

Congreso Nacional del Medio Ambiente  
27 de noviembre de 2018

# EMBALSES Y CAMBIO CLIMÁTICO

## Contribución a la estrategia de adaptación al cambio climático (global) de los aprovechamientos hidroeléctricos de ENDESA

Anais Ramos Fuertes  
Agua y adaptación al cambio climático  
#conama2018



- 01** ¿Comportamiento térmico de embalses?
- 02** Planteamiento del proyecto
- 03** Fase I: Información disponible y variables
- 04** Fase II: Tendencias históricas
- 05** Fase III: Modelización numérica
- 06** Conclusiones y líneas futuras de trabajo



# 01

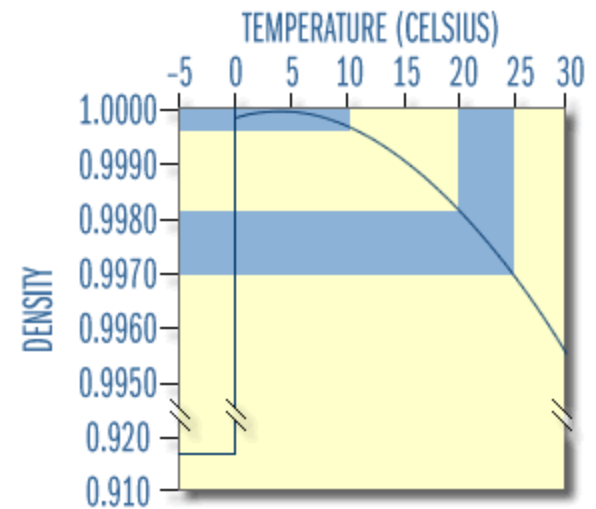
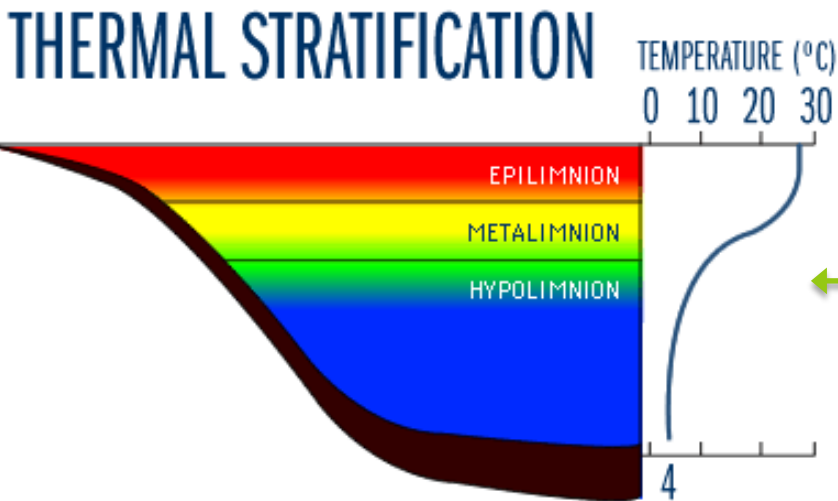
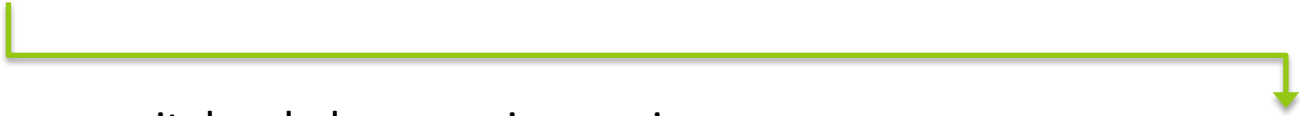
## COMPORTAMIENTO TÉRMICO DE LAGOS Y EMBALSES



# La temperatura en el medio acuático

Afecta directamente a propiedades físico-químicas:  
**Densidad**, solubilidad de gases, viscosidad...

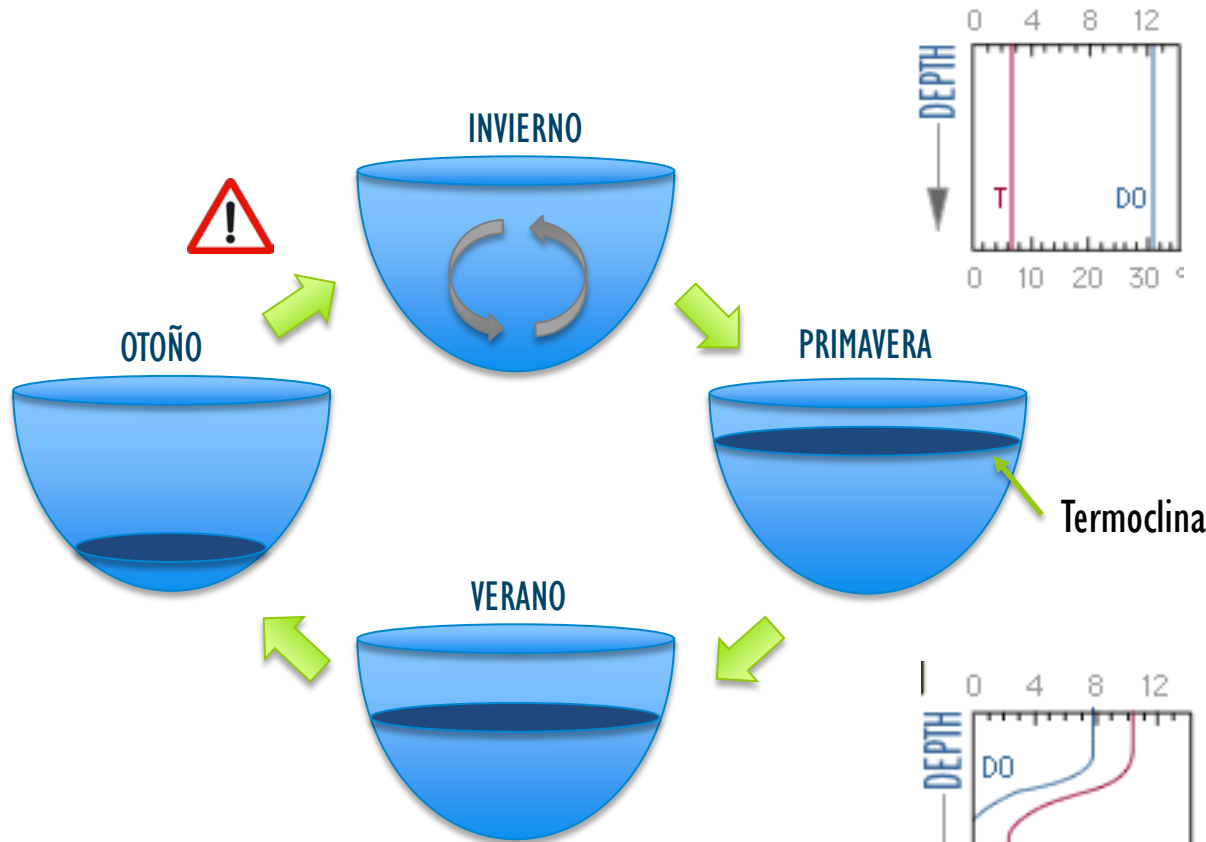
Regula procesos vitales de los organismos vivos:  
 Grado de actividad metabólica  
 Distribución espacial  
 Diversidad



DENSITY/TEMPERATURE RELATIONSHIP FOR DISTILLED WATER. SHADED AREAS SHOW RELATIVE DIFFERENCE IN DENSITY FOR 5°C TEMPERATURE CHANGES.



# Estratificación térmica de lagos y embalses



Mezcla invernal:  
 Reparto de nutrientes y oxígeno en la columna de agua

Estratificación térmica:  
 Epilimnion caliente oxigenado  
 Hipolimnion frío no oxigenado



# 02 PLANTEAMIENTO DEL PROYECTO



## ¿Afecta el cambio global al comportamiento térmico de embalses?

### Cambio global:

- Incremento de temperatura del aire
- Incremento de evapotranspiración
- Incremento de temperatura de aportes
- Alteración de pluviometría
- Reducción de caudal circulante
- Aumento en la demanda
- Cambios de usos del suelo

### Hipótesis de cambio térmico en embalses:

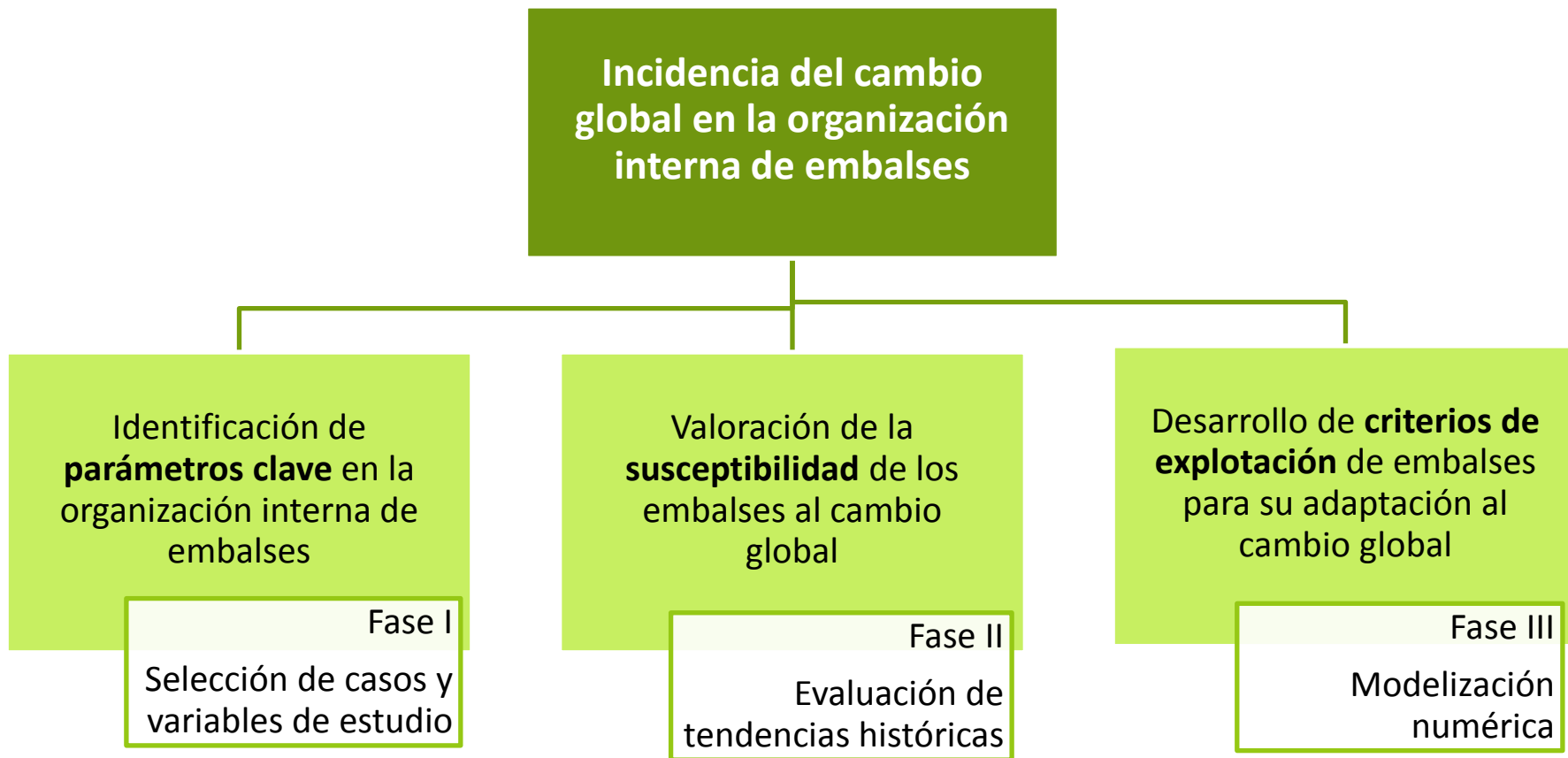
- Incremento de temperatura del agua
- Mayor estabilidad de estratificación térmica (gradiente térmico)
- Mayor duración de la estratificación
- ...



Cambio global: cambio climático más cambios en los usos del agua y del territorio



Objetivos





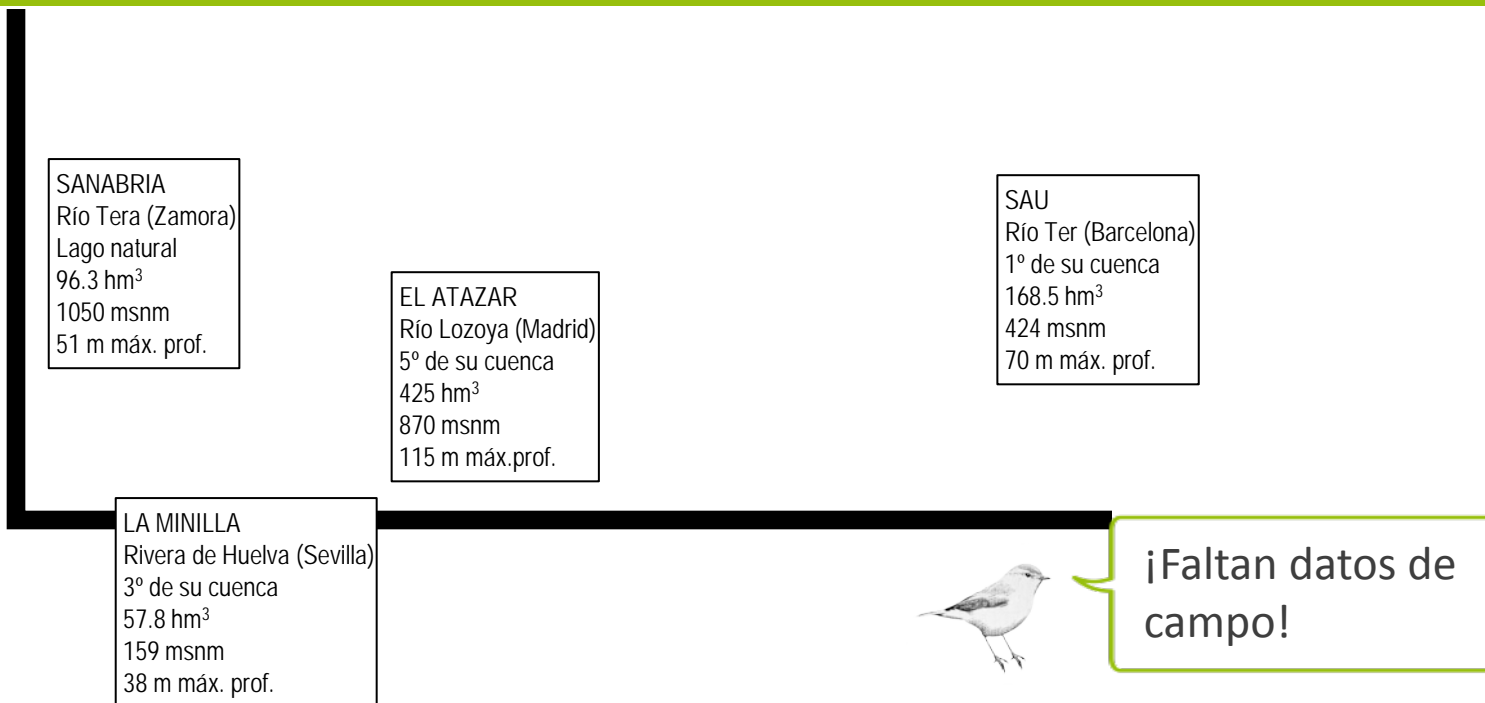


# 03

## FASE I SELECCIÓN DE CASOS Y VARIABLES DE ESTUDIO



## FASE I: DISPONIBILIDAD DE INFORMACIÓN



Caso de estudio	Periodo	Duración	Frecuencia de medida	Fuente
Lago Sanabria	1986-2016	31 años	Mensual	PN Lago de Sanabria
Sau	1963-2017	55 años	Mensual	ACA, ATLL
La Minilla	1976-2016	41 años	Mensual/semanal	EMASESA
El Atazar	1990-2017	28 años	Mensual/quincenal	Canal de Isabel II



## FASE I: DISPONIBILIDAD DE INFORMACIÓN

T (°C)



FASE I: VARIABLES DE ESTUDIO

TEMPERATURA DEL AGUA

- Temperatura media
- Temperatura media ponderada por volumen
- Temperatura superficial (medida a 5 m)
- Temperatura media epilimnion
- Temperatura de fondo (medida a 5 m)
- Temperatura media hipolimnion

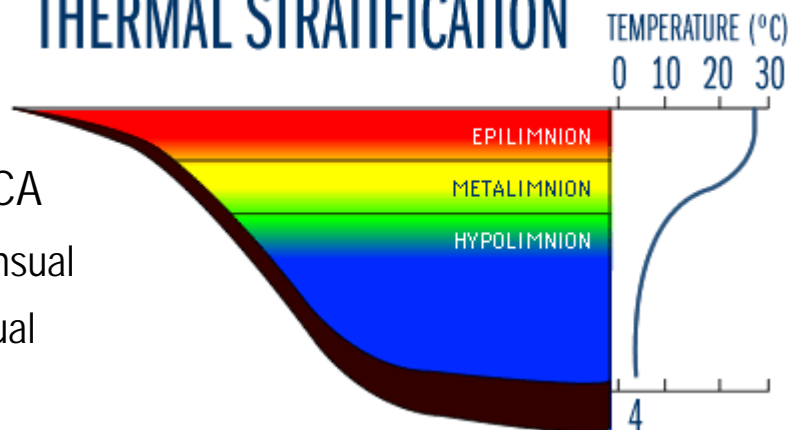
ESTABILIDAD TÉRMICA

- Estabilidad térmica mensual
- Estabilidad máxima anual
- Fecha de máxima estabilidad anual

ESTRATIFICACIÓN

- Fecha de estratificación
- Fecha de mezcla
- Duración de la estratificación

THERMAL STRATIFICATION



HIDROMETEOROLOGÍA

- Caudal circulante
- Temperatura del aire
- Precipitación
- Volumen embalsado
- Tiempo de residencia



# 04

## FASE II EVALUACIÓN DE TENDENCIAS HISTÓRICAS RECIENTES



## Tendencias temporales recientes (unidad/década)

Variable	Unidad	Sanabria	Sau	La Minilla	El Atazar
T. aire media	°C	0.32	0.34	nd	ns
T. aire máxima	°C	0.74	0.40	0.76	-0.26
T. aire mínima	°C	ns	0.29	nd	0.39
Precipitación	mm/mes	-5.80	-1.78	ns	4.16
Tiempo residencia	%	2.21	6.39	3.00	7.88
T. agua media	°C	-0.10	-0.12	-0.26	0.54
T. agua superficie	°C	ns	0.19	0.15	0.76
T. agua fondo	°C	-0.15	-0.10	-0.54	0.53
Estabilidad térmica	%	ns	1.82	10.27	12.78
Fecha estratificación	días	ns	ns	ns	ns
Fecha mezcla	días	3.00	ns	11.70	8.33

nd = no disponible  
 ns = no significativo

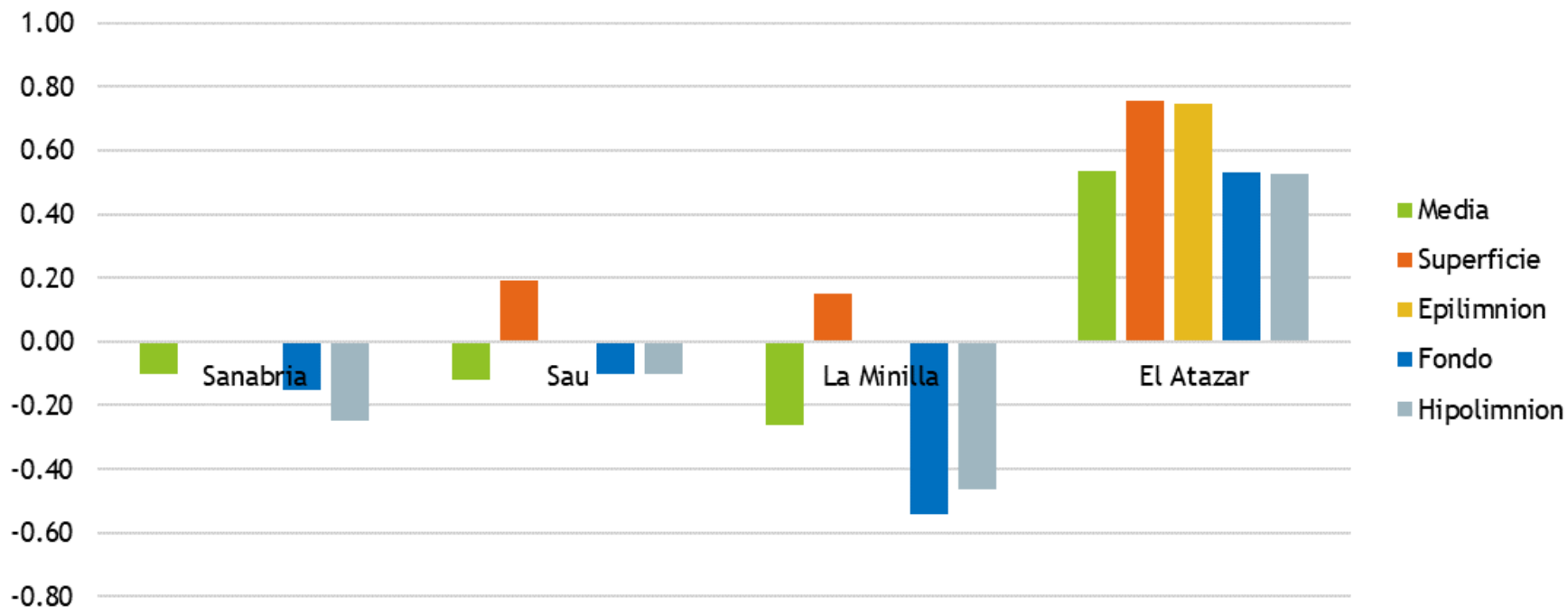
Confiabilidad de la tendencia

Excelente	Ascendente	Aceptable
	Descendente	



FASE II: Resultados principales

Temperatura del agua (°C/década)



Periodo:	1986-2016	1963-2017	1976-2016	1990-2017
Volumen:	96 hm <sup>3</sup>	169 hm <sup>3</sup>	58 hm <sup>3</sup>	425 hm <sup>3</sup>
Posición:	~ 1º	1º embalse	3º embalse	5º embalse



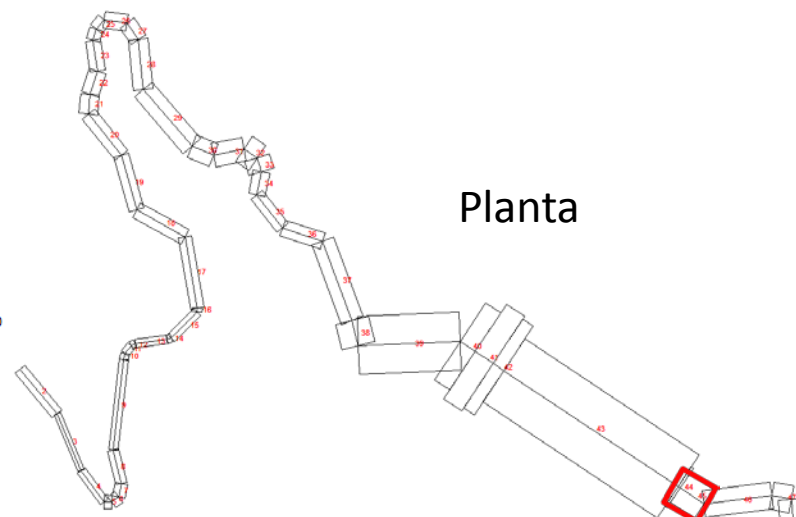
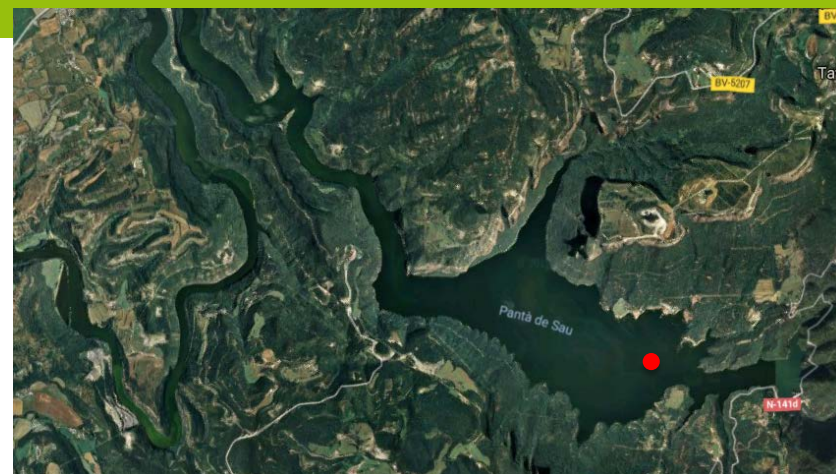
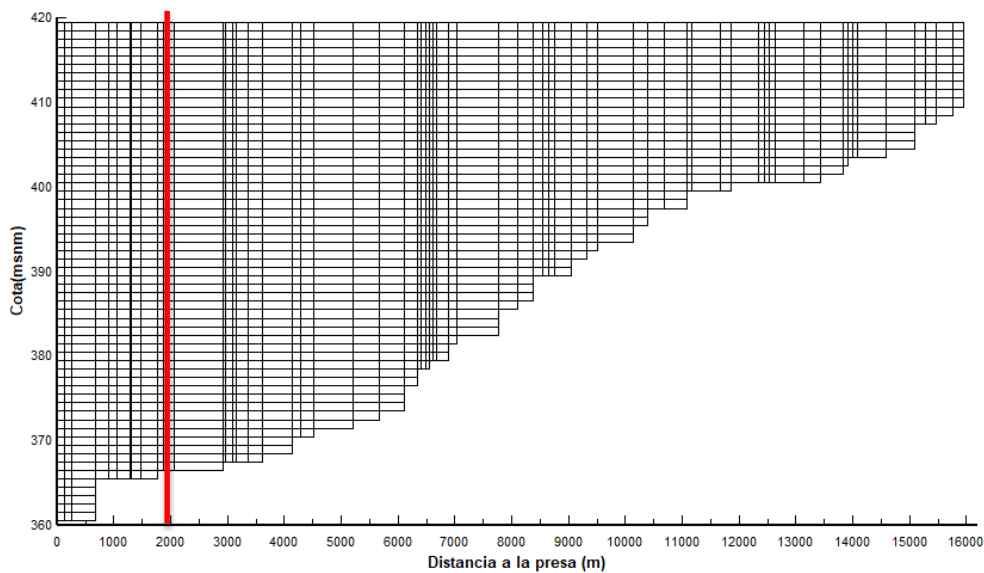
# 05 FASE III MODELIZACIÓN NUMÉRICA





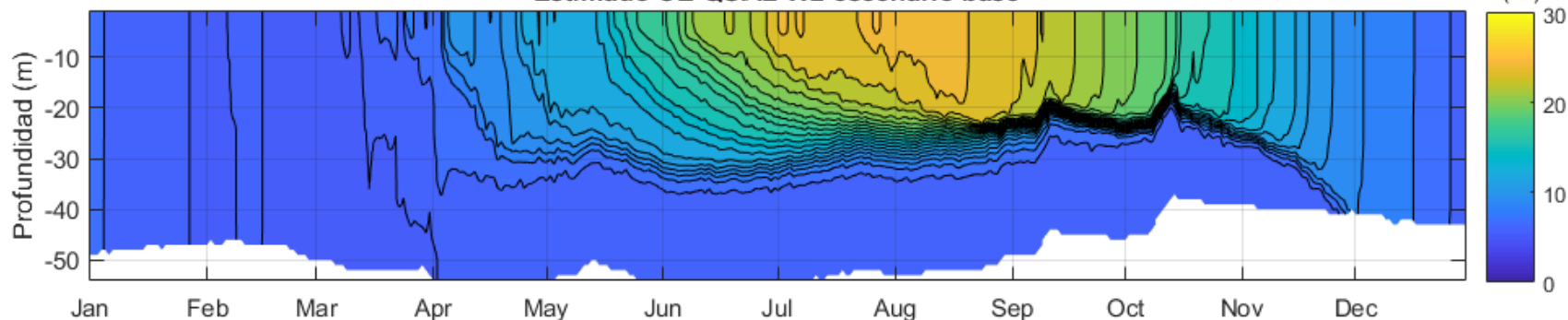
FASE III: Modelo numérico 2D embalse de Sau

Perfil longitudinal

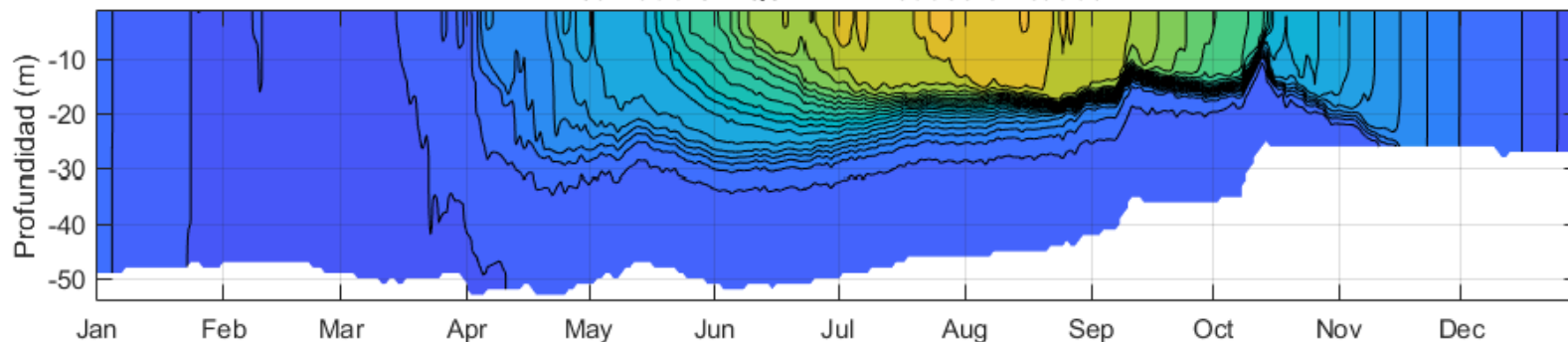




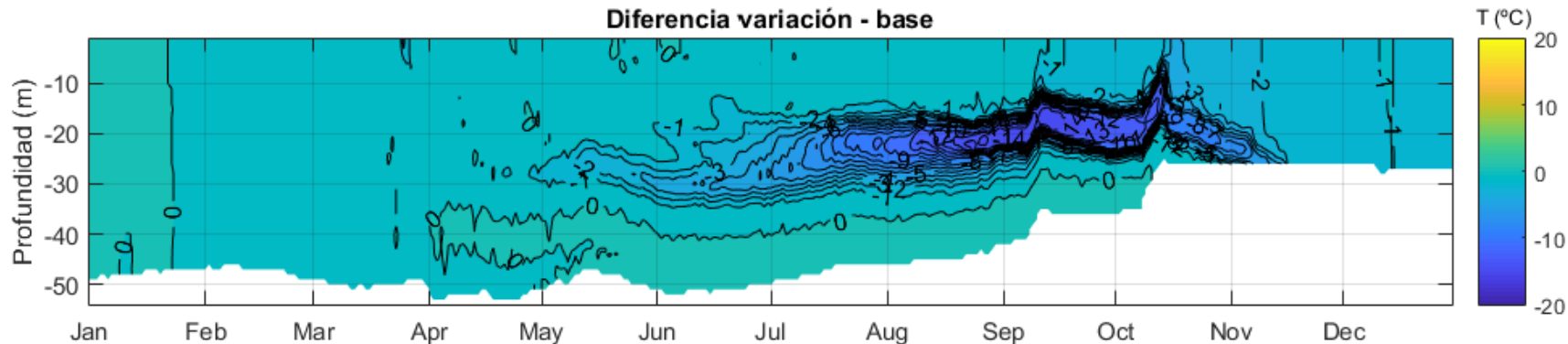
### Estimado CE-QUAL-W2 escenario base



### Estimado CE-QUAL-W2 reducción caudal

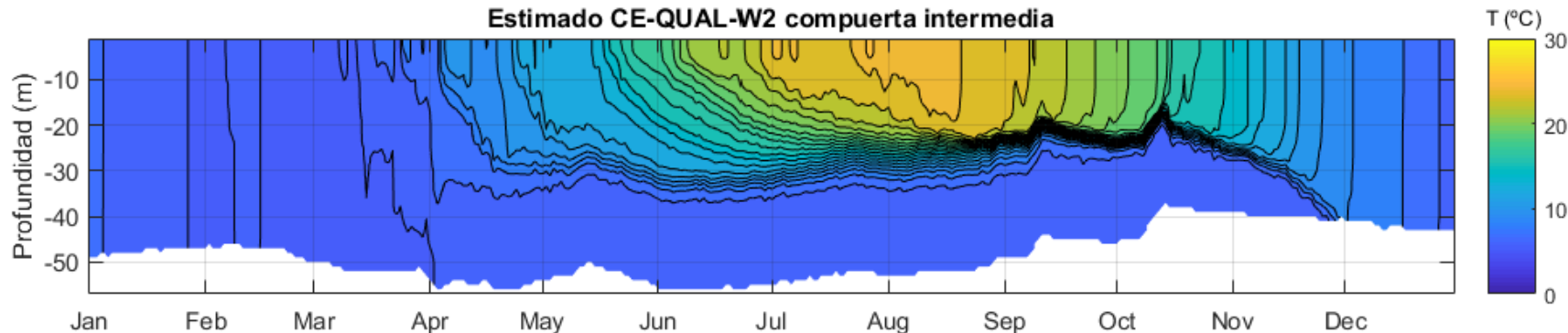


### Diferencia variación - base

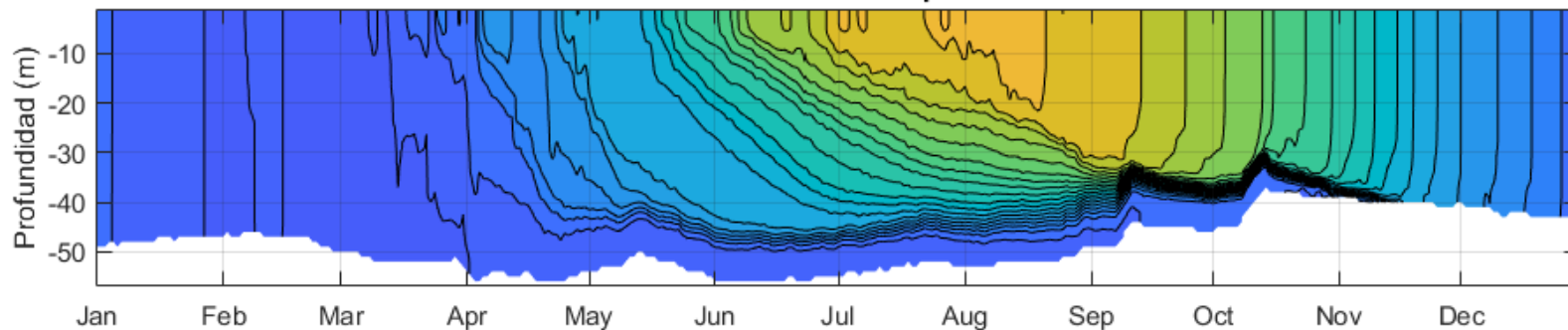




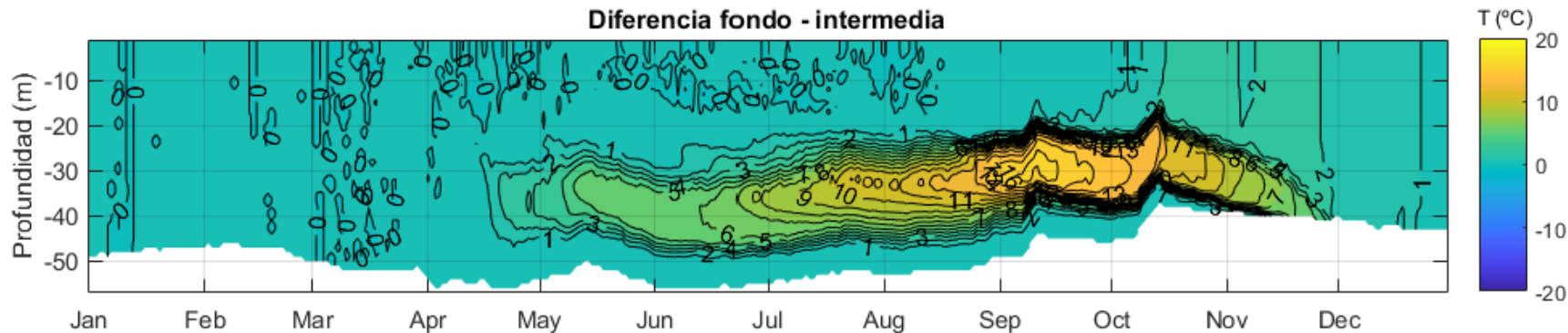
Estimado CE-QUAL-W2 compuerta intermedia



Estimado CE-QUAL-W2 compuerta de fondo

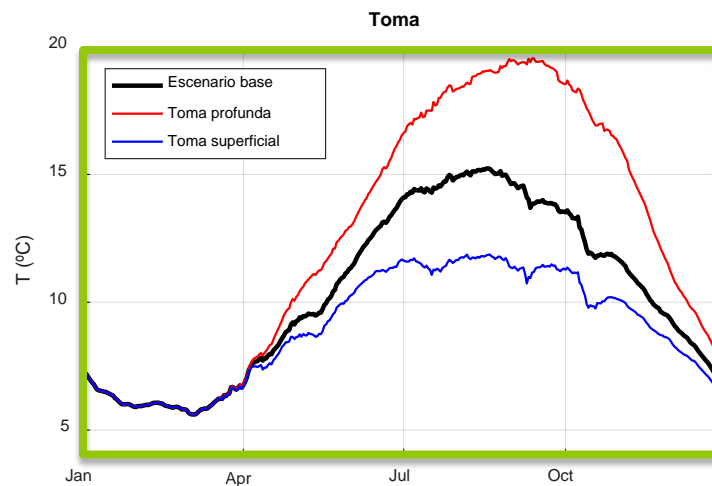
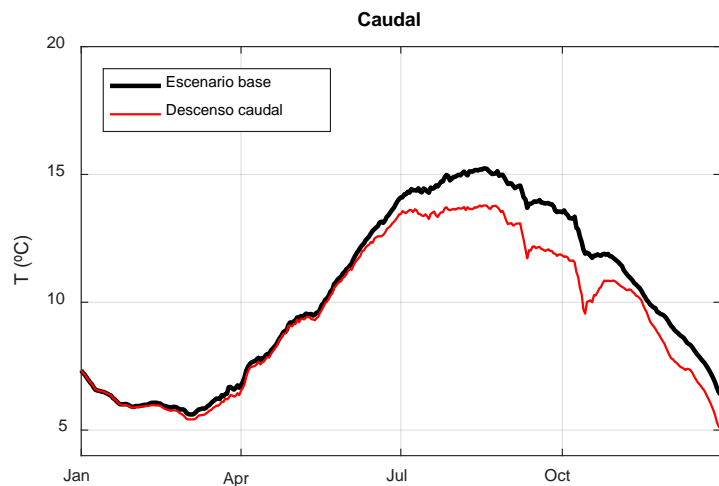
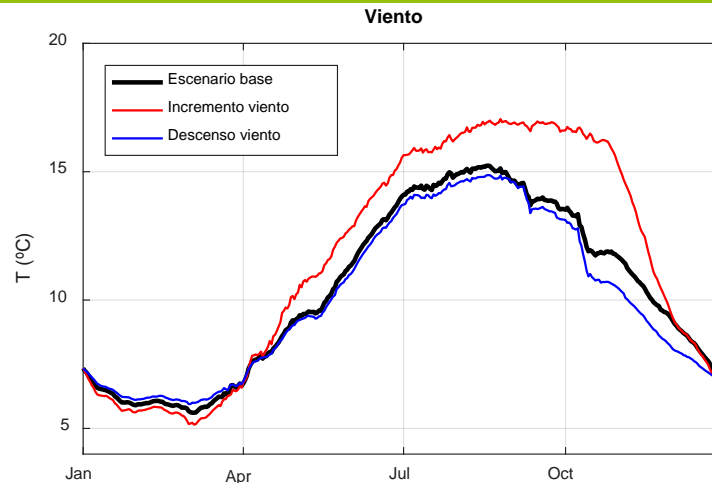
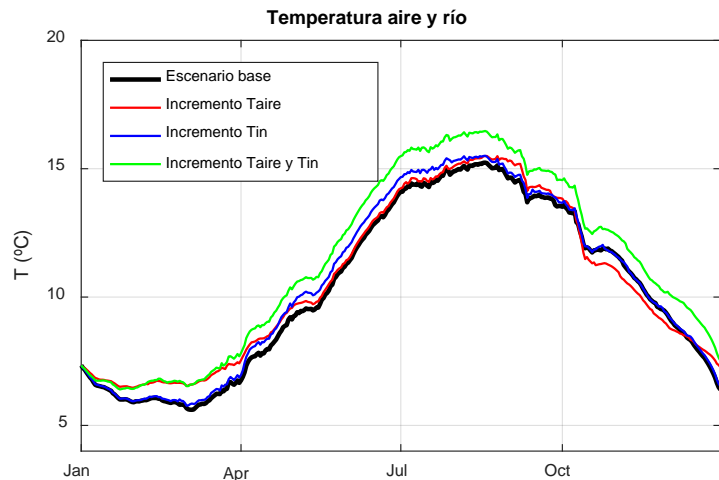


Diferencia fondo - intermedia





# Impacto en la temperatura media del embalse de los diferentes escenarios





# 06 CONCLUSIONES PRELIMINARES



## Conclusiones preliminares

Las grandes masas de agua son *sensores de cambio global* y ofrecen posibilidades de adaptación/mitigación mediante las operaciones de gestión (tiempos de residencia, profundidad de toma).

Los casos estudiados muestran cambios en su comportamiento térmico reciente:

- Sanabria, Sau y La Minilla presentan tendencias coherentes.
- El Atazar presenta un comportamiento diferente.

Los resultados de modelización numérica indican una importante capacidad de manejo del comportamiento térmico de embalses mediante la gestión de tiempos de residencia y profundidades de toma.



## Líneas de trabajo futuro

- Ampliar el número de casos de estudio
- Analizar variación temporal de tendencias
- Gestión conjunta de embalses en cadena
- Escenarios de simulación con variaciones combinadas
- Contemplar más variables de calidad hídrica



¡Faltan datos  
de campo!



# ¡Gracias!

#conama2018

[anais.ramos@upc.edu](mailto:anais.ramos@upc.edu)

Gracias a las entidades financiadoras y colaboradoras: ENDESA, Agència Catalana de l'Aigua, ATLL, EMASESA, Parque Natural del Lago de Sanabria.