



XUNTA  
DE GALICIA

# EVOLUCIÓN DE LOS SISTEMAS DE ALERTA TEMPRANA FRENTE AL RIESGO DE INUNDACIÓN EN GALICIA COSTA

Ourense, 4 de octubre de 2022

Hay varios factores que intervienen en la definición de riesgo:

- Peligrosidad (frecuencia de presentación e intensidad, calados, velocidades)
- Vulnerabilidad (impacto sobre la sociedad)



↓ Minimización de los efectos de las inundaciones



↑ Capacidad de respuesta (protocolos de actuación, sistemas de alerta)



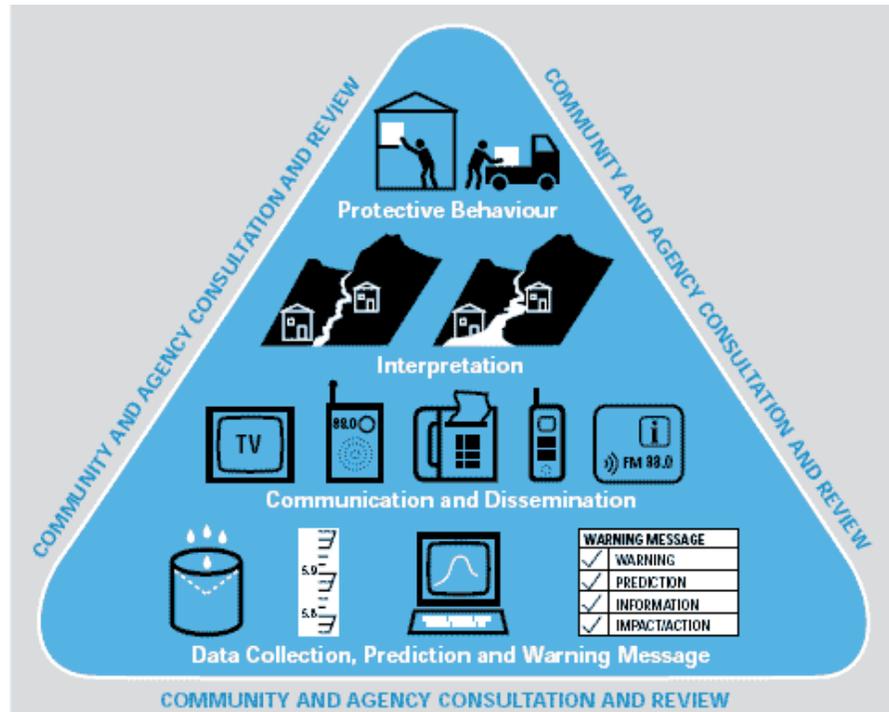
Disposición de elementos de protección

# Gestión del riesgo de inundación

Medidas estructurales y no estructurales  
Adaptarse a escenarios futuros de clima y usos del suelo



## SISTEMAS DE ALERTA TEMPRANA



Operación de un sistema alerta temprana

1. Observación
2. Predicción e interpretación
3. Comunicación y alerta
4. Protección. Acción

*Es un entorno muy exigente para la predicción. Se requieren datos muy fiables.*

Fuente: Australian Government Bureau of Meteorology

## Tipos de Sistemas de Alerta Temprana

En general depende del tipo de respuesta hidrológica de las cuencas ante un evento de precipitación intensa:

- Respuesta lenta
- Respuesta rápida



Tiempo que tarda la precipitación en propagarse por las laderas y cauces.

Depende de:

- Tamaño de la cuenca
- Permeabilidad del terreno
- Usos del suelo (vegetación)
- Pendientes
- Densidad de la red hidrográfica
- Morfología de los cauces

Cuencas de **respuesta lenta**:

- sistemas basados básicamente en precipitaciones medidas en pluviómetros, radar meteorológico, caudales aforados

Cuencas de **respuesta rápida**:

- El sistema de alerta depende fundamentalmente de la previsión meteorológica y de un modelo hidrológico

# RED OFICIAL DE AFOROS



✓ Es una red de medida y control de la evolución del nivel de agua de los ríos.



Se registra el valor cada 2 minutos y se transmite cada 10 minutos.

<http://www2.meteogalicia.gal/servizos/AugasdeGalicia/estacions.asp>

XUNTA DE GALICIA  
CONSELLERÍA DE MEDIO AMBIENTE  
TERRITORIO E INFRAESTRUTURAS
meteogalicia

estacións foronómicas


Estación no río **Verdugo**, provincia de Pontevedra

Instante da lectura: **31/01/2019 ás 12:50h.**, hora local

Nivel da Auga	Valor	
Nivel Medio da Auga	3,884 m	<a href="#">Ver gráfico</a>
Caudal Medio da Auga	125,876 m <sup>3</sup> /s	<a href="#">Ver gráfico</a>

Descarga dos datos actuales en formato texto

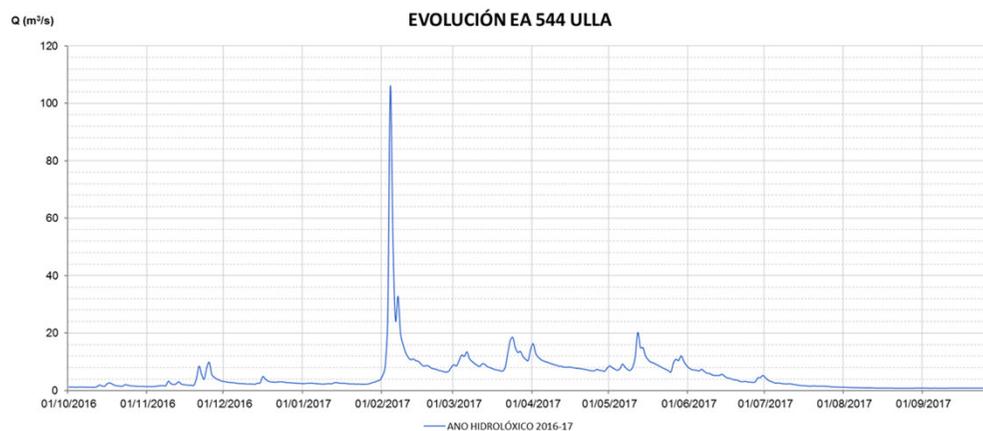


Imaxe da estación

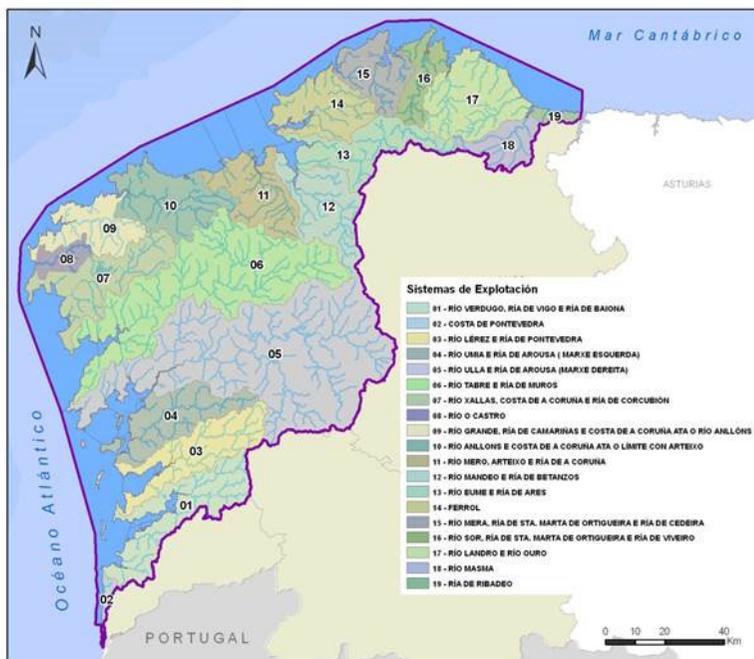


**Cláusula de responsabilidade no uso dos datos:** Os datos aquí amosados, son sometidos a distintas rutinas de validación sucesivas ao longo do tempo, polo que pódense dar modificacións destes datos. MeteoGalicia non asume responsabilidade algunha sobre as diversas utilizacións ou interpretacións que o usuario poida facer dos datos suministrados.

MeteoGalicia - Consellería de Medio Ambiente, Territorio e Infraestruturas - Xunta de Galicia  
Rúa Roma, nº 6. 15707 Santiago de Compostela. A Coruña
Teléfono: +34-981-95746  
Fax: +34-981-95746



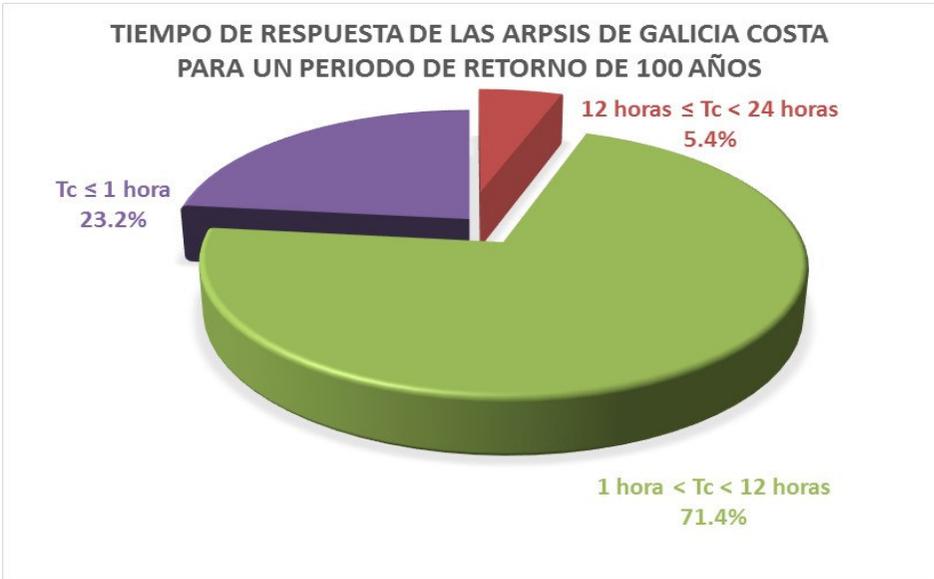
# SISTEMAS DE ALERTA TEMPRANA



57% de ARPSIs de cuenca vertiente < 10 km<sup>2</sup>  
 Tiempo de respuesta muy reducido.

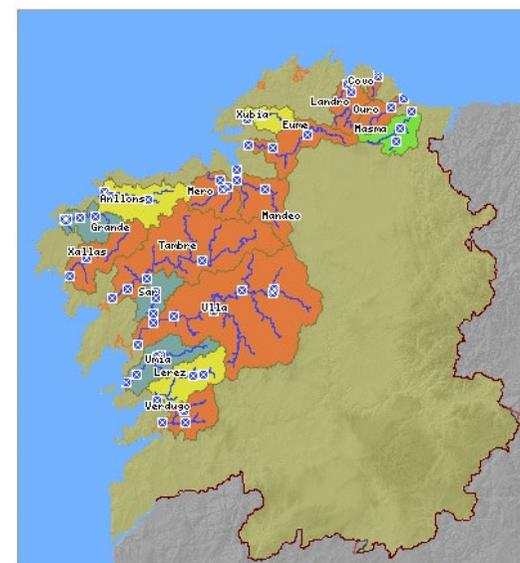
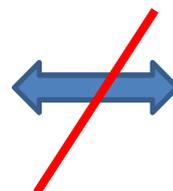
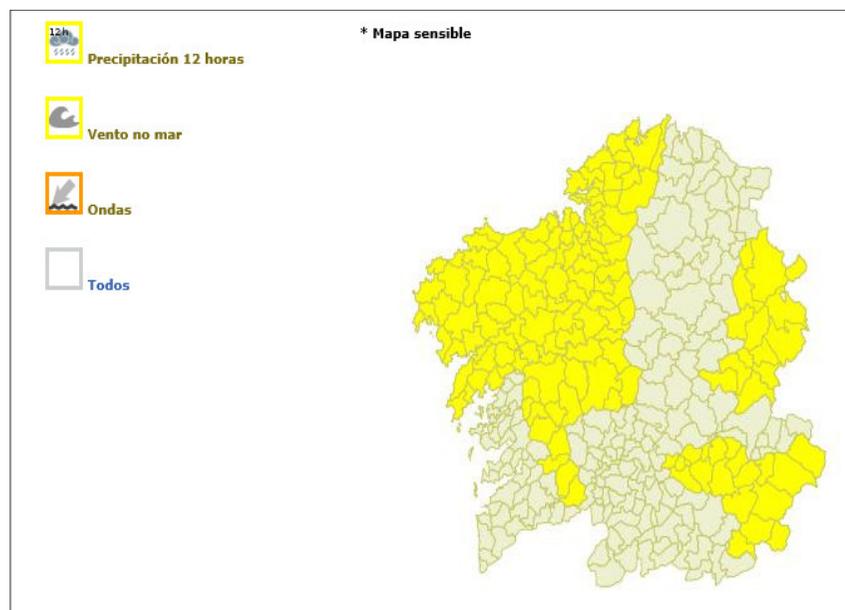
**DHGC**  
 Galicia-Costa: 12.991 km<sup>2</sup> –  
 2 millones de habitantes.  
 Gran densidad fluvial  
 Cuencas pequeñas

La cuenca más grande de la DHGC es la del río Ulla con 2.800 km<sup>2</sup>, y un tiempo de concentración de 22 horas aproximadamente



## SISTEMAS DE ALERTA TEMPRANA EN CUENCAS RÁPIDAS

- Sistemas más modernos. En el resto de España tradicionalmente se trabaja con el dato observado en los aforos, activándose los protocolos en función de la predicción de precipitación o del caudal circulante aguas arriba.
- No siempre un adverso meteorológico se traduce en un adverso hidrológico.

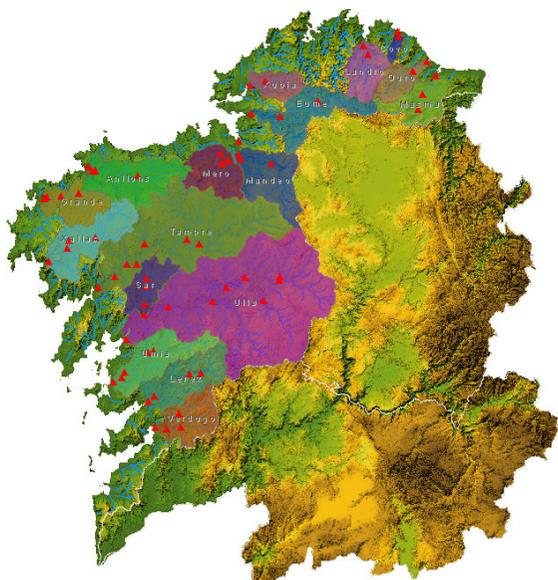


Cuencas de Galicia-Costa son pequeñas y con tiempos de concentración muy bajos, es muy importante adelantarse al evento para tener capacidad de actuación.

Desde el año 2004 Augas de Galicia ha estado trabajando en el desarrollo de un SISTEMA DE PREDICCIÓN DE AVENIDAS EN TIEMPO REAL

## Sistemas de alerta temprana: **ARTEMIS**

### Architecture for Teleprediction and Management Information System



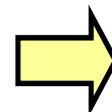
PREDICCIÓN  
METEOROLÓGICA

METEOGALICIA

*Unidad de predicción y  
observación*

*XUNTA GALICIA*

*automático*



MODELO HIDROLÓGICO  
PREDICCIÓN DE AVENIDAS

AUGAS DE GALICIA



*técnicos*

**PROTOCOLO DE ACTUACIÓN  
ANTE EL RIESGO DE INUNDACIÓN**

**Coordinación con Protección Civil Autonómica**

## Predicción de precipitación

Meteogalicia dos veces al día

Precipitación en las próximas 72h

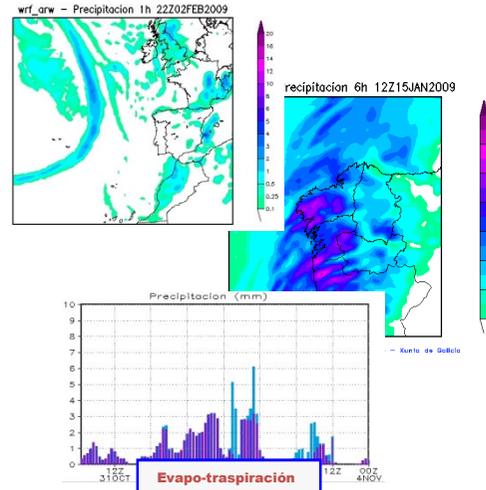
- ✓ Predicción 00z
- ✓ Predicción 12z

## Predicción de caudal

Augas de Galicia dos veces al día

Hidrograma previsto en las próximas 72h horas en todos los puntos de predicción definidos (17 cuencas)

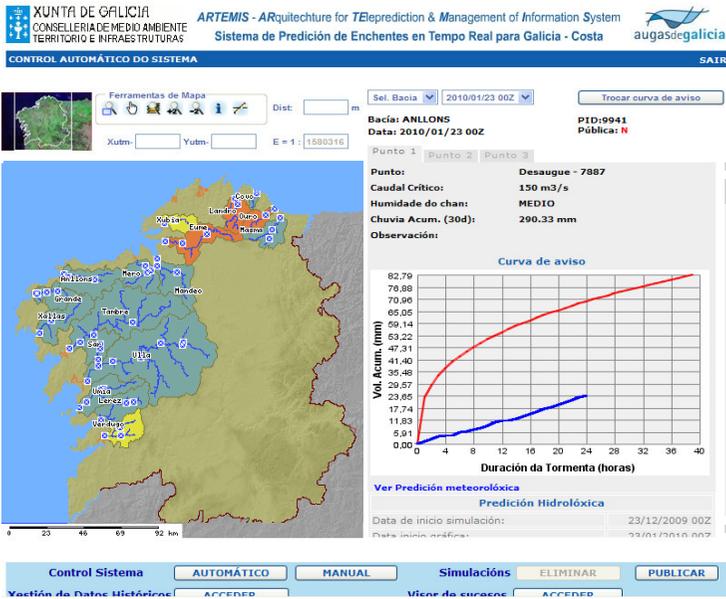
- ✓ Predicción Artemis-Pmeteo 00z
- ✓ Predicción Artemis-Pmeteo 12z



**Modelo precipitación**  
MM5 y ARPS

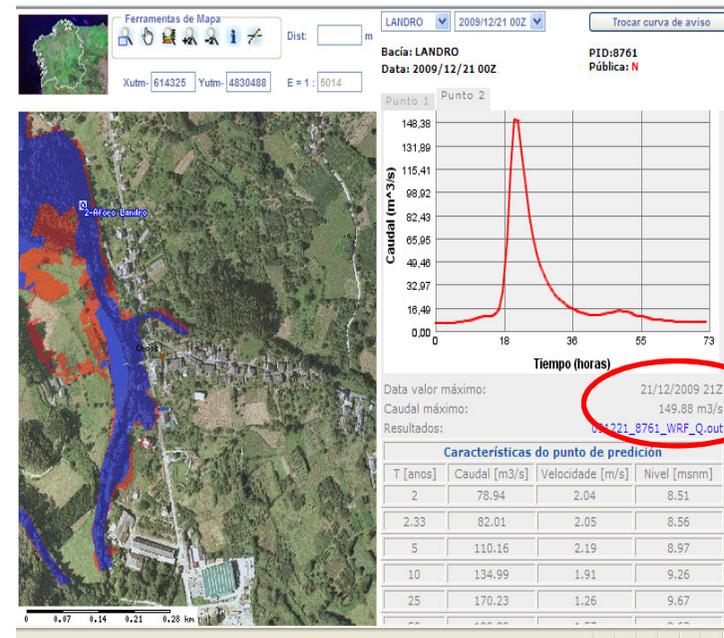


**Modelo hidrológico**  
Modelo TOPKAPI  
(físicamente basado)



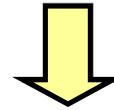
➤ Relacionamos el pico máximo esperado con un **Período de retorno** en base a los estudios disponibles y tenemos una estimación inicial de las zonas que se podrían ver afectadas por la inundación

➤ **Qcrítico:** Analizamos la posibilidad de que se supere un determinado caudal considerado como crítico a partir del cual podemos tener riesgo de desbordamientos



## Protocolo de actuación en coordinación con Protección Civil

- 1- AVISO
- 2- ALERTA
- 3- ALARMA



fases

*¿Cuándo se va a producir?*

- Situación 1: próximas 48-60 h
- Situación 2: próximas 24-48 h
- Situación 3: próximas 0-24 h
- Situación 4: próximas 0 h

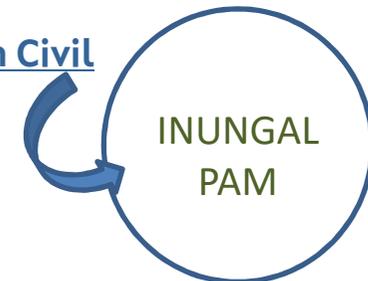
*¿Cuánto se va a desbordar?*

- Nivel 1:  $2,33-10 < T < 25$  años
- Nivel 2:  $25-50 < T < 100$  años
- Nivel 3:  $100-10 < T < 500$  años

*¿A quien avisamos desde Augas de Galicia?*

- Personal de dirección y técnicos de Augas de Galicia
- Jefes de Explotación de presas con carácter informativo
- **Protección Civil**

Herramientas de seguimiento:  
Red de aforos de ríos  
Nuevas predicciones Artemis



## ARTEMIS tiene limitaciones:

- **No está optimizado computacionalmente.** Tiempos de respuesta importantes en la gestión de inundaciones.
- Es un sistema que solo está desarrollado para las grandes cuencas de la DHGC. Importante incorporar las **cuencas pequeñas costeras**, donde se asienta gran parte de la población y se han determinado un elevado número de Arpsis. Complicado de modelizar: investigación y nuevas tecnologías
- Solo utiliza predicción meteorológica, no incorpora los **registros reales** de precipitación.
- No incorpora un modelo hidráulico. Limitaciones técnicas y tiempos de computación incompatibles con la agilidad necesaria del sistema.
- Sistema poco flexible

**Necesaria una mejora y la incorporación de nuevas funcionalidades**

## MERLIN : Modelo Estocástico de Riesgo Local de INundaciones

MERLIN busca avanzar en algunos aspectos:

- Precisión en cuencas pequeñas.
- **Modelización hidráulica (mapas de zonas potencialmente inundables en tiempo real) en las ARPSIS.**
- **Incorporación de embalses.**
- **Incorporación de datos de mareas** y humedad del suelo.
- Inundaciones de origen pluvial.
- Modularidad y uso de software abierto.
- Computación paralela (velocidad).

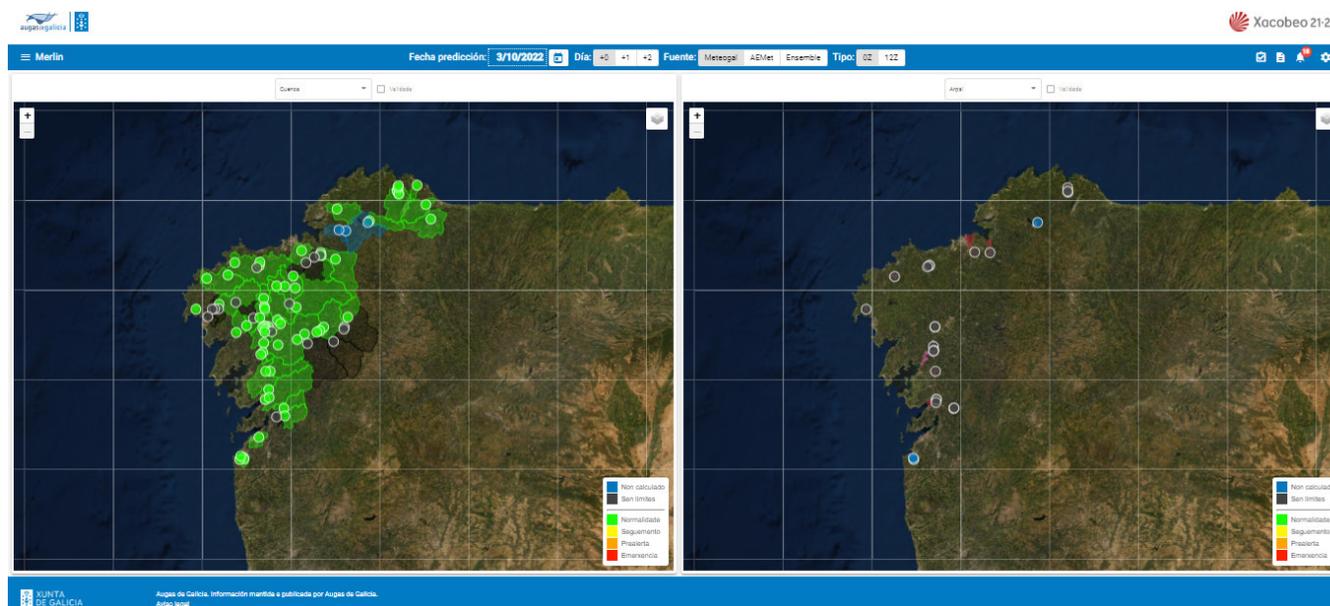
## CONVENIO AUGAS DE GALICIA – FUNDACIÓN INGENIERÍA CIVIL DE GALICIA



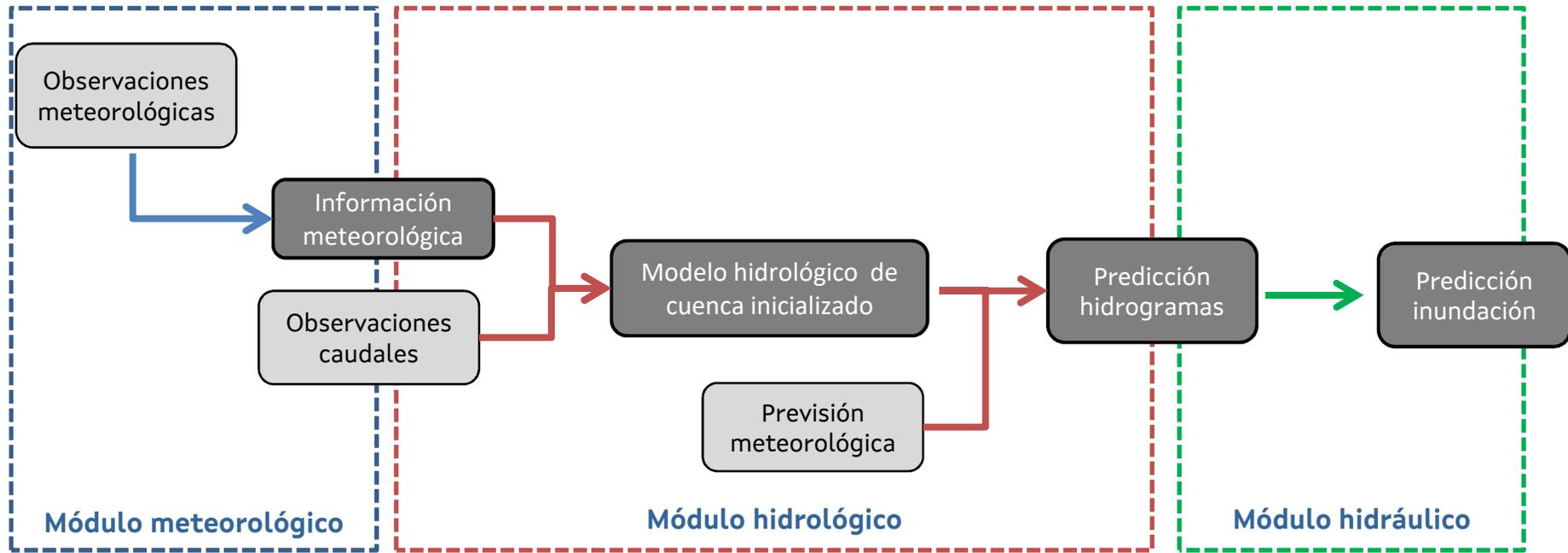
UNIVERSIDADE DA CORUÑA



Grupo de Ingeniería  
del Agua y del  
Medio Ambiente



- SAT compuesto por **3 módulos**

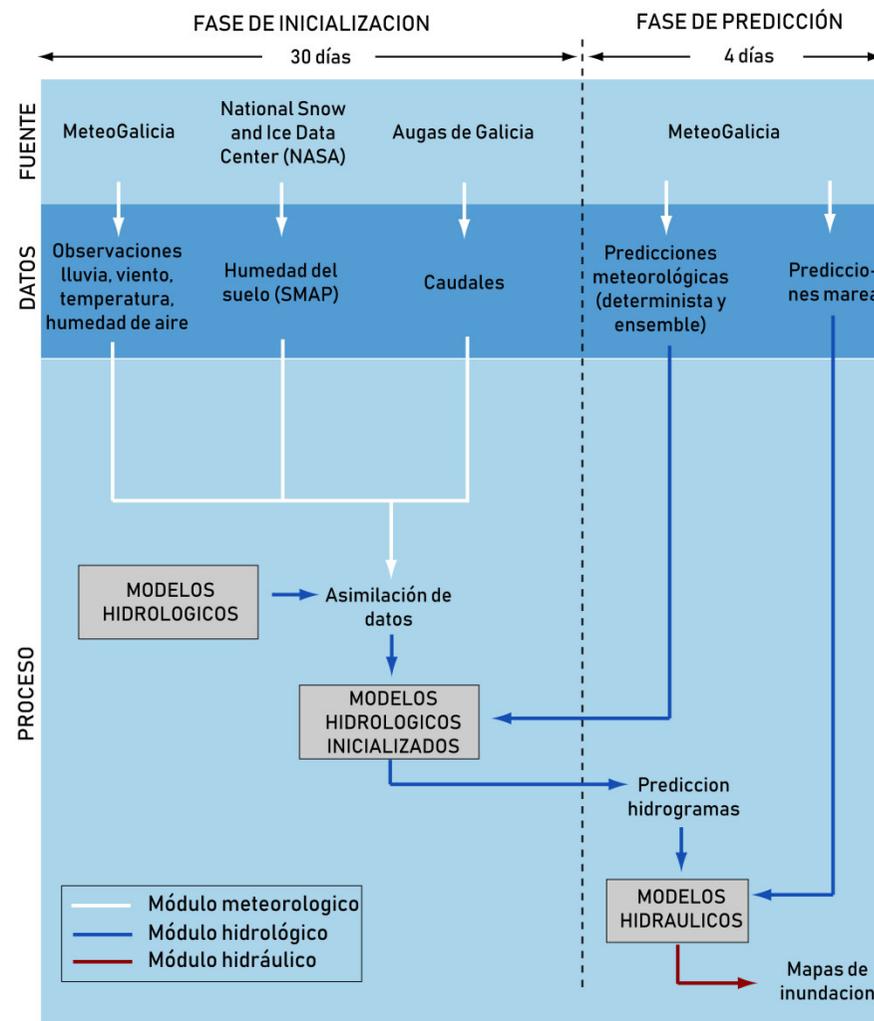


Predicción hidrológica:  
caudales a lo largo de las cuencas

Predicción hidráulica:  
inundación en zonas  
proclives a inundarse  
**(ARPSIS)**

## Funcionamiento del sistema en 2 fases:

1. Initialization/assimilation
2. Forecast
  - Predicción:
    - ✓ Caudal
    - ✓ Nivel de la lámina de agua
  - Niveles de confianza en la predicción debido a incertidumbres en los modelos meteorológicos de predicción.



## ➤ Precipitación - MeteoGalicia

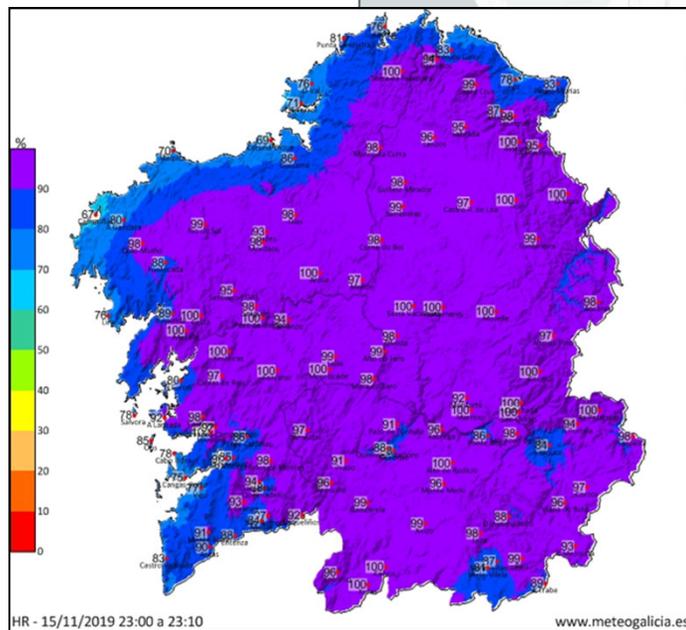
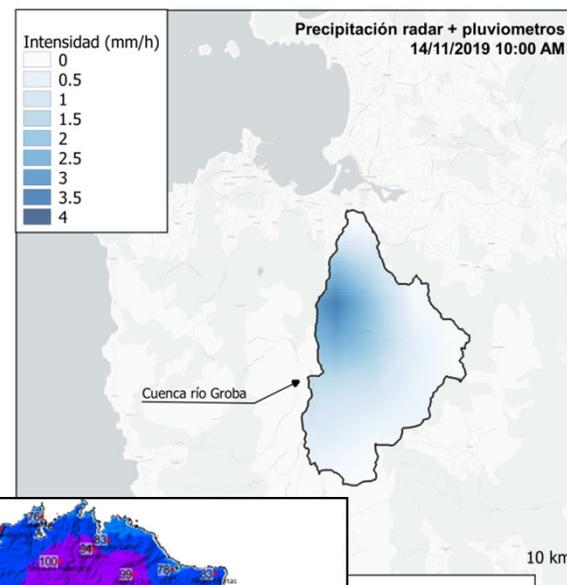
Radar meteorológico + pluviómetros

Resolución 1 km – 1 hora

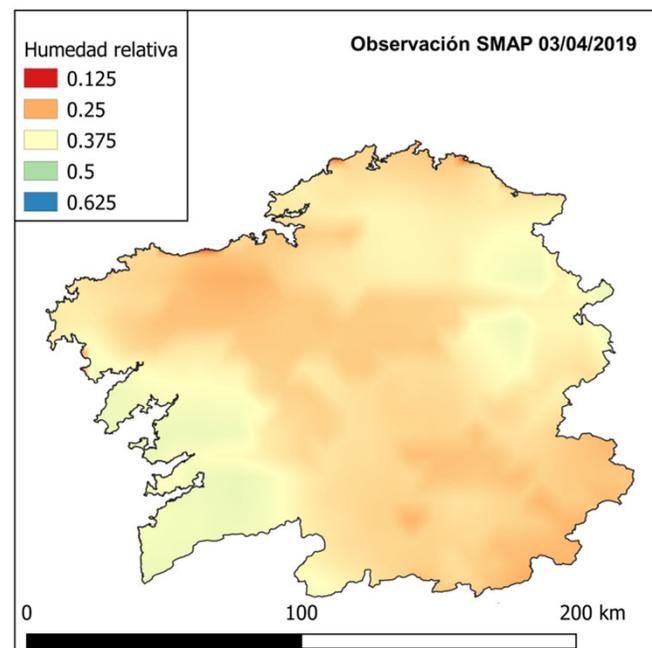
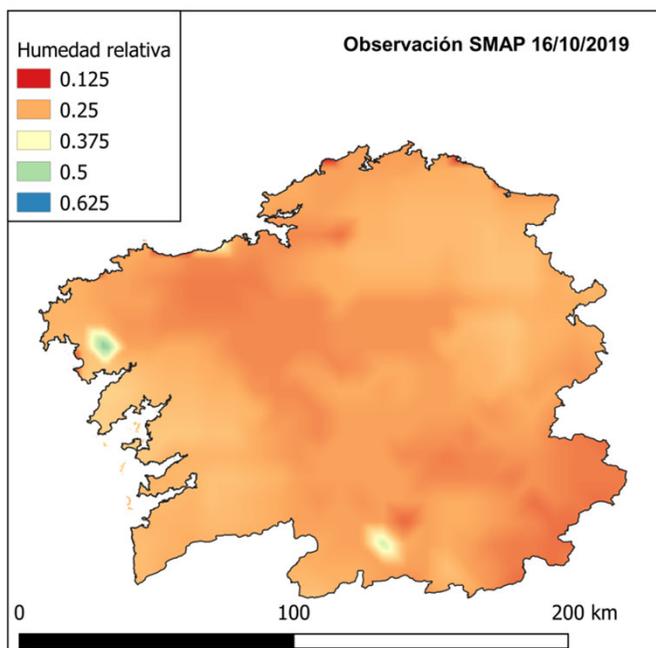
## ➤ Radiación, velocidad viento, humedad y temperatura aire- MeteoGalicia

Estaciones meteorológicas →  
Meteomapas

Resolución 1 km – 1 hora



- **Humedad inicial del suelo – Satélite SMAP (NASA)**  
Estimación de la humedad superficial y en profundidad  
Resolución 9 km – 3 horas (producto L4\_SM)



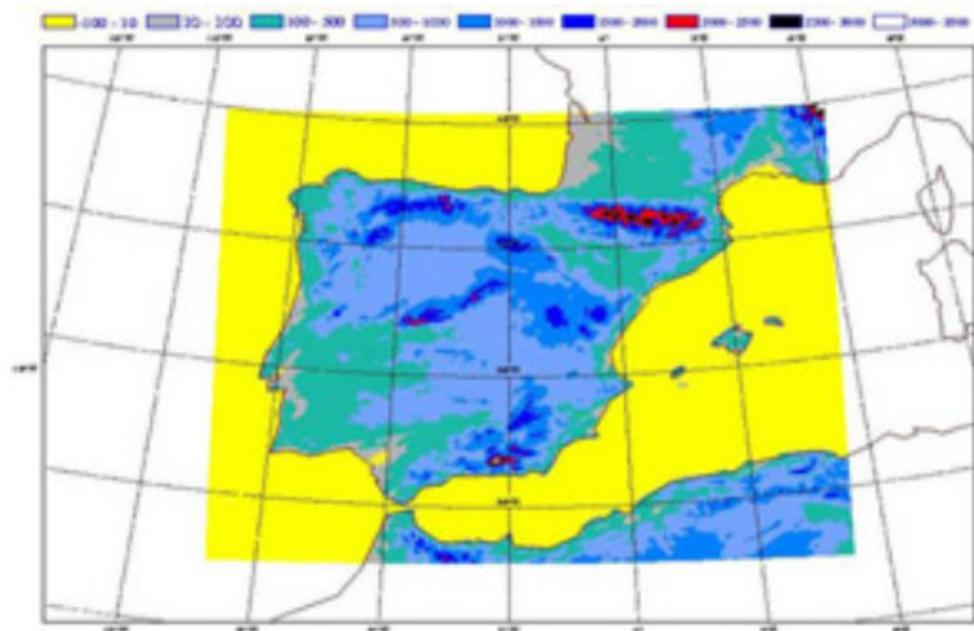
## Previsión meteorológica

Modelo HARMONIE - AROME  
operado por AEMET

Resolución 2,5 km

✓ 0-12h-cada 15m

✓ 12-72h-cada 1h

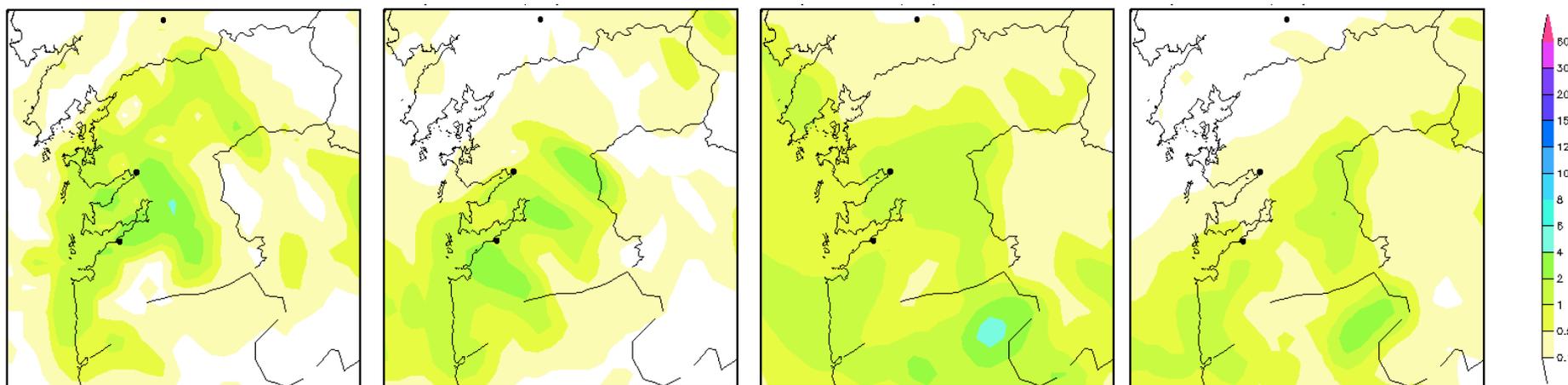


Orografía del modelo Harmonie a 2,5km de resolución horizontal

## ➤ Predicción meteorológica

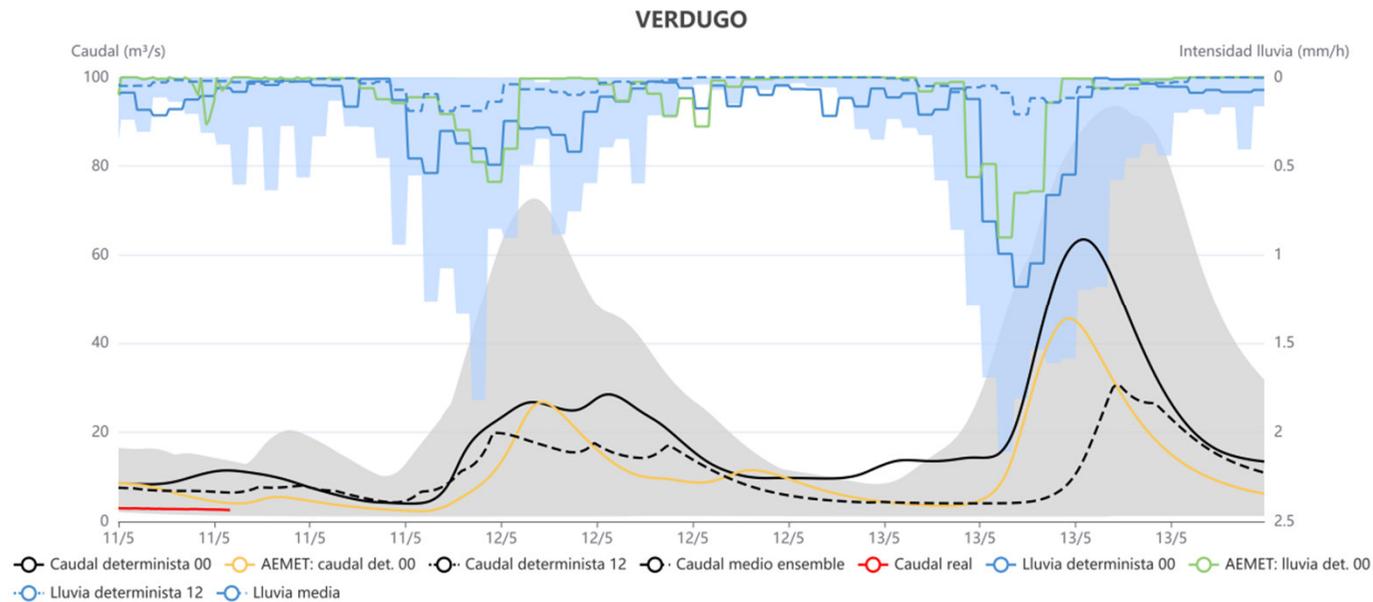
Modelo WRF operado por MeteoGalicia

Resolución 4 km – 1 hora



## Predicción hidrológica

- Estimación de caudales durante los próximos 3-4 días a partir de predicciones meteorológicas
- Varios productos de predicción elaborados por AEMET y MeteoGalicia, actualizados cada 12 horas.

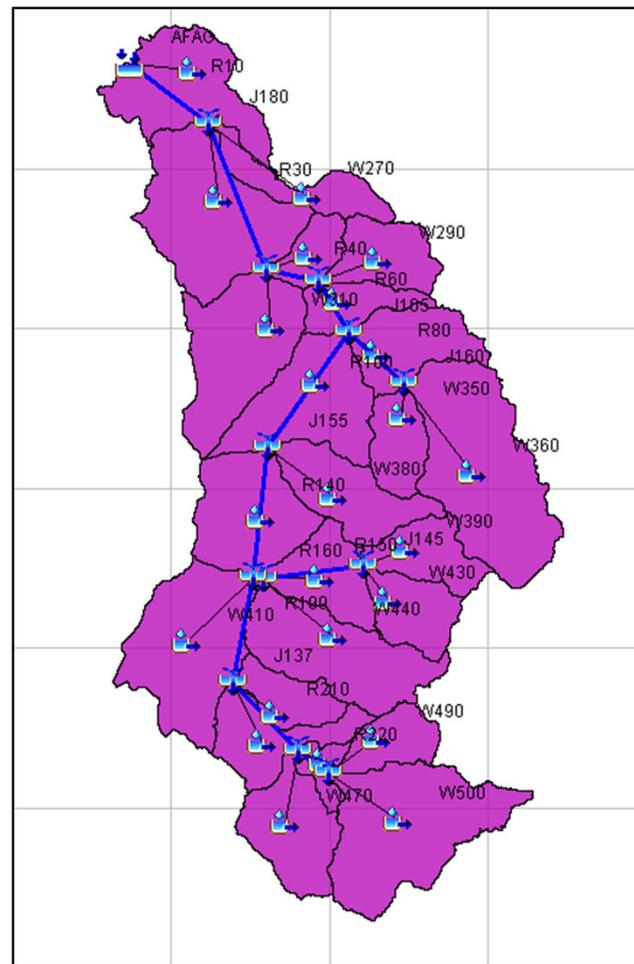


## ➤ Actualmente modelo HEC-HMS

Modelo semi-distribuido

Flujo superficial y subterráneo

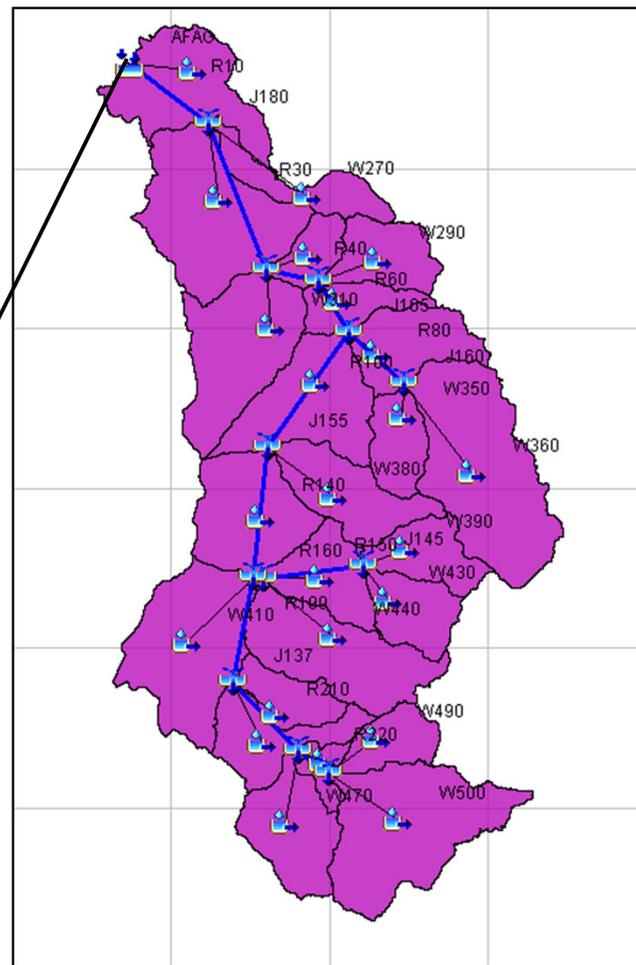
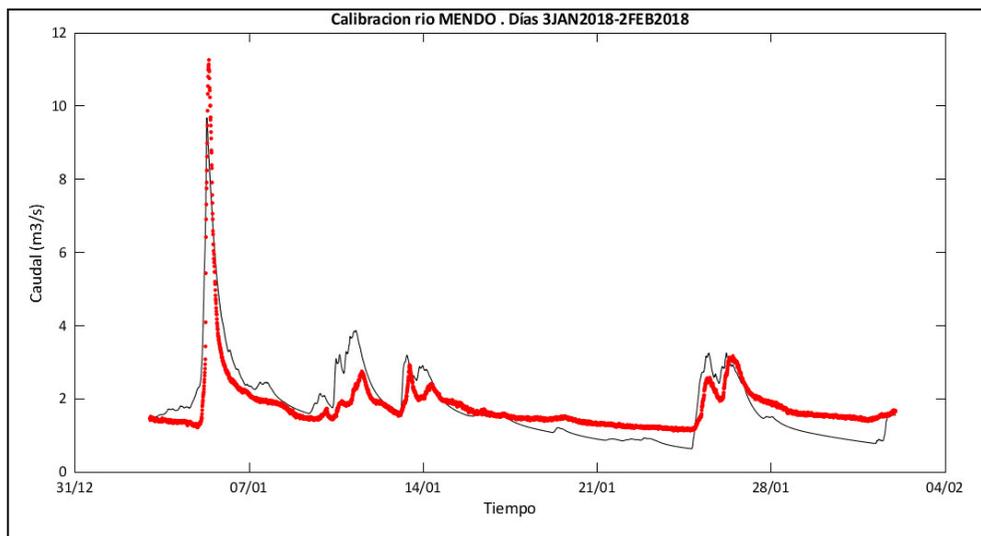
Buen compromiso entre complejidad y tiempo de cálculo



➤ **Inicialización de los parámetros de infiltración y flujo subterráneo antes de cada ejecución**

A partir de datos meteorológicos e hidrológicos observados

Reproducir el hidrograma observado durante los **30 días** anteriores



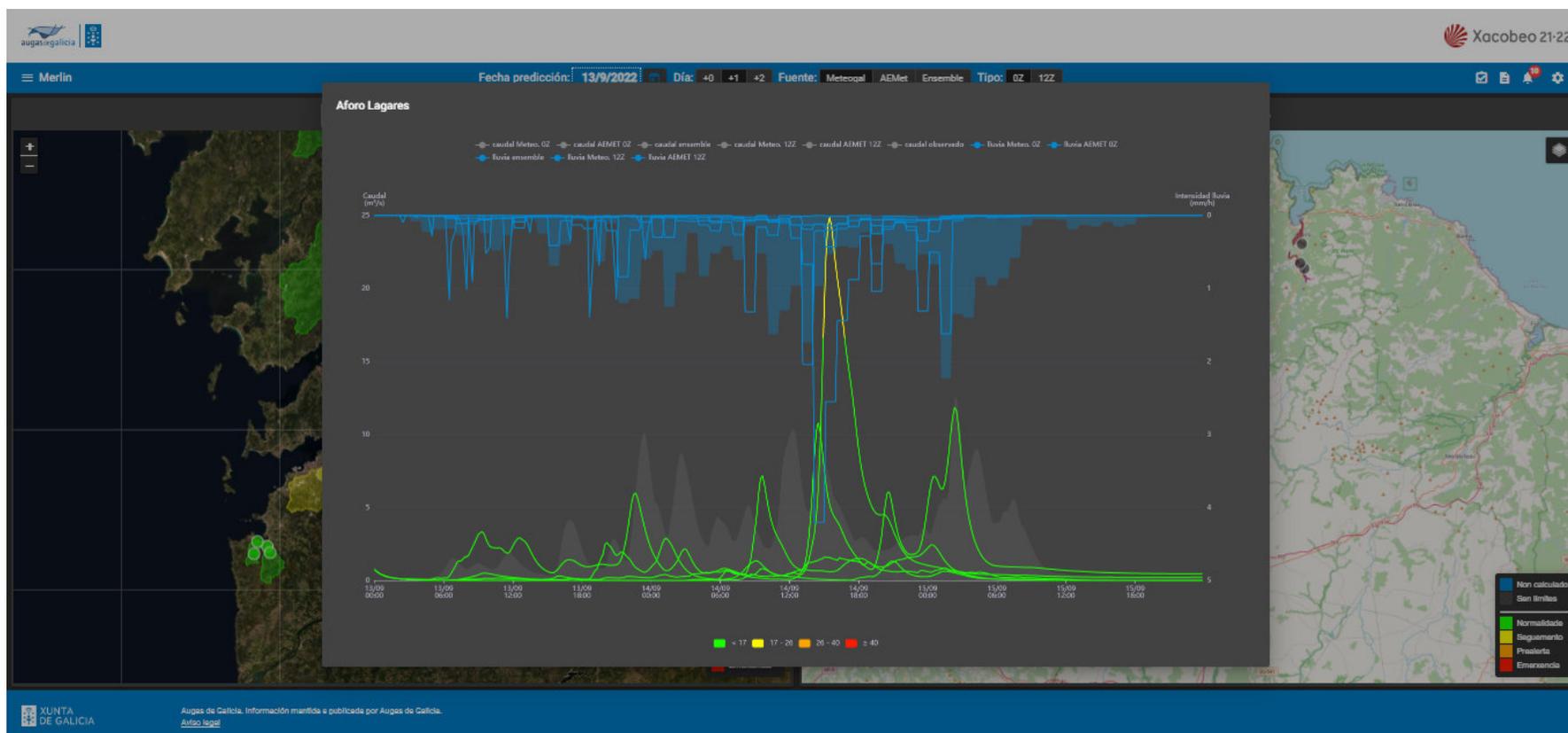
### ➤ Implementación de embalses

- Reglas de operación de embalses (NNEE)
- Incorporación de datos en tiempo real: nivel, cota, Q entrada y salida,  $Q_{\text{turbinados}}$ 
  - Embalses Augas de Galicia: datos del sistema SCADA o SAIH.
  - Embalses concesionarios: envío datos a ftp segura
- Datos diarios
- Presas fluyentes



## Estimación preliminar del nivel de riesgo

En base a hidrogramas calculados y al nivel del mar en ARPSIs costeras



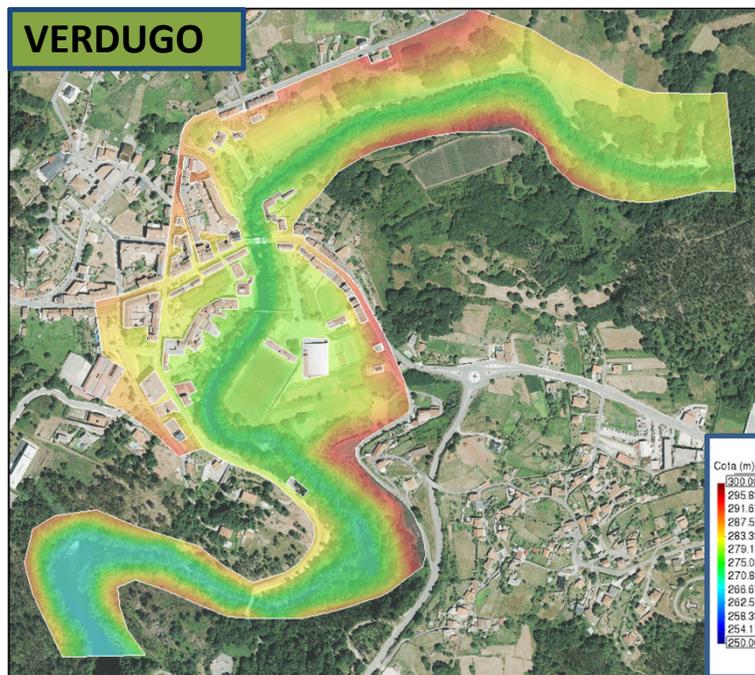
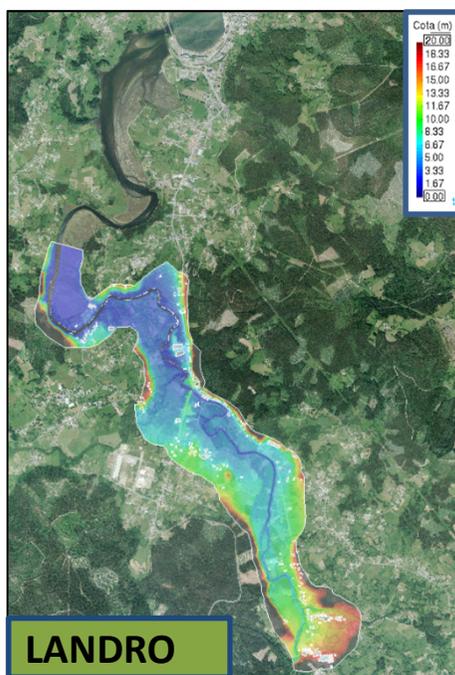
## ➤ Modelo Iber

Extensión del modelo: ARPSIs

Entrada: Hidrogramas y niveles de marea estimados

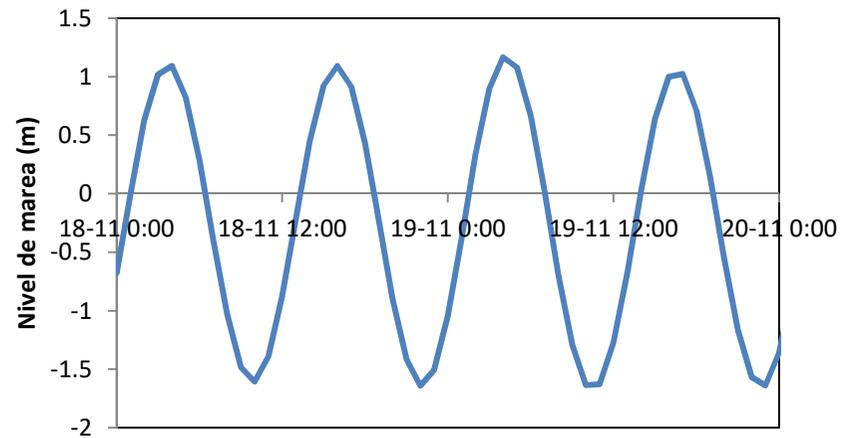
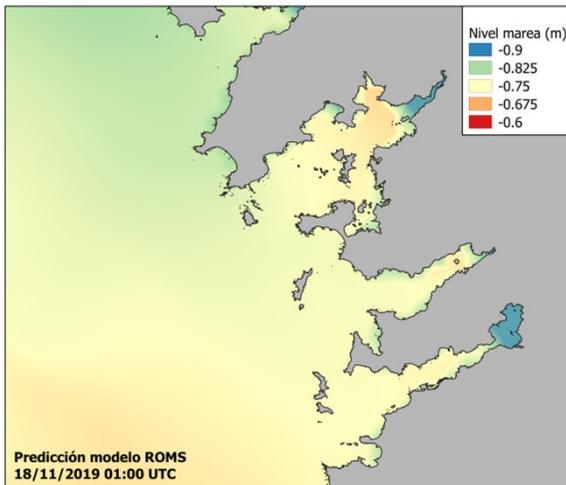
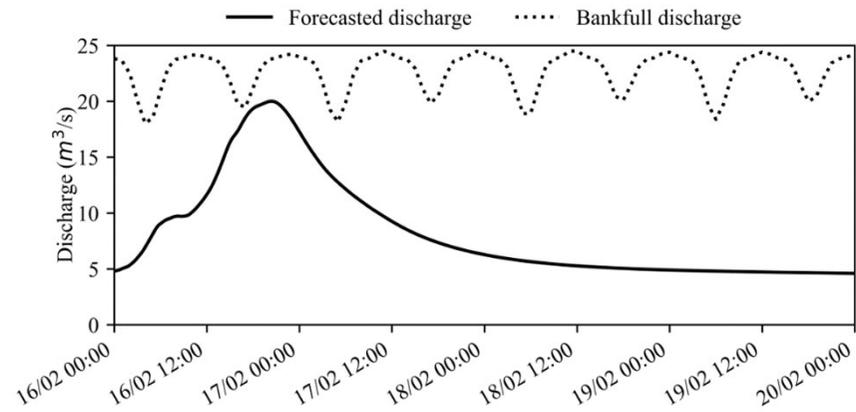
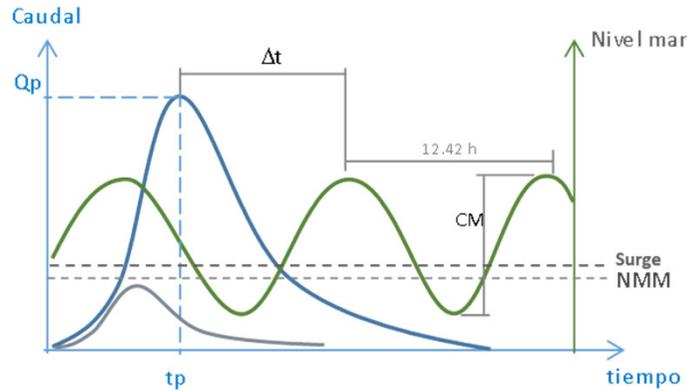
Salida: Evolución temporal de calados, velocidades y zonas de riesgo

**Referencias: MAPRI (DPH-T10-T100)**



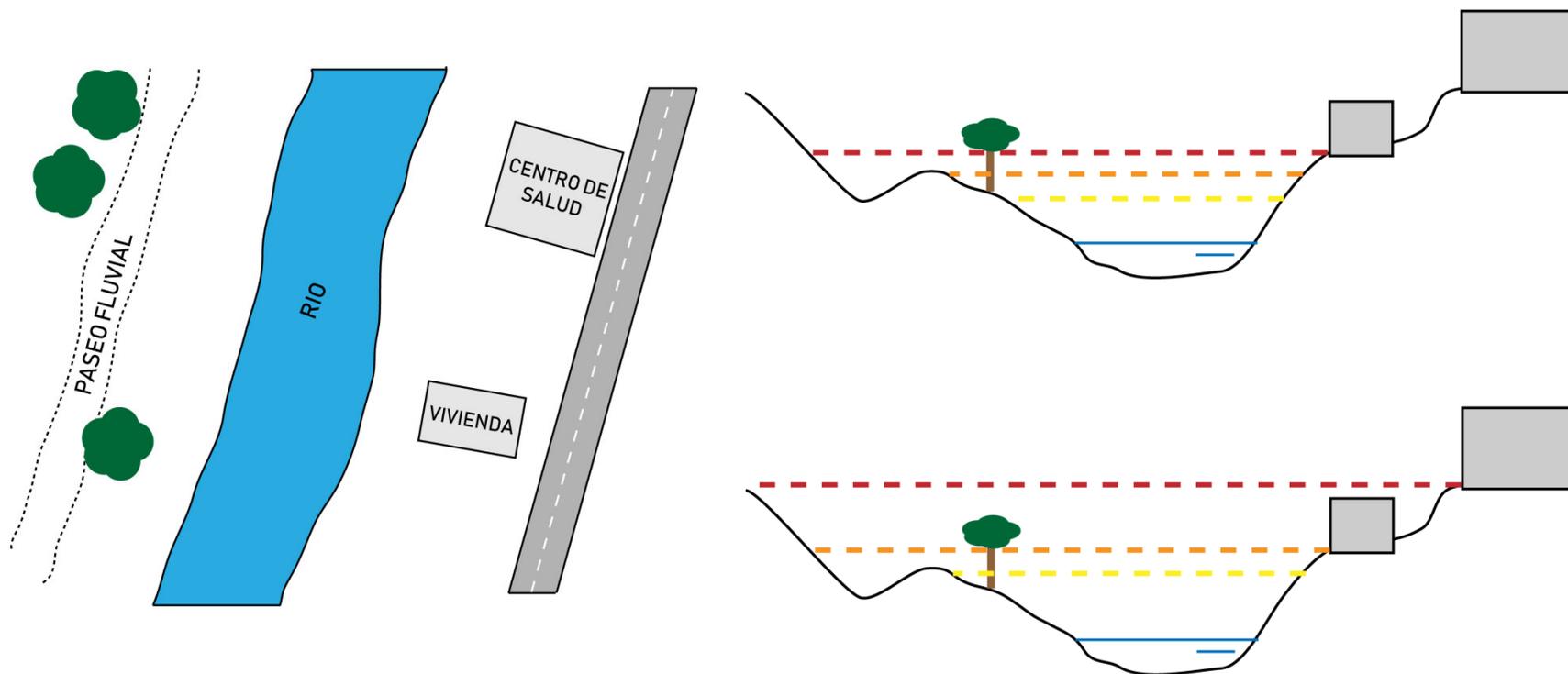
## ➤ Mareas– Modelo ROMs (Meteogalicia)

- Inundación conjunta por caudal del río y nivel del mar

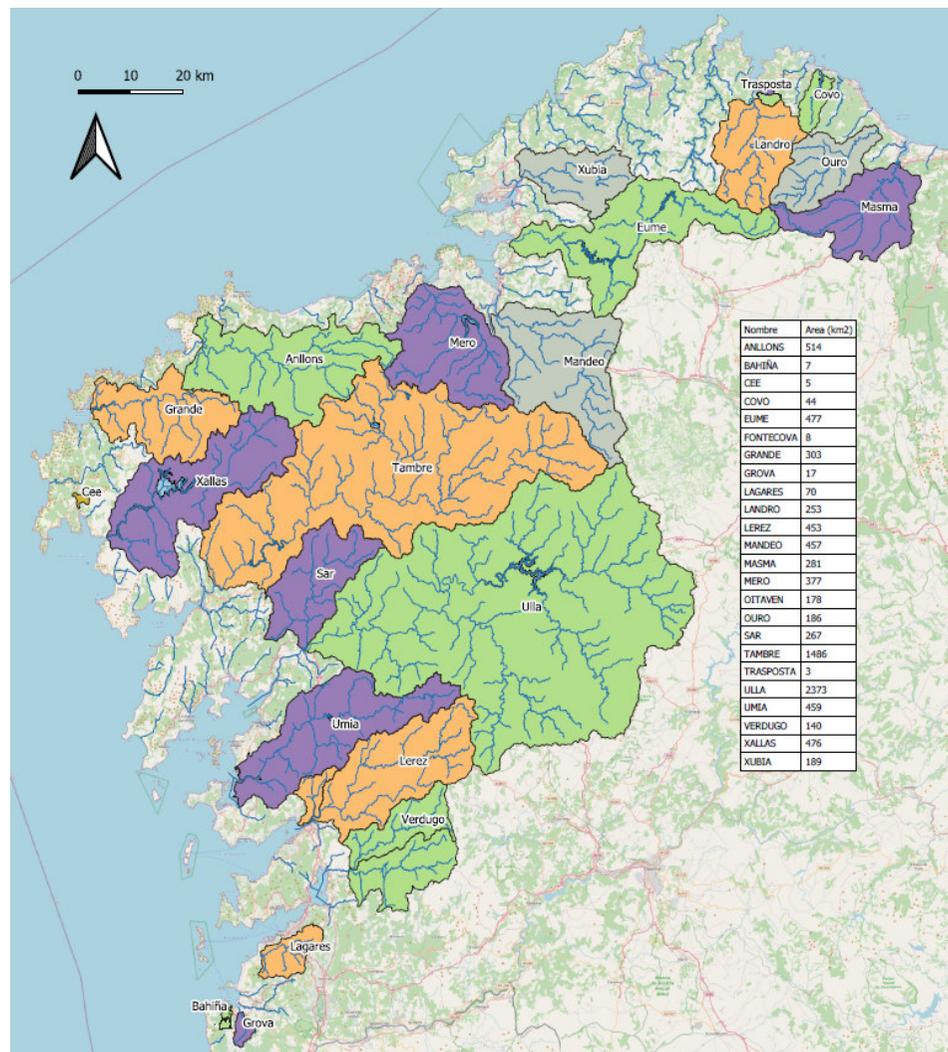


## MERLIN: módulo hidráulico

- Establecer alertas tempranas en función de los niveles locales de la lámina de agua en localizaciones /secciones críticas: puentes, escaleras, ctras, hospitales...

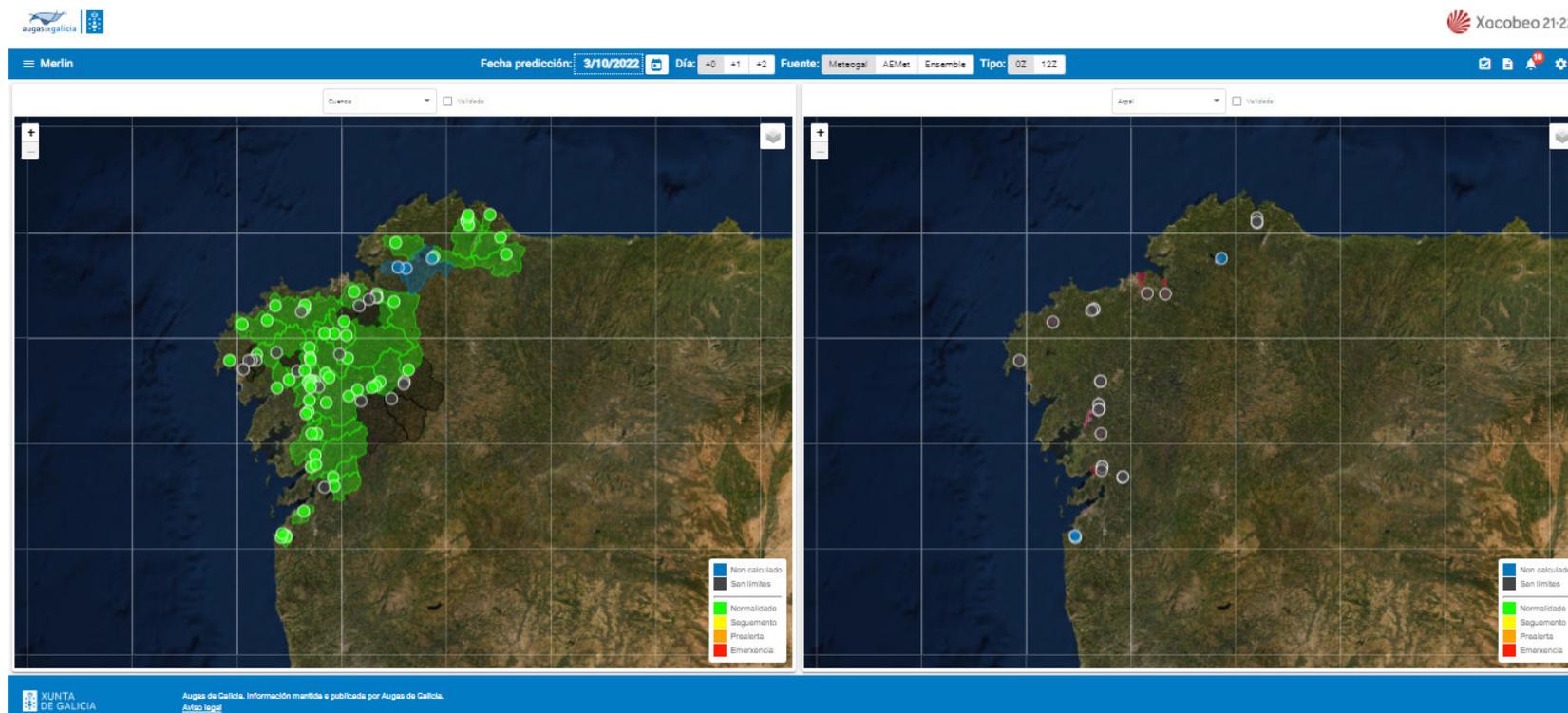


PREDICIONES HIDROLÓGICAS CADA 12H  
EN 23 CUENCAS E HIDRÁULICAS EN 14  
ARPSIS



## VISUALIZACIÓN WEB

<https://merlin.xunta.gal/login>



# MERLIN



Basado en software libre

FRONTEND: Angular, leaflet

BACKEND: Phyton, iber, HMS



## Centro Tecnológico de Supercomputación de Galicia



*CESGA es un nodo de la Red Española de Supercomputación y datos (RES)*

### CONVENIO AUGAS DE GALICIA -CESGA

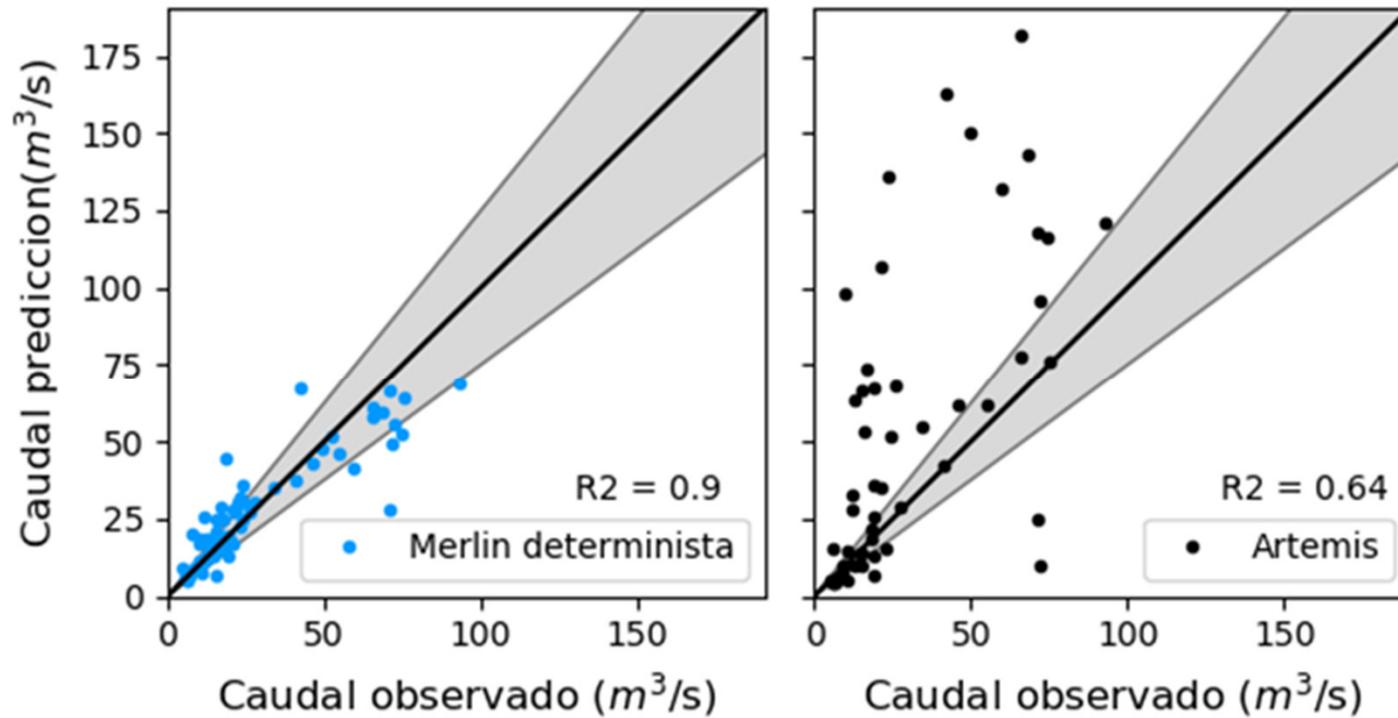
Colaboración;

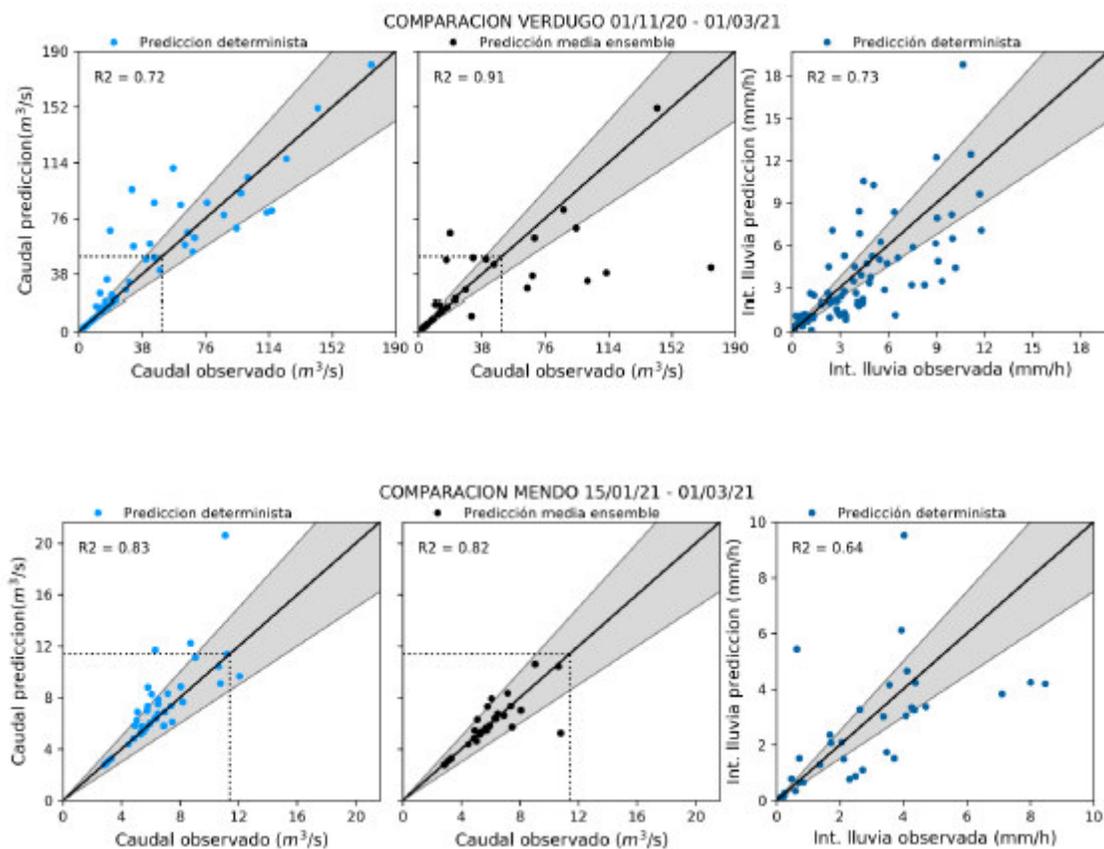
- ✓ Cálculo intensivo y comunicaciones para el alojamiento y ejecución del sistema MERLIN
- ✓ Almacenamiento de datos.

### SUPERCOMPUTADOR FINISTERRAE 3



## Precisión en caudales (Landro, 250 km<sup>2</sup>)





### Futuro inmediato

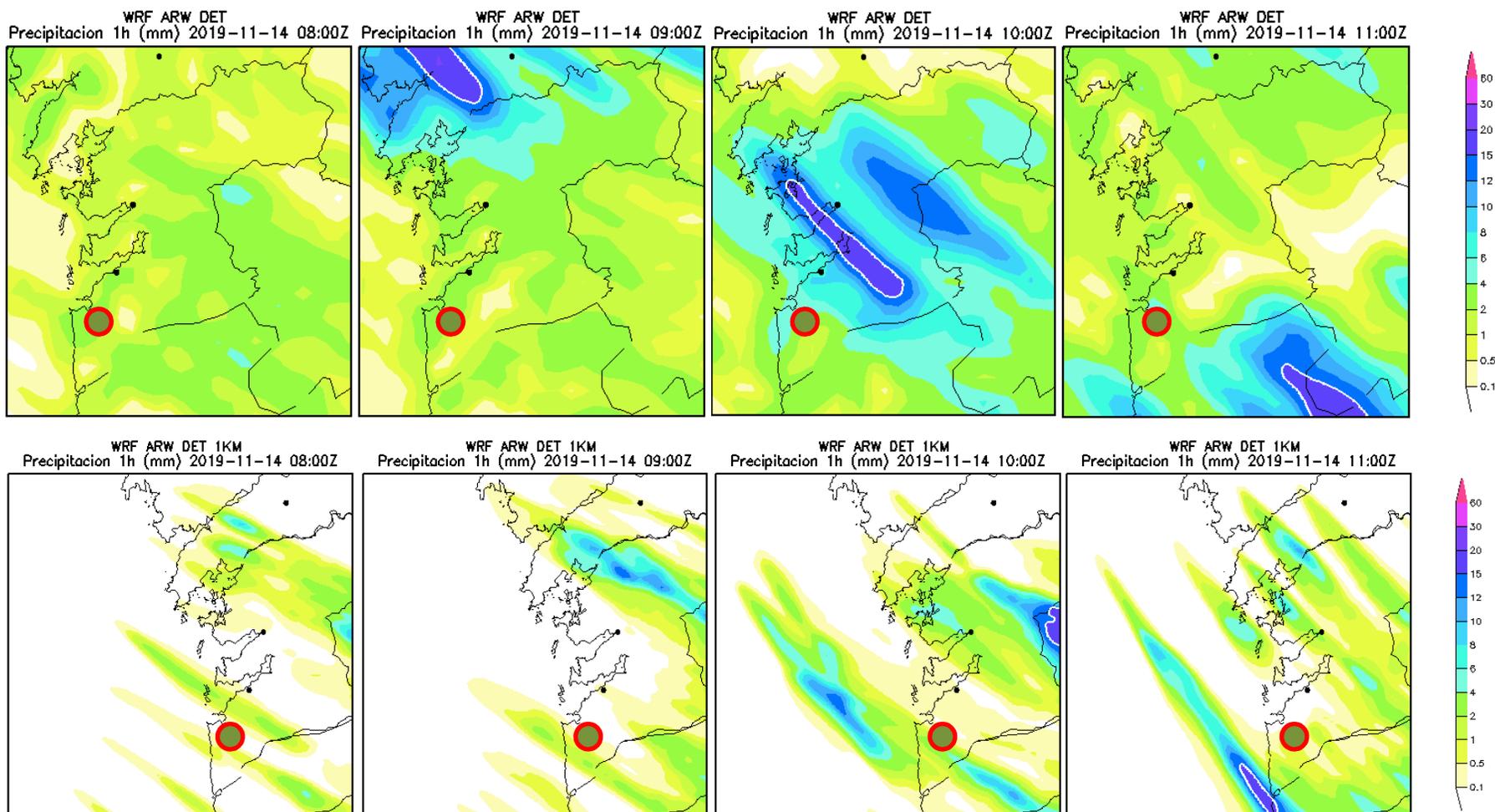
- Inclusión de datos de gestión de los embalses en tiempo real, y de previsiones en función de sus reglas de operación.
- Calibración
- Validación de umbrales
- Análisis de inundaciones de origen pluvial-MERLIN PLUVIAL
- Visores perfiles adicionales: Protección Civil, Ayuntamientos
- ...

### Algunas dificultades/problemas en Galicia Costa

- Previsión muy dependiente de la previsión meteorológica a diferentes horizontes temporales
- Previsión muy sensible a los picos de precipitación intensa y cortos en el tiempo (1-2 horas)-fenómenos convectivos NOWCASTING
- Previsión muy sensible a la variabilidad espacial de la precipitación

## Algunas dificultades/problemas en Galicia Costa

- Cuencas pequeñas. Previsión muy sensible a la variabilidad espacial





**Innovaugas 4.0** es un proyecto a través de COMPRA PÚBLICA INNOVADORA para avanzar hacia una gestión de los recursos hídricos en Galicia verdaderamente integral, que aborde la protección y el equilibrio de los ecosistemas y los recursos naturales en paralelo al bienestar económico y social equitativo.

Ejes:

- [Sistema integral de información hidrológica para una gestión avanzada de los recursos hídricos](#)
- [Fortalecimiento de las capacidades de preparación y adaptación al cambio climático](#)
- [Economía circular en el ciclo integral del agua](#)

DESARROLLO, IMPLANTACIÓN Y VALIDACIÓN DE UN SISTEMA AVANZADO PARA LA ADAPTACIÓN AL CAMBIO CLIMÁTICO QUE INTEGRE LAS PRINCIPALES VARIABLES RELACIONADAS CON LA PREPARACIÓN Y RESPUESTA FRENTE A INUNDACIONES Y SEQUÍAS Y CON LA GESTIÓN DE RECURSOS HÍDRICOS:

- ✓ Integración de los sistemas de monitorización y predicción en una única plataforma.
- ✓ Nuevas aproximaciones al fenómeno de la predicción de inundaciones como el empleo de técnicas de predicción innovadoras: deep learning, machine learning
- ✓ Extrapolación de predicciones al resto de puntos de la red hidrográfica de Galicia Costa
- ✓ Análisis de eventos: empleo de imagen satelital y vehículos no tripulados-calibración del sistema
- ✓ SAD: Sistema ayuda a la decisión: por ejemplo en la gestión de embalses.

### NUEVOS CONVENIO UDC

- ✓ MERLIN PLUVIAL
- ✓ Efecto Cambio Climático





XUNTA  
DE GALICIA

# EVOLUCIÓN DE LOS SISTEMAS DE ALERTA TEMPRANA FRENTE AL RIESGO DE INUNDACIÓN EN GALICIA COSTA

[planificacionhidroloxica.augas@xunta.gal](mailto:planificacionhidroloxica.augas@xunta.gal)

Ourense, 04 de octubre de 2022