percentiles 10, 25, 75 y 90
- La serie de datos actual se superpone a la anterior para identificar desviaciones y/o perturbaciones en relación con la serie histórica (en los gráficos, media móvil de 7 días).



- El progresivo agotamiento de O₂ (~6 mg/L) da paso al NO₃ para oxidar la MO. Esto sucede via:
 - Denitrificación (a): $5\text{CH}_2\text{O} + 4\text{NO}_3 \longrightarrow 2\text{N}_2 + 5\text{HCO}_3 + \text{H}^+ + 2\text{H}_2\text{O}$
 - Reducción de NO₃ (b): $2\text{CH}_2\text{O} + \text{NO}_3 + 2\text{H}^+ \longrightarrow 2\text{CO}_2 + \text{NH}_4 + 2\text{H}_2\text{O}$
- La aparición/desaparición de NO₂ sugiere que la reacción de Reducción Disimilatoria de Nitrato a Amonio (DNRA) puede tener lugar también:

$$\text{NO}_3 \longrightarrow \text{NO}_2 \longrightarrow \text{NH}_4$$
- La reoxigenación del sistema tras la inversión invernal da lugar a la nitrificación del NH₄

$$\text{NH}_4 \longrightarrow \text{NO}_2 \longrightarrow \text{NO}_3$$



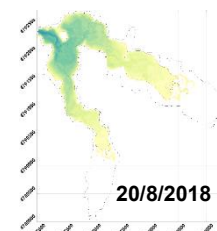
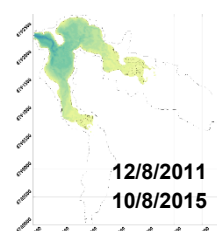
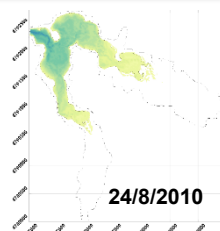
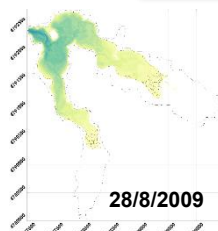
	Z _{anoxia}	V _{hypolimnion}	A _{hypolimnion}	VHOD	VOD	AHOD
Date	m b.s.	hm ³	m ² (x10 ⁶)	g O ₂ m ⁻³ day ⁻¹	kg O ₂ day ⁻¹	g O ₂ m ⁻² day ⁻¹
28/08/2009	5	6.7	1.635	0.123	824.1	0.504
24/08/2010	6.5	3.9	1.164	0.086	335.4	0.288
12/08/2011	6	3.3	1.041	0.102	336.6	0.323
10/08/2015	6	3.3	1.041	0.125	412.5	0.396
20/08/2018	3.5	8.5	1.935	0.089	756.5	0.391

Bloom agudo de cianobacterias en 2009

Las tasas de consumo volumétrico de de oxígeno son similares:
PROPIEDAD DEL SISTEMA

El consume areal puede diferir por un factor de ~1.5

Desarrollo del hipolimnion



Gestión de la Anoxia

Captación

