

# EVALUACIÓN MULTI-ESCALA DEL RIESGO DE INUNDACIÓN BAJO PROYECCIONES CLIMÁTICAS: el río Miño y la ciudad de Ourense

**FLOODs 2022**

4- 5 Octubre, Ourense

M. deCastro

(mdecastro@uvigo.es)

# Tendencias y proyecciones futuras de las inundaciones.

- AR6 del IPCC :
  - La intensidad y frecuencia de precipitaciones extremas han aumentado en la mayoría de las regiones desde 1950.
  - Es altamente posible que las precipitaciones fuertes se vuelvan más frecuentes y más intensas debido al calentamiento global.
  - La probabilidad de inundaciones compuestas de **lluvias extremas + desbordamientos fluviales** ha aumentado y seguirá aumentando en el futuro.
  - **Aumento de la gravedad de los peligros de inundación (alto nivel de confianza).**

# Inundación de 1696

OLGA GALLEGO DÓMINGUEZ

## AS BARCAS E OS BARCOS DE PASAXE DA PROVINCIA DE OURENSE NO ANTIGO RÉXIME



BOLETÍN AURIENSE

Anexo 24

MUSEO ARQUEOLÓXICO PROVINCIAL  
Ourense, 1999

Sobre isto deixou consignado o cura da parroquia de Santa Eufemia de Ourense o que pasou o día 8 de decembro do ano 1696<sup>51</sup>:

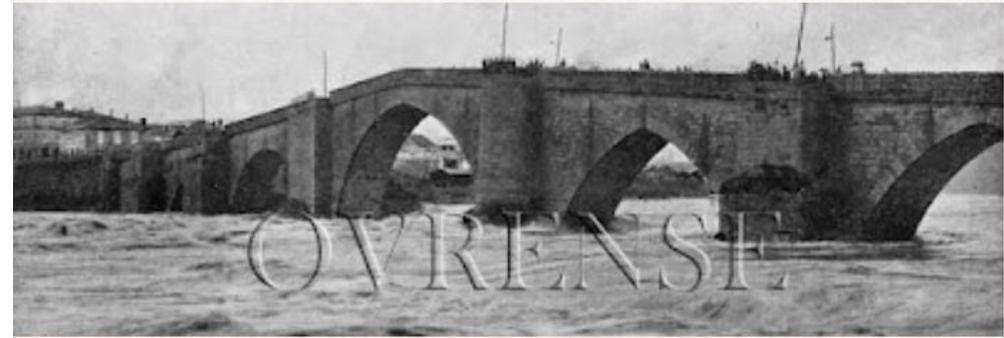
“...sucedió el venir una chrecida de Miño que nunca tal se acordó confesado por boca de los mas biejos que se allaban en la ciudad, llegó a pasar más cantidad de agua por detrás de Nuestra Señora de los Remedios de la que lleba el Miño en algunos tienpos de hibierno; no le faltó dos pies para entrar dentro de la ermita de Nuestra Señora de los Remedios por la puerta trabiesa; Todos los ojos de la puente llevaban agua con abundancia de tal forma que no le faltó bara castellana para cubrir el cortamar del arco mayor, inudó quasi todo el soto que llaman del rei, **llebó todas quantas barcas y barcos abía en el río** por no aber donde recojerlas y prinçipalmente la lástima a que tubimos es de **aber llebado la barcha que llaman da Sardiñeira**, junto a S. Juan de la Rosa, **cargada de jente** y mucha de importancia, debió de llebar entre leña y maderá **más de çien mil caros fuera de muchas cubas, lechones y caballerías** y muchas casas enteras. **En el lugar de Barbantes despues de llebar la barca llebó más de la mitad del lugar** y faltó mucha gente en todas las riberas del Miño, en la beiga del Louro, que así se llama ques a donde rebalsa el Miño con el entropiezo de la mar; entre otras muchas cosas se allaron dos padres de San Benito que fueron para allí y una señora de buen porte y un sazerdote y otras muchas personas que llebó el río con muchas más que no parecerían, llobió pocos menos días que quando fue el dylubio, todo esto pongo aquí por curiosidad... concurrió más gente a ver el Miño que si fuera un día de romería de Nuestra Señora de los Remedios...”.

# Zona del puente viejo



SEPTIEMBRE 2022

DICIEMBRE 1909



DICIEMBRE 1959

> 8000 m<sup>3</sup>/s

# Zona del puente viejo



SEPTIEMBRE 2022



ENERO 2001

5500- 6000 m<sup>3</sup>/s  
> 8 m



DICIEMBRE 2019

> 3500 m<sup>3</sup>/s  
> 7 m

# Zona del centro comercial y la N-120

SEPTIEMBRE 2022



DICIEMBRE 2000



FEBRERO 2016



# Piscinas de Oira y Termas de Outeriz

SEPTIEMBRE  
2022



DICIEMBRE 2019



# Objetivo y Motivación

Existen muchas incertidumbres sobre la magnitud de los riesgos de inundación futura a escala regional o incluso local.

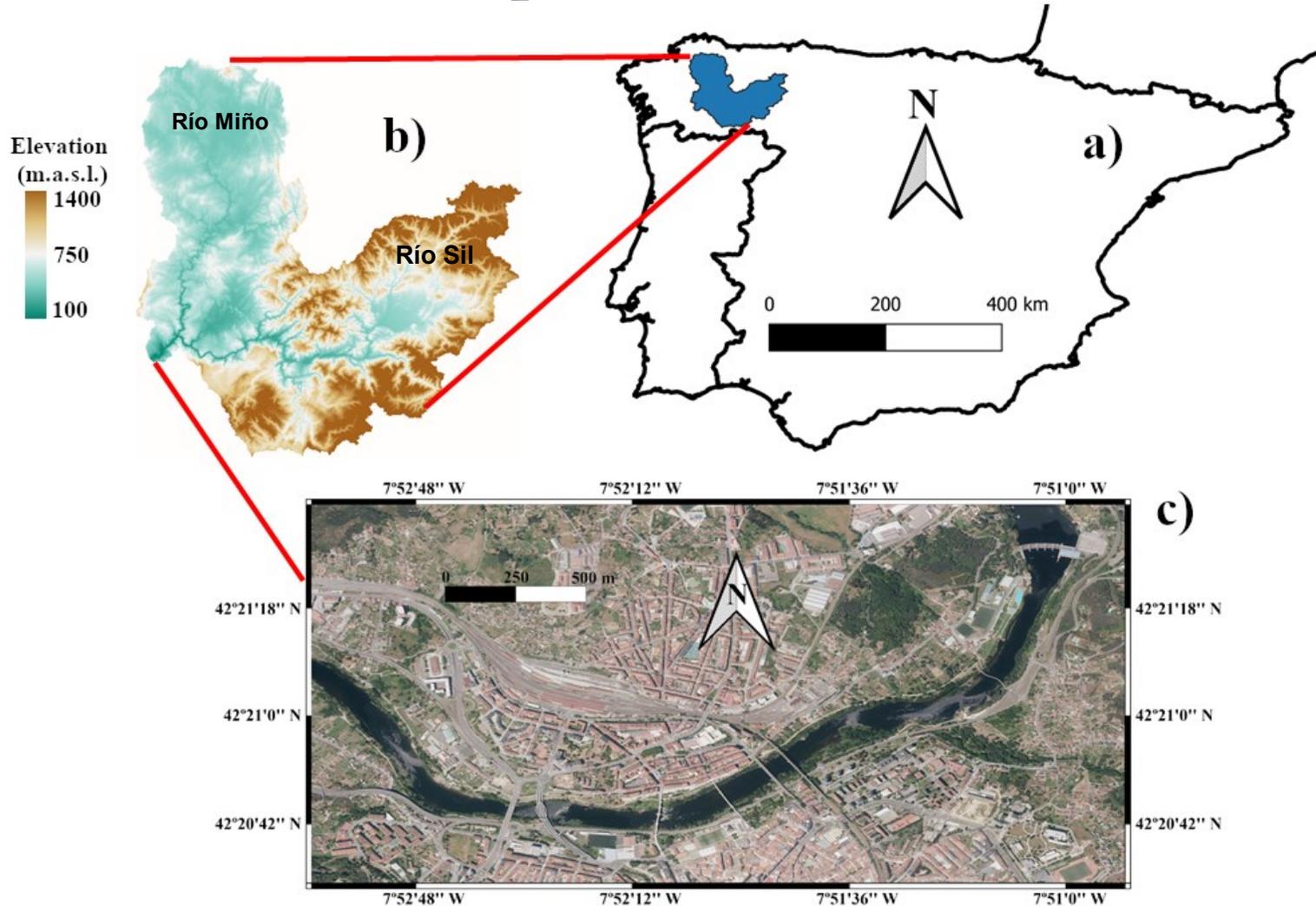
- Análisis de la evolución futura del riesgo de inundación en la cuenca del Miño- Sil y sus efectos sobre la ciudad de Ourense.

Lo que permitirá conocer las implicaciones del cambio climático en eventos extremos a nivel local.

- Se realizará un estudio multiescala en el que a partir de la precipitación histórica y futura se integrarán un modelo hidrológico y uno hidráulico que permitirá conocer en detalle aquellos eventos capaces de producir un impacto significativo.

El conocimiento del riesgo de inundación futura y de las áreas más vulnerables de la ciudad permitirá tener la anticipación necesaria para tomar medidas efectivas que mitiguen y palien los efectos negativos de estos eventos.

# Cuenca del Miño-Sil y ciudad de Ourense.



# Datos de precipitación históricos y futuros

Modelos climáticos globales (GCMs) del proyecto CMIP5 (<https://pcmdi.llnl.gov/mips/cmip5/>).

Modelos climáticos regionales (RCMs) del proyecto EURO-CORDEX (<http://www.euro-cordex.net/>).

## Características de los datos Climáticos

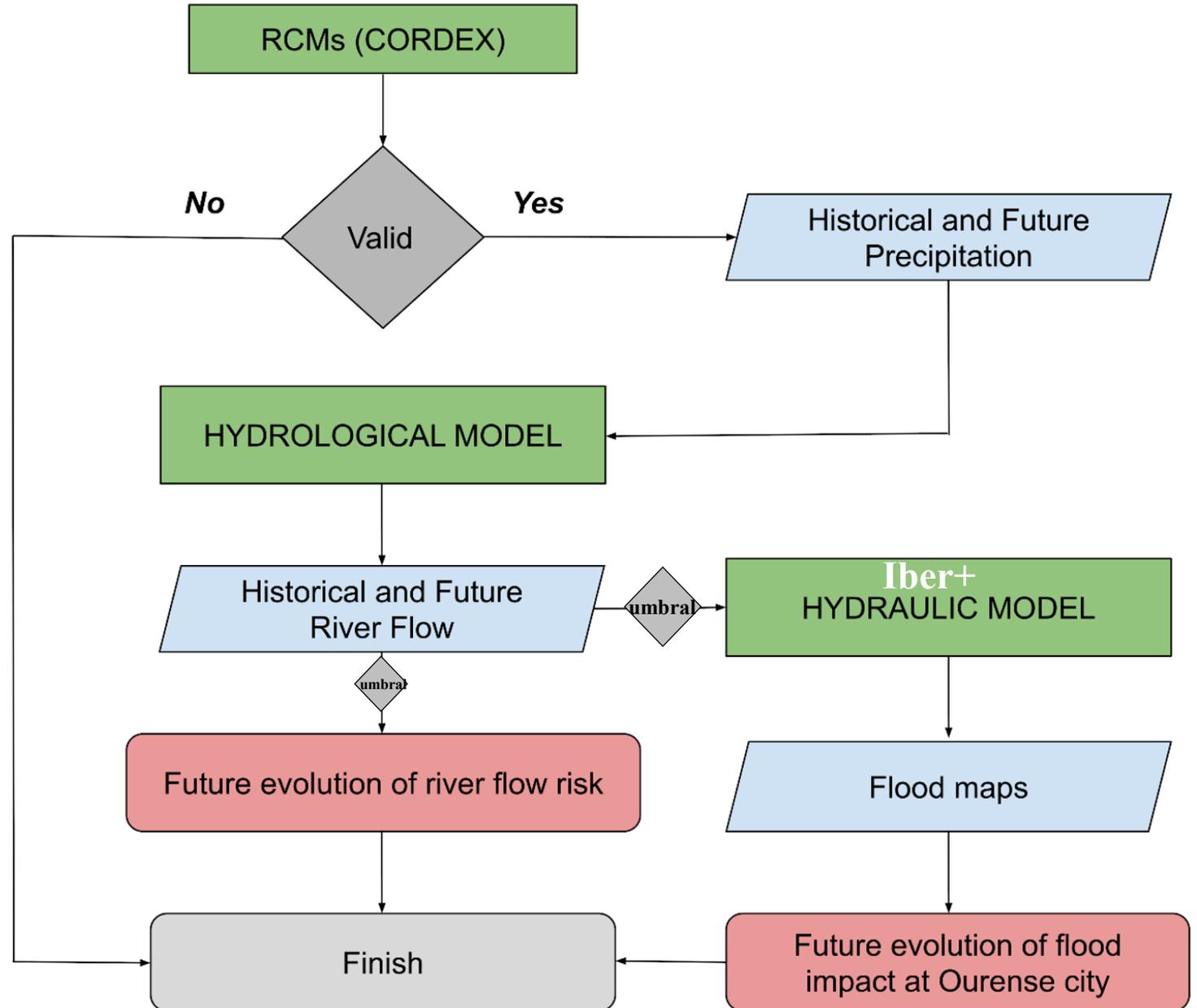
- 31 RCMs
- Resolución espacial RCMs ( $0.11^{\circ} \times 0.11^{\circ}$ ) ~11 km
- Resolución temporal, diaria
- Periodo histórico 1990- 2019
- Periodo Futuro 2070- 2099
- Escenario de emisión de gases de efecto invernadero RCP8.5

## Datos pluviómetros

- MeteoGalicia ([www.meteogalicia.gal](http://www.meteogalicia.gal))
- 52 pluviómetros distribuidos en la cuenca.
- Periodo 2008- 2020

# Procedimiento

- 2-3 semanas por RCM para simular 60 años (30 históricos + 30 futuros) obteniendo valores a escala horaria
- 1000 simulaciones hidráulicas (Iber+ 2D) de eventos de 24 horas en la ciudad de Ourense.
- Simulaciones ejecutadas en: un procesador AMD Ryzen 7 2700X, 32 GB de RAM y una Nvidia RTX 3080 ti GPU (Iber+).



# Validación de los modelos climáticos regionales.

#	Global // Regional Climate Model	Perkins Test	P <sup>99</sup> Test
1	CNRM-CERFACS-CNRM-CM5 CLMcom// CCLM4-8-17	-	-
2	CNRM-CERFACS-CNRM-CM5_RMIB-UGent//ALARO-0	-	-
3	CNRM-CERFACS-CNRM-CM5_SMH// RCA4	-	-
4	ICHEC-EC-EARTH_CLMcom//ETH-COSMO-crCLIM-v1-1	Yes	Yes
5	ICHEC-EC-EARTH_DMI//HIRHAM5	-	-
6	ICHEC-EC-EARTH_KNMI// RACMO22	Yes	Yes
7	ICHEC-EC-EARTH_SMHI//RCA4	-	-
8	IPSL-IPSL-CM5A-MR_DMI//HIRHAM5	-	-
9	IPSL-IPSL-CM5A-MR_GERICS//REMO2015	-	-
10	IPSL-IPSL-CM5A-MR_IPSL-INERIS// WRF331F	-	-
11	IPSL-IPSL-CM5A-MR_KNMI//RACMO22E	-	-
12	IPSL-IPSL-CM5A-MR_SMH// RCA4	-	-
13	MOHC-HadGEM2-ES_CLMcom// CCLM4-8-17	Yes	Yes
14	MOHC-HadGEM2-ES_CLMcom//ETH-COSMO-crCLIM-v1-1	Yes	Yes
15	MOHC-HadGEM2-ES_CNRM//ALADIN63	-	-
16	MOHC-HadGEM2-ES ICTP//RegCM4-6	-	-
17	MOHC-HadGEM2-ES_SMHI//RCA4	-	-
18	MPI-M-MPI-ESM-LR CLMcom// CCLM4-8-17	-	-
19	MPI-M-MPI-ESM-LR_CLMcom//ETH-COSMO-crCLIM-v1-1	Yes	-
20	MPI-M-MPI-ESM-LR_CNRM//ALADIN63	-	-
21	MPI-M-MPI-ESM-LR_DMI//HIRHAM5	-	-
22	MPI-M-MPI-ESM-LR ICTP//RegCM4-6	-	Yes
23	MPI-M-MPI-ESM-LR_KNMI//RACMO22E	-	-
24	MPI-M-MPI-ESM-LR_MPI-CSC//REMO2009	-	-
25	MPI-M-MPI-ESM-LR_SMHI//RCA4	-	-
26	NCC-NorESM1-M_CLMcom//ETH-COSMO-crCLIM-v1-1	Yes	Yes
27	NCC-NorESM1-M_CNRM//ALADIN63	-	-
28	NCC-NorESM1-M_GERICS//REMO2015	-	-
29	NCC-NorESM1-M_IPSL//WRF381P	Yes	Yes
30	NCC-NorESM1-M_KNMI//RACMO22E	-	-
31	NCC-NorESM1-M SMHI//RCA4	-	-

## Métodos:

- Test de Perkins (funciones de densidad de probabilidad diaria): Compara toda la serie mostrando la capacidad de los modelos para detectar valores extremos.
- Percentil 99: desviación de los modelos en eventos de precipitación extrema (percentil 99).
- Estación húmeda (Noviembre- Marzo)

## Criterio:

- 90% en el test de Perkins & < 25% de desviación en los valores extremos.

Solo 6 RCMs cumplen el criterio (4, 6, 13, 14, 26 y 29). Sus datos se utilizan para alimentar el modelo hidrológico para simular el caudal futuro del Miño.

# Caudal del Miño histórico y futuro para diferentes percentiles

Models		Percentiles									
		5	10	25	50	75	90	95	99	99.5	99.9
4	H	42.4	50.2	89.2	223.5	388.2	525.4	661.2	1088.6	1304.6	2012.0
	F	39.6	48.8	79.1	204.8	375.9	516.7	644.3	1137.7	1449.1	2211.3
6	H	45.2	53.6	97.8	232.5	395.8	541.9	699.4	1128.6	1340.8	1992.0
	F	42.3	50.6	85.3	212.1	388.7	540.6	694.4	1255.5	1561.6	2211.7
13	H	40.4	49.1	77.5	213.4	387.2	519.5	658.7	1075.1	1347.1	2250.8
	F	37.9	47.0	70.0	197.3	349.9	470.5	604.9	1111.1	1481.3	3167.4
14	H	40.9	49.7	79.6	219.2	388.3	514.2	655.4	1132.0	1482.1	2673.9
	F	37.4	46.8	68.8	199.7	351.2	462.2	602.8	1096.9	1517.8	2815.6
26	H	41.9	50.5	86.2	233.1	406.5	579.5	725.8	1159.6	1379.4	1986.6
	F	39.6	47.7	75.2	211.5	373.0	516.5	632.4	1006.8	1314.9	2233.9
29	H	48.4	57.6	104.6	244.8	394.6	526.1	642.5	1006.4	1223.8	1625.2
	F	43.9	52.9	88.7	228.6	379.9	487.4	582.7	927.2	1069.3	1766.1

## Día bajo alerta de inundación.

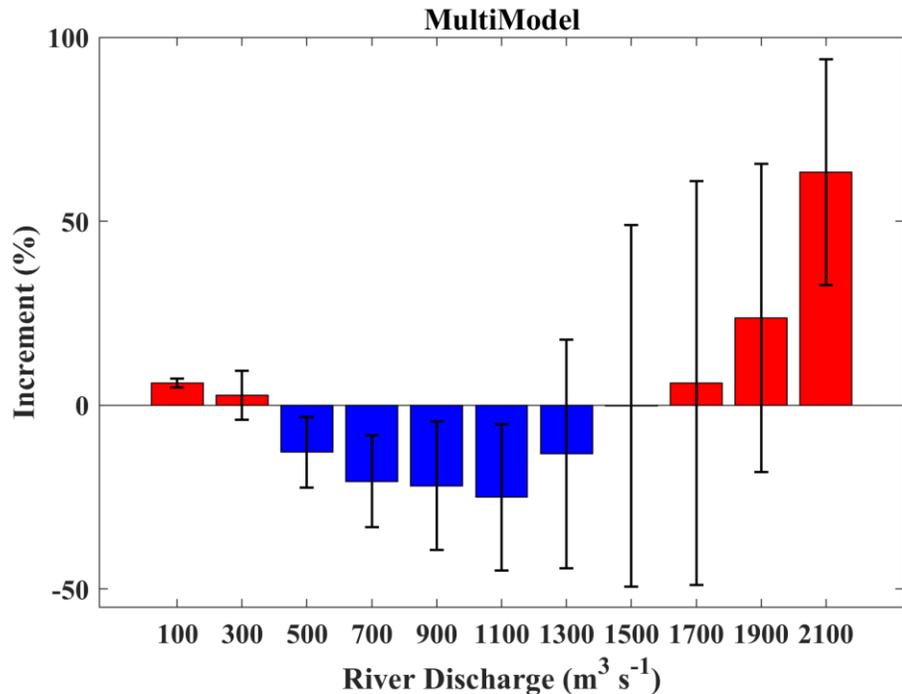
Caudal horario del Miño a su paso por Ourense > 2000 m<sup>3</sup> s<sup>-1</sup> (Fernández- Nóvoa et al., 2020).

## Consecuencias:

Inunda áreas peatonales y causa importantes daños en infraestructuras.

Caudales extremos (percentil 99.9), aquellos capaces de producir inundaciones, aumentarán en el futuro (~15%).

# Variaciones en el caudal del Miño



Porcentaje de cambio futuro (2070- 2099) en la frecuencia de rangos de caudal del Miño con respecto al periodo histórico (1990- 2019).

**Multimodelo:** promedio a todos los modelos que superaron la validación con datos de pluviómetros.

**Variación futuro vs histórico.**

$$\text{Incremento (\%)} = \frac{F-H}{H} * 100$$

Los caudales bajos (< 400 m³s⁻¹) y altos (> 1600 m³s⁻¹) del río aumentarán en el futuro.

Los intermedios disminuirán.

**Intensificación del ciclo hidrológico con un incremento de situaciones de sequía e inundación.**

# Evolución futura de las alertas por inundación en Ourense

Para caudales del Miño superando el umbral de alerta por inundación ( $>2000 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$ ):

- Descarga media histórica:  $2536 \pm 198 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$
- Descarga media futura:  $2713 \pm 234 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$ , un **7% superior al histórico**.

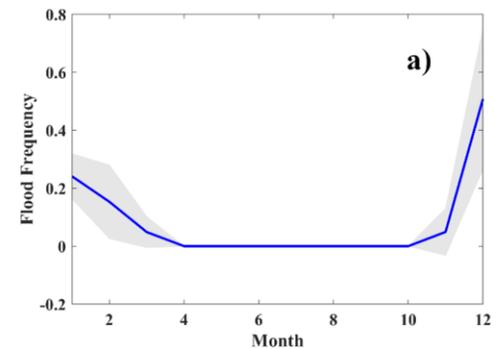
Model	<i>Alert Flood Situations</i>		
	Historical Period (1990-2019)	Future Period (2070-2099)	Increase (%)
4	22	24	9
6	19	31	63
13	26	42	62
14	34	43	26
26	22	29	32
29	10	11	10
<b>Mean</b>	<b>22±7</b>	<b>30±11</b>	<b>36</b>

El número de días bajo alerta por inundación aumentarán en media un **36%** en el futuro.

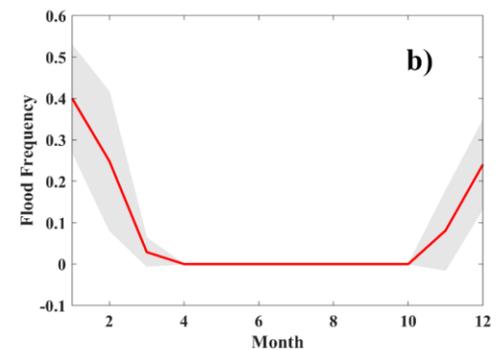
## Consecuencia:

**Aumento tanto de la frecuencia como de la intensidad de inundaciones en Ourense para el futuro.**

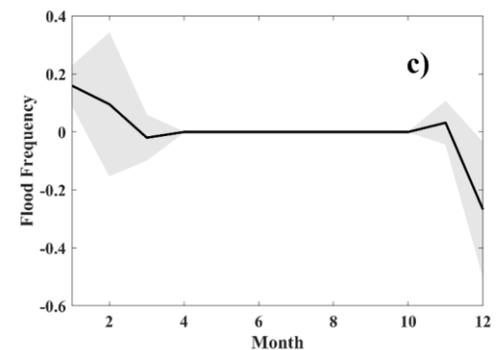
# Estacionalidad de los eventos futuros de inundación



Frecuencia de alertas por inundación histórica.  
51% en Diciembre y 24% en Enero (suman 75%)



Frecuencia de alertas por inundación futura.  
40% en Enero, 25% en Febrero, 24% en Diciembre (suman 89%)



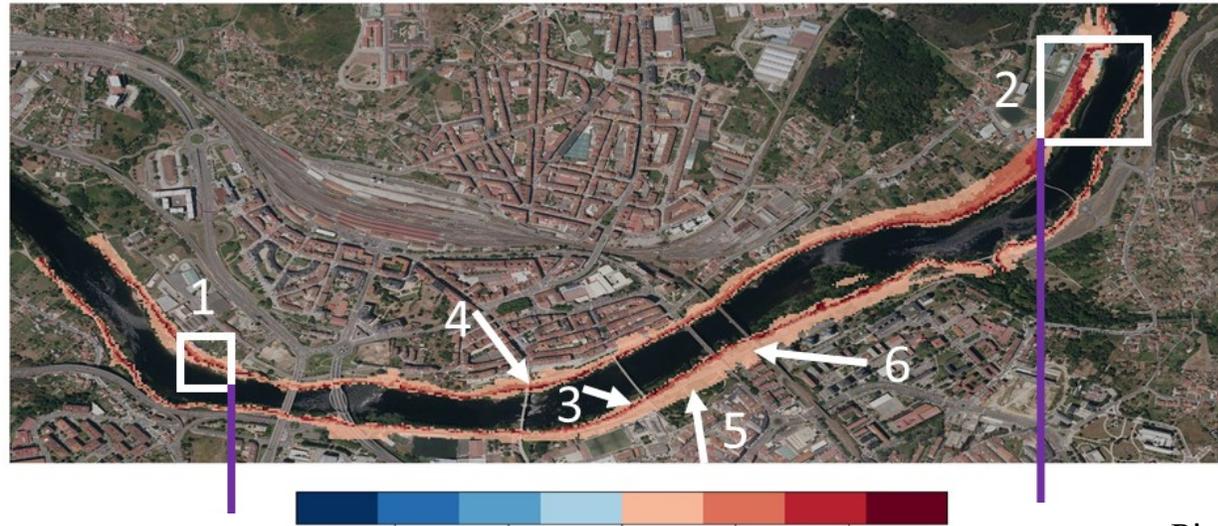
Diferencia en la frecuencia de alertas por inundación futura menos histórica.  
**La estación de inundaciones se va a retrasar en el futuro.**

Frecuencia de alertas por inundación. Cada mes se divide el número de alertas del mes entre el número total. La suma de todos los meses es 1.

# Impacto de los eventos de inundación futura en Ourense

Diferencias en el número de eventos de inundación en el futuro respecto al periodo histórico.

Hasta 15 días más de inundación en 30 años estudiados (1 día más cada 2 años)



Caudales del Miño que supera en umbral pre-alerta ( $1253 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$ ). Iber+.

Termas Chavasqueira.

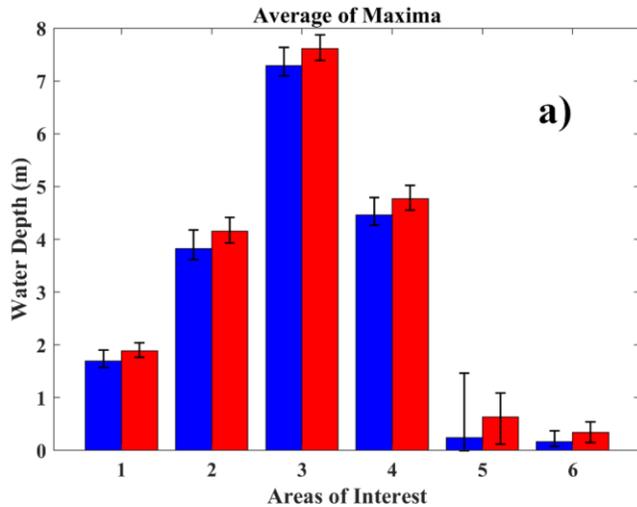


Variability in hazard days



Piscinas Oira.

# Altura máxima de la inundación en zonas significativas

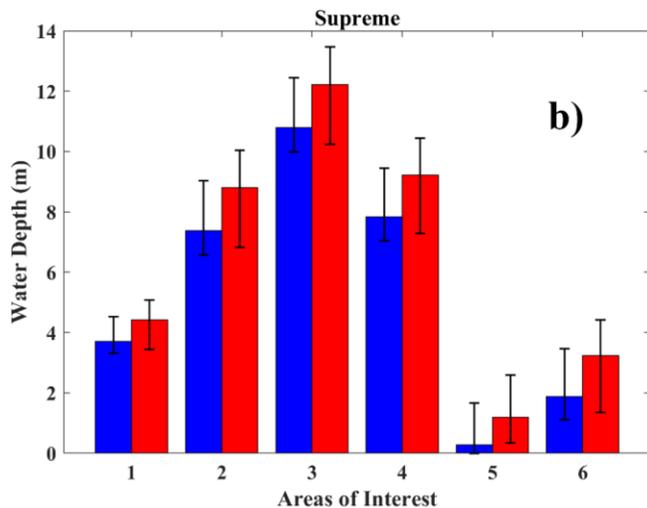


Barras azules: periodo histórico

Barras rojas: futuro

Puntos del 1 al 6: Termas Chavasqueira, Piscinas de Oira, Playa Fluvial Antena, Orilla del parque de Canedo, Parque Miño y N-120.

Aumento de la altura máxima y suprema de inundación en el futuro.



Para las 4 primeras localizaciones aumento del 8% en la altura máxima y del 17% en la suprema.

Parque Miño y N-120 solo son alcanzadas bajo condiciones extremas de caudal del Miño. Porcentualmente son las zonas en las que más aumentará la altura del agua del área inundada en el futuro.

N-120

Altura máxima histórica: 15 cm

Altura máxima futura: 35 cm

# Conclusiones

- Los caudales más bajos ( $< 400 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$ ) y los más altos ( $> 1600 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$ ) del Miño aumentarán en el futuro (2070-2099).
- Los intermedios disminuirán.
- Incremento de situaciones de sequía e inundación.
- El número de días bajo alerta por inundación aumentarán en media un 36%.
- La estación de inundaciones se va a retrasar.
- En el futuro habrá más situaciones críticas en áreas peatonales y con infraestructuras importantes en la ciudad de Ourense.

A wide river with high water levels, surrounded by trees and hills under a cloudy sky. The water is a murky brown color, and the banks are lined with various trees, some of which are partially submerged. In the background, there are rolling hills and a small town or village. The sky is blue with scattered white clouds.

Gracias por su atención

M. deCastro  
([mdecastro@uvigo.es](mailto:mdecastro@uvigo.es))