

El cambio climático y los recursos hídricos

María José Polo
Catedrática de Ingeniería Hidráulica

11 de mayo de 2022

Grupo de Dinámica Fluvial e Hidrología

Instituto Interuniversitario de Investigación sobre el Sistema Tierra en Andalucía (UGR-UCO-UJA)

Unidad de Excelencia María de Maeztu-DAUCO

Universidad de Córdoba

La reserva hídrica española se encuentra al 44,6 por ciento de su capacidad

Martes 8 de febrero de 2022



La reserva hídrica española está al 44,6 por ciento de su capacidad total. Los embalses almacenan actualmente 25.042 hectómetros cúbicos (hm³) de agua, disminuyendo en la última semana en 88 hectómetros cúbicos (el 0,2 por ciento de la capacidad total actual de los embalses).

AGUA

Febrero empieza con los embalses más secos del cuatrienio en España

- La reserva hídrica nacional baja a un 44,8% de la capacidad total

Situación preocupante

Los embalses se secan: España registra el peor dato de su reserva hídrica de los últimos cinco años

La reserva hídrica española se encuentra al 44,3% de su capacidad total. Los embalses guardan un 28,55% menos que hace un año y un 28,64% menos que la media de los últimos diez años.

Arruina cosechas

Situación crítica en Andalucía por la peor sequía desde los años 50: los embalses apenas alcanzan el 30% de su capacidad

La sequía en Andalucía está arruinando cosechas en toda la cuenca del Guadalquivir, donde algunos embalses están por debajo del 30% de su capacidad.

Contenido

1 Conceptos de partida

2 Clima y reserva hídrica en las Demarcaciones Hidrográficas Intracomunitarias de Andalucía

3 El futuro de la nieve en las Cuencas Mediterráneas y de su impacto hidrológico

4 Sostenibilidad ambiental

5 Reflexión final

La cuenca (i): unidad territorial “funcional”

Porción de territorio que, siguiendo el gradiente topográfico, concentra toda agua que recibe en su superficie hacia un único punto final de salida o cierre



Cuenca hidrográfica

Cuenca que vierte sus aguas directamente al mar



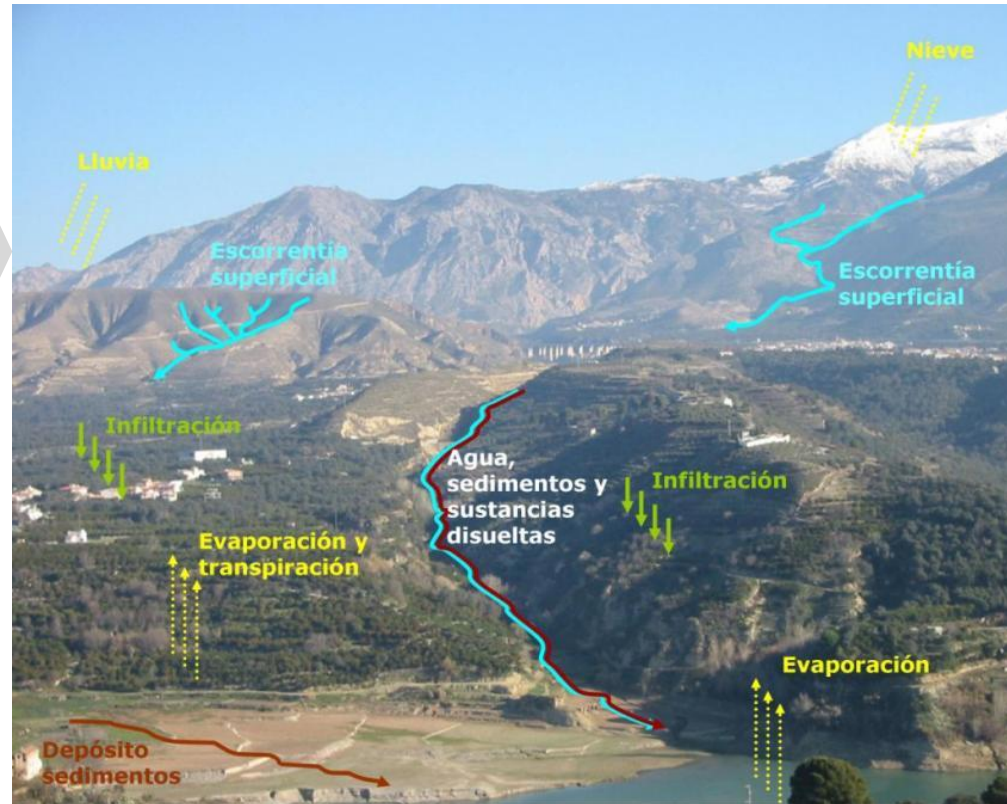
Aguas arriba, aguas abajo

En sentido contrario o no al sentido natural del movimiento del agua (gravitatorio)

La cuenca (ii): los caminos del agua en la cuenca

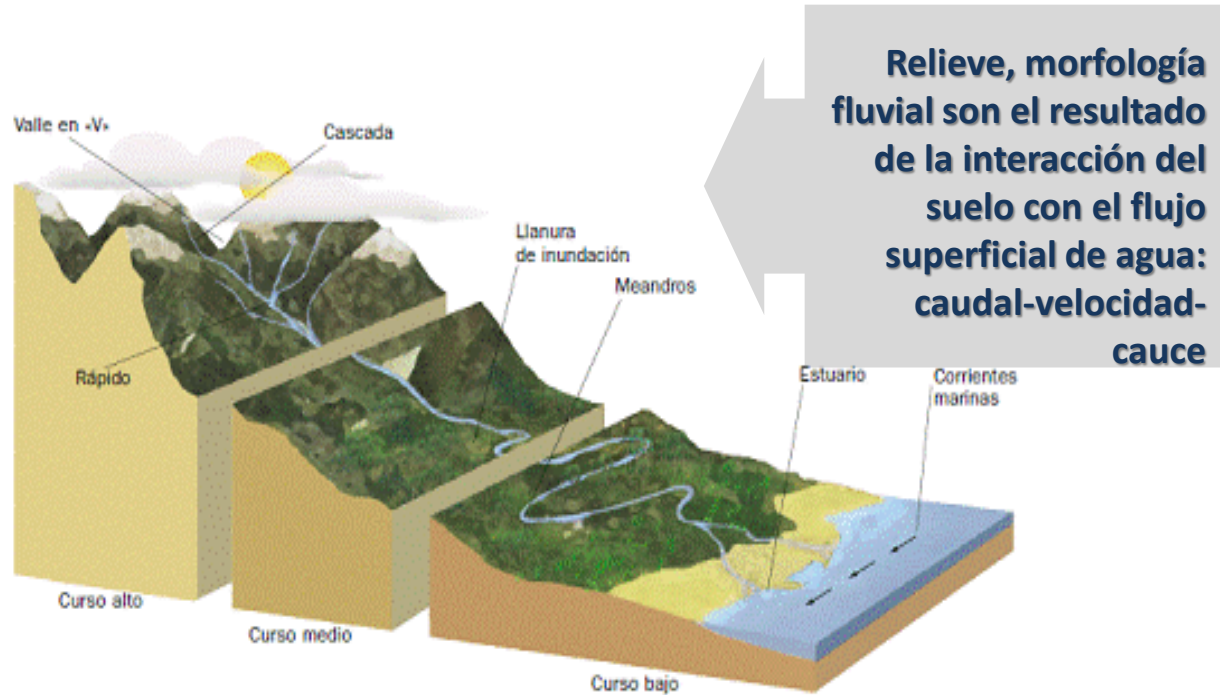
Atmósfera,
hidrosfera,
litosfera: un
conjunto
acoplado a
escala local

Ciclo hidrológico
Transporte de
sedimentos,
nutrientes,
contaminantes



Embalse de Béznar, cuenca Guadalfeo

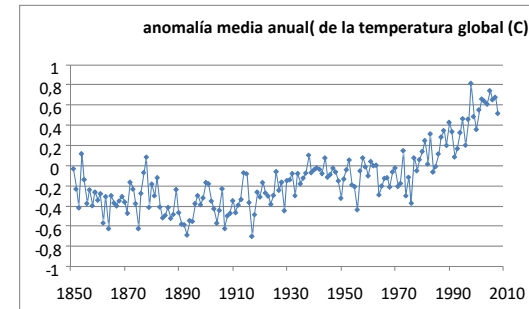
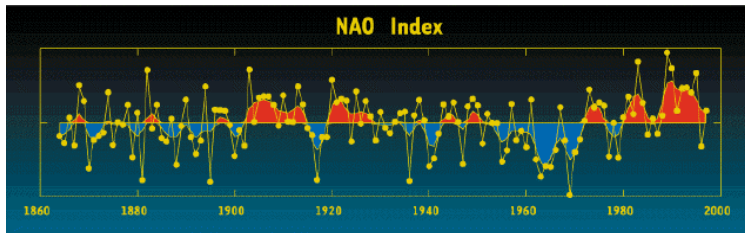
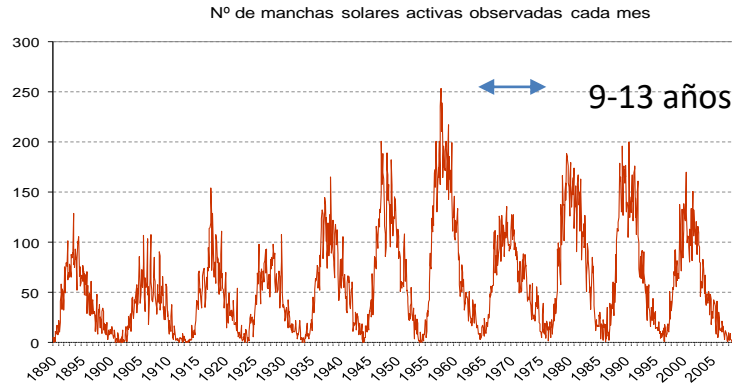
La cuenca (iii): Procesos asociados: morfología, calidad de aguas, biota



El clima y su variabilidad

Resultado de la interacción local de la energía que llega a la Tierra con la atmósfera, los océanos y los continentes, con diferentes ciclos que se superponen: a veces se anulan, a veces se potencian y otras se desfasan. Ciclo solar, ciclo anual, ciclo estacional, ciclo diario.

El planeta ha sufrido diferentes ciclos de enfriamiento-calentamiento; en la actualidad estamos en una etapa de calentamiento global, con subida del nivel medio del mar.



La intervención humana (i): usos del suelo y transformaciones, y emisiones

La distribución de usos de suelo genera la distribución de las demandas de agua asociadas y, con ello, las expectativas de los usuarios respecto a las “garantías” de las administraciones



Recurso

Medio de cualquier clase que, en caso de necesidad, sirve para conseguir lo que se pretende.

Bien

En la teoría de los valores, la realidad que posee un valor positivo y por ello es estimable (patrimonio, hacienda, caudales)

Fuentes de incertidumbre en la planificación del agua

La ocurrencia de lluvia puede suponer más del 90% de la variabilidad en la respuesta hidrológica de una cuenca, junto con la incertidumbre en su pronóstico

Consecuencias: Sequías y escasez...

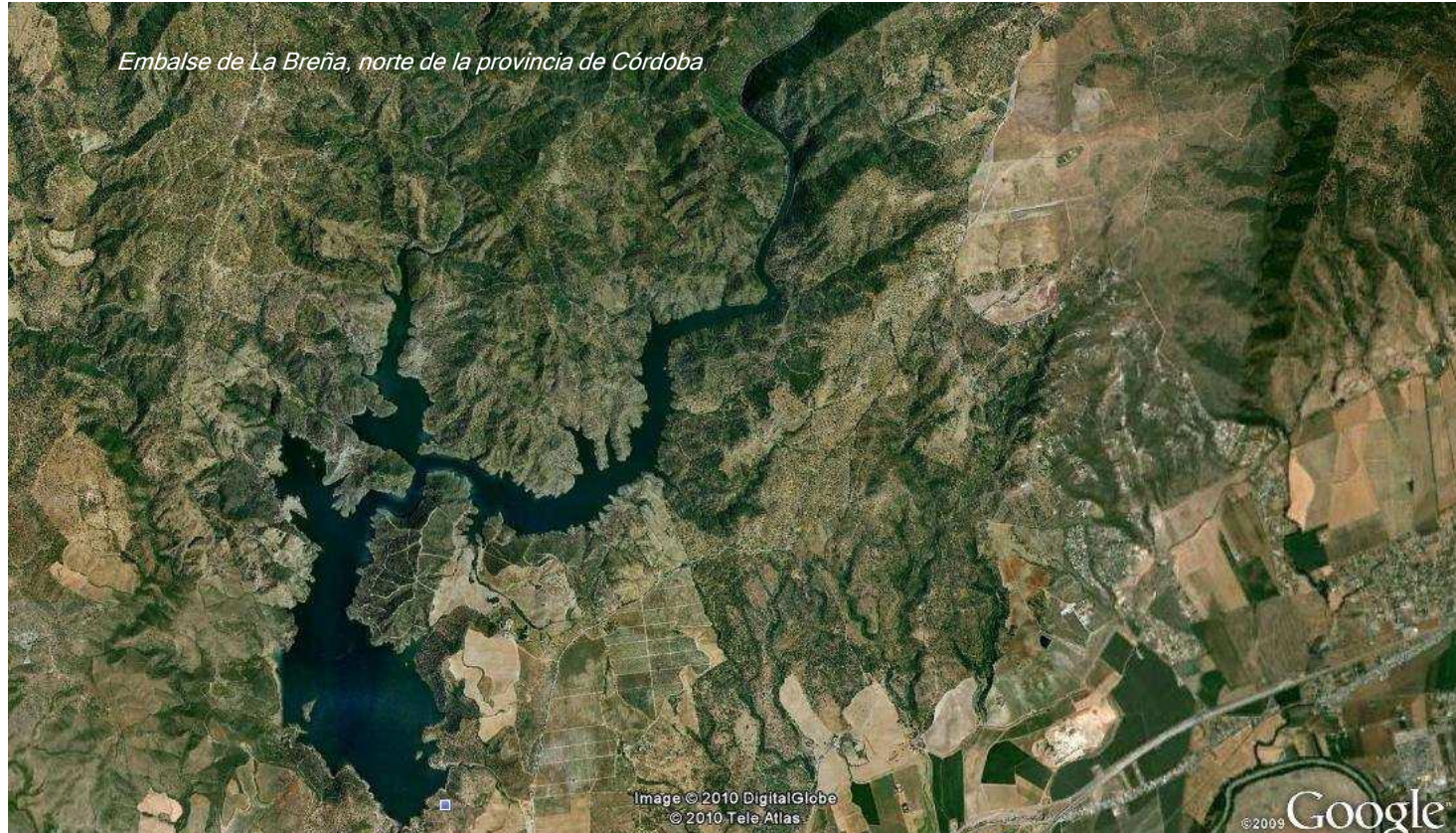


Río Guadalquivir a su paso por Córdoba (Puente Romano)

... e inundaciones



La intervención humana (ii): los embalses: regulación de escasez frente a sequía



Contenido

1 Conceptos de partida

2 Clima y reserva hídrica en las Demarcaciones Hidrográficas Intracomunitarias de Andalucía

3 El futuro de la nieve en las Cuencas Mediterráneas y de su impacto hidrológico

4 Sostenibilidad ambiental

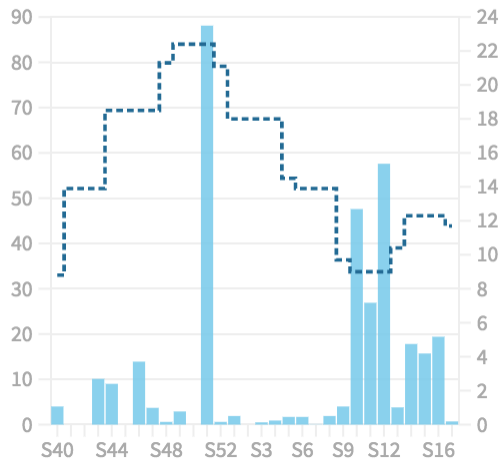
5 Reflexión final

Precipitación semanal en el año hidrológico 2021-2022

Año seco, con una primavera húmeda

Línea punteada,
valor medio
1980-2022

Cuenca Atlántica Andaluza



Cuenca: **Tinto, Odiel y Piedras**

Fecha: 3/05/22

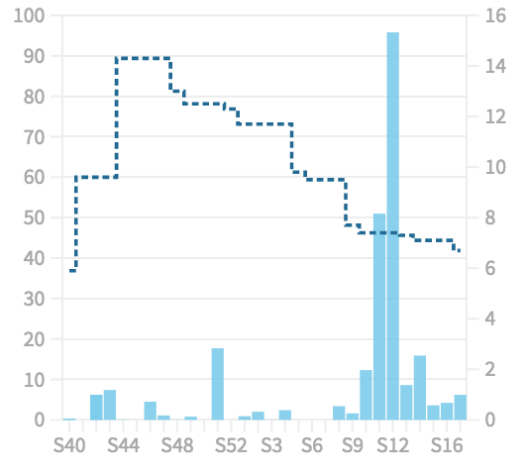
Volumen: **80,8%**

Cuenca: **Guadalete-Barbate**

Fecha: 3/05/22

Volumen: **36,9%**

Cuenca Mediterránea Andaluza



Cuenca: **Cuenca Mediterránea Andaluza**

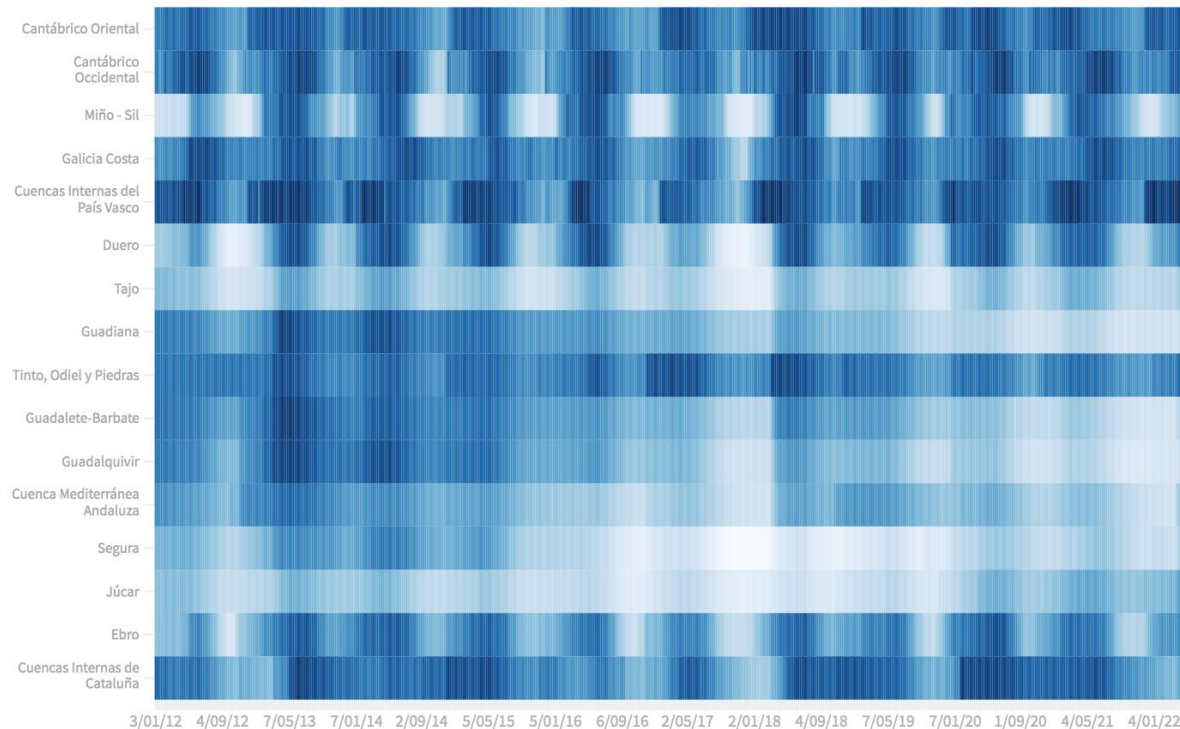
Fecha: 3/05/22

Volumen: **49,4%**

Evolución de la reserva de agua embalsada en España, 2012-hoy

(% sobre capacidad máxima de almacenamiento)

Volumen de agua para consumo, por cuencas 25% 100%



Fuente: [Boletín Hidrológico. Ministerio de Transición Ecológica](#)

febrero 2022



mayo 2022

Cuenca: **Tinto, Odiel y Piedras**

Fecha: 3/05/22

Volumen: **80,8%**

Cuenca: **Guadalete-Barbate**

Fecha: 3/05/22

Volumen: **36,9%**

Cuenca: **Cuenca Mediterránea Andaluza**

Fecha: 3/05/22

Volumen: **49,4%**

A Flourish data visualization

03.05.2022 | 16:35 horas

Por DatosRTVE

Capacidad de almacenamiento de agua en embalses

DH	Aportación natural (1980-2018)	Aportación natural (ciclo 3)	Capacidad	Capacidad
	hm3/año	hm3/año	hm3	%
TOP	676	676	169,1	25,01
Guadalete-Barbate	977,7	978	1651	168,81
C. Mediterráneas	2834,4	2226	1174	52,74

Cuenca: **Tinto, Odiel y Piedras**
Fecha: 3/05/22
Volumen: **80,8%**

137 hm3
20,2% ap.

Cuenca: **Guadalete-Barbate**
Fecha: 3/05/22
Volumen: **36,9%**

609 hm3
62,3%

Cuenca: **Cuenca Mediterránea Andaluza**
Fecha: 3/05/22
Volumen: **49,4%**

578 hm3
26,1%

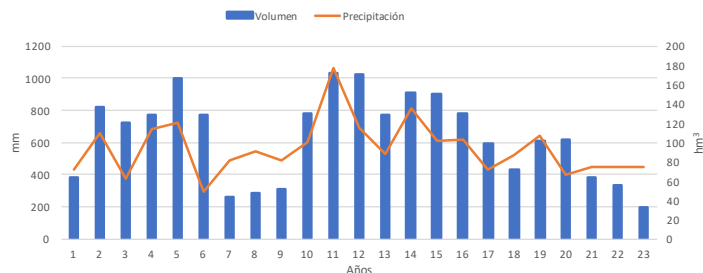
La información de estado de reserva expresada como porcentaje es incompleta para comparar el estado de demarcaciones

La capacidad ha ido aumentando en el tiempo: no se puede comparar temporalmente

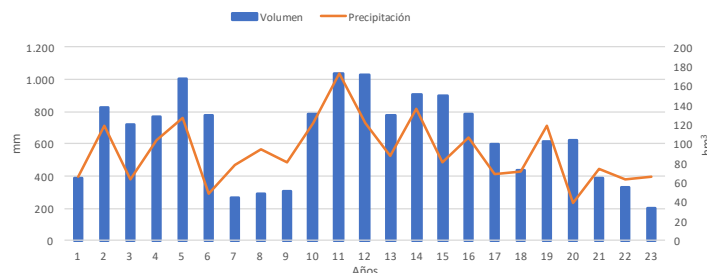
Evolución precipitación y reserva hídrica (1999-2000 a 2021-2022)

DH Guadalete-Barbate

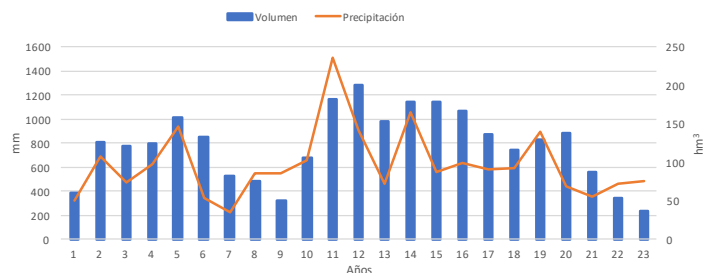
Bornos



Guadalcañín



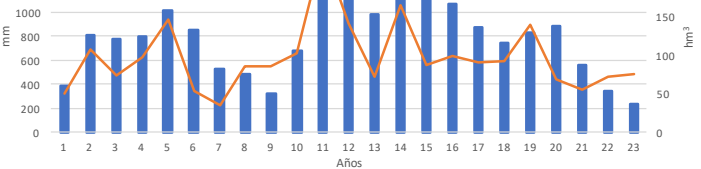
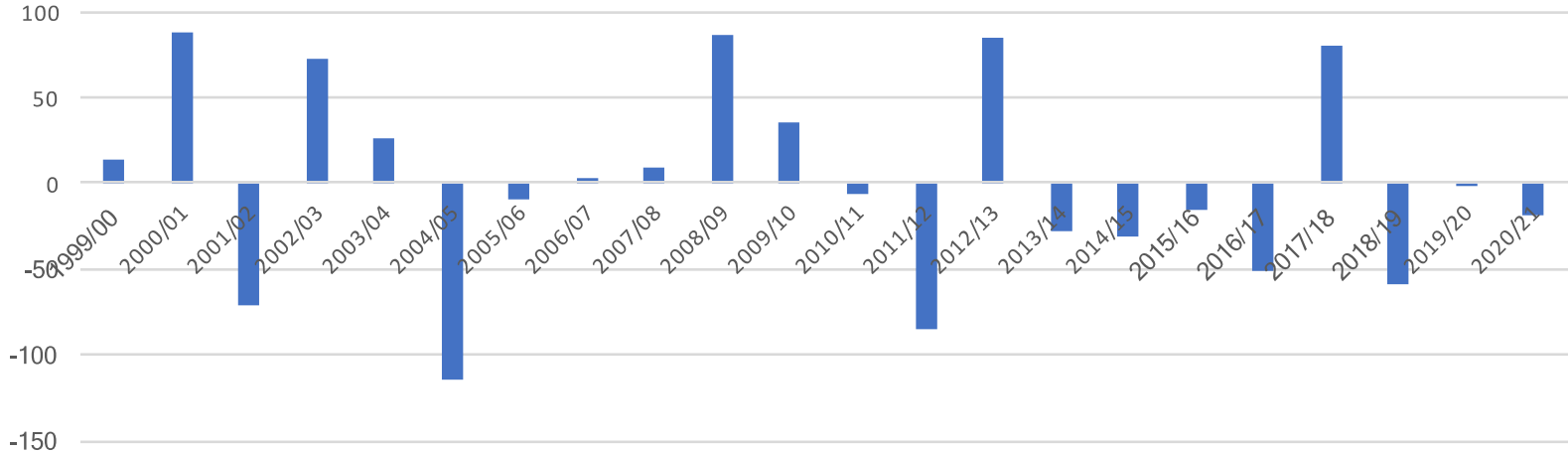
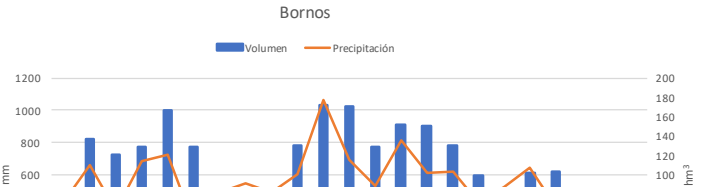
Barbate



Evolución precipitación, mm, y reserva hídrica, hm3 (1999-2000 a 2021-2022)

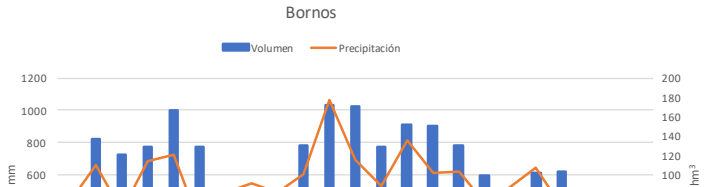
DH Guadalete-Barbate

Diferencia año hidrológico Bornos

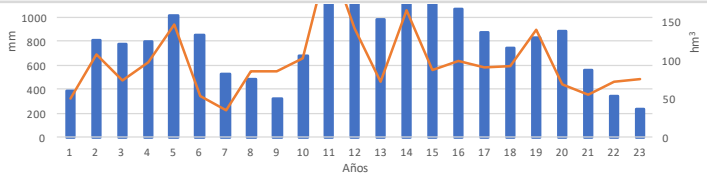
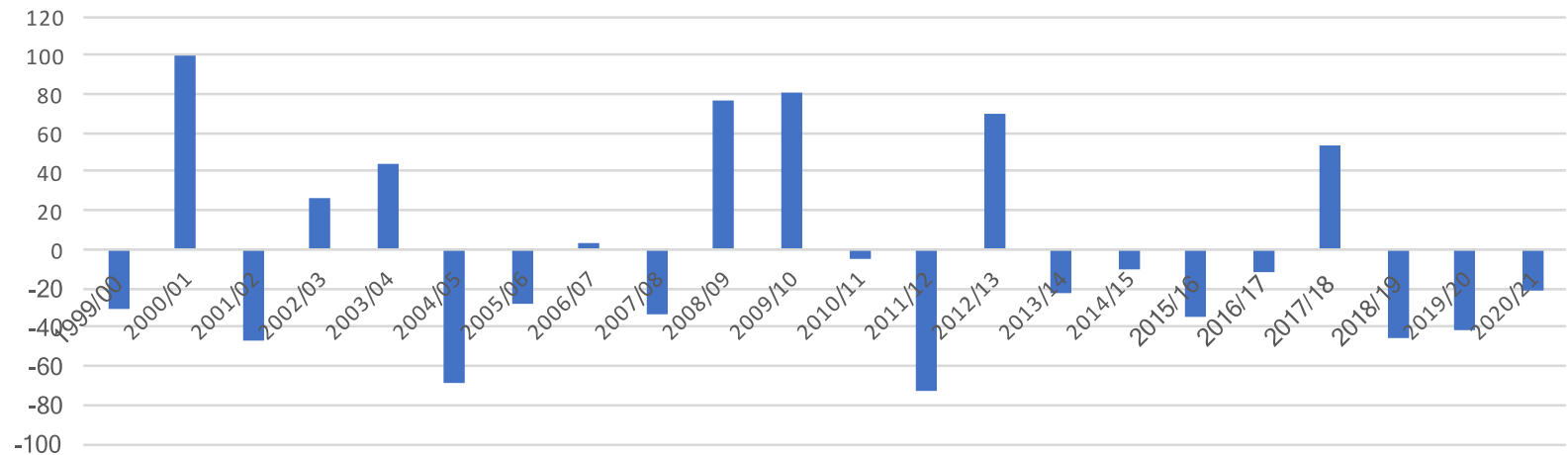


Evolución precipitación, mm, y reserva hídrica, hm3 (1999-2000 a 2021-2022)

DH Guadalete-Barbate



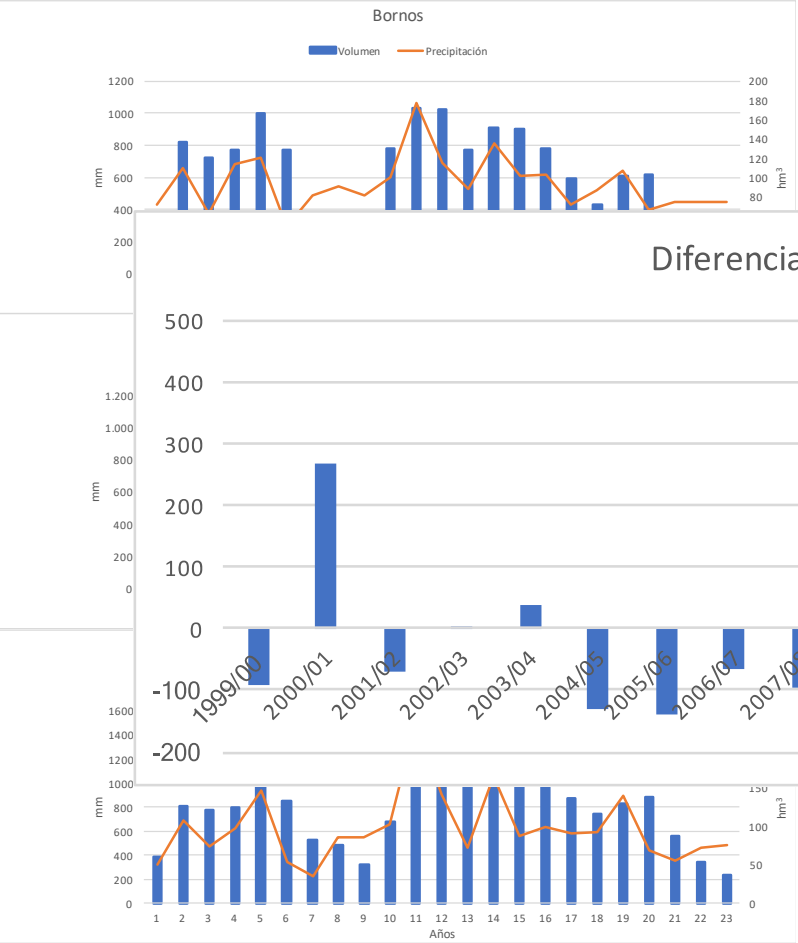
Diferencia año hidrológico Barbate



Evolución precipitación, mm, y reserva hídrica, hm3 (1999-2000 a 2021-2022)

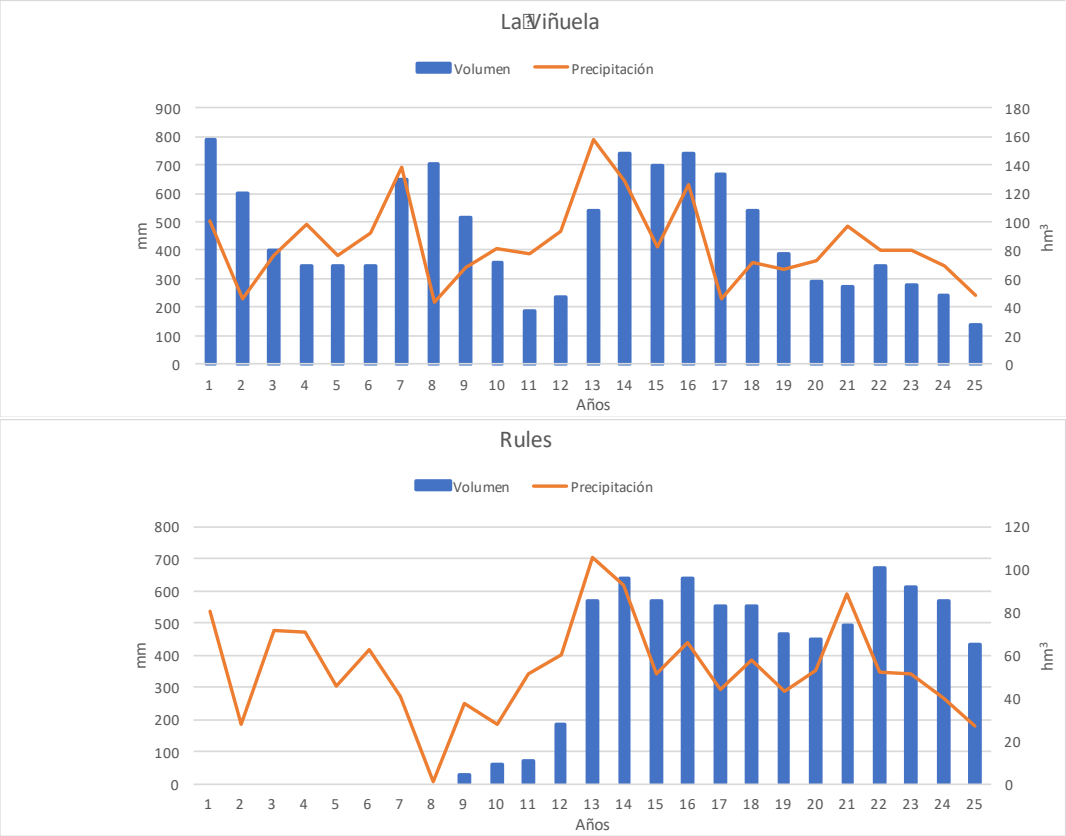
DH Guadalete-Barbate

Diferencia año hidrológico Guadalcaacín



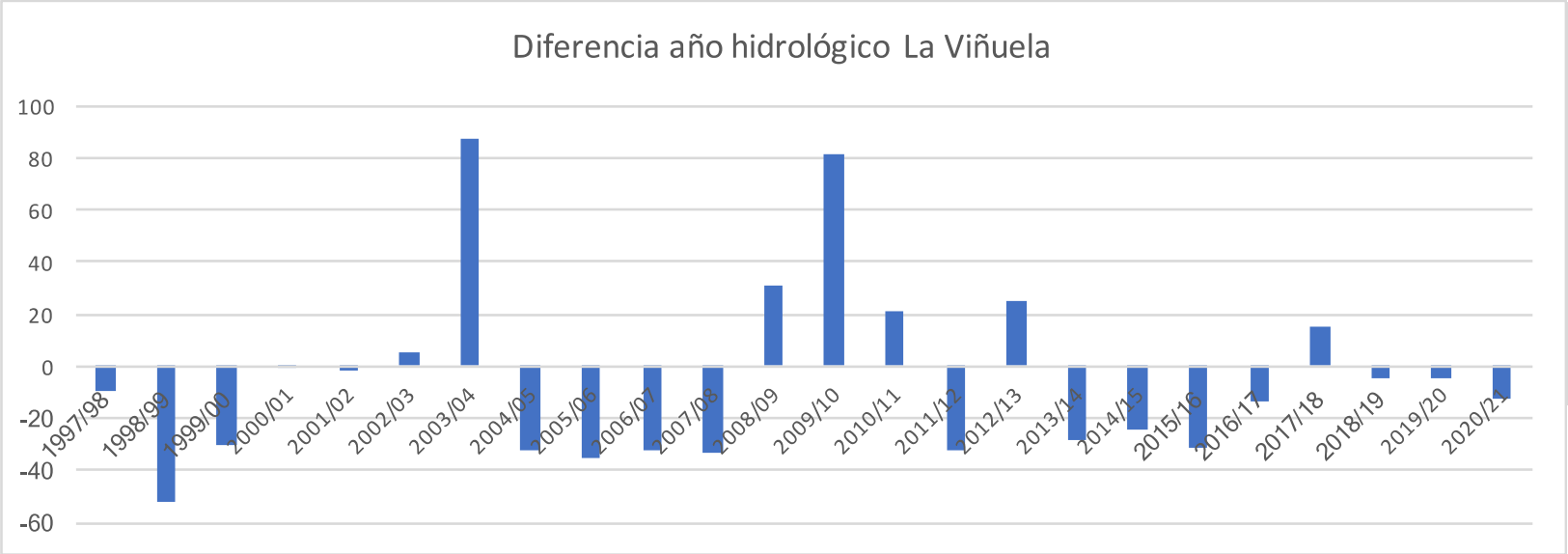
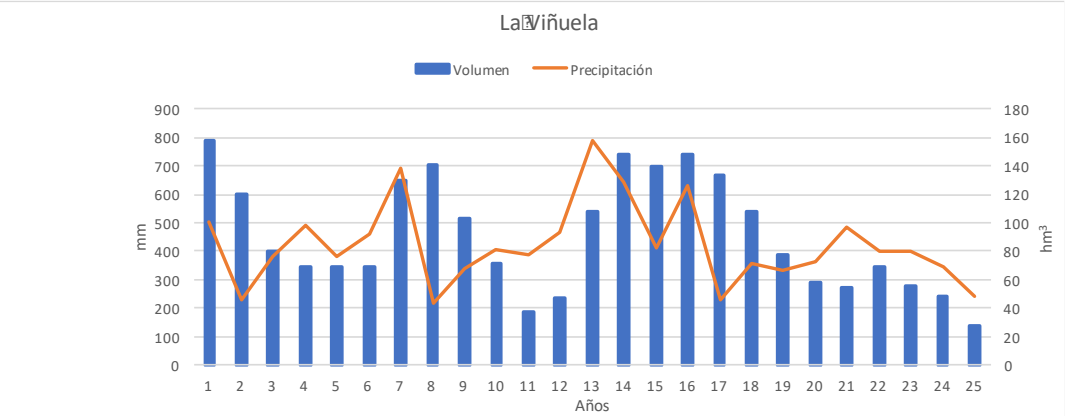
Evolución precipitación, mm, y
reserva hídrica, hm3 (1997-1998
a 2021-2022)

DH Cuencas Mediterráneas



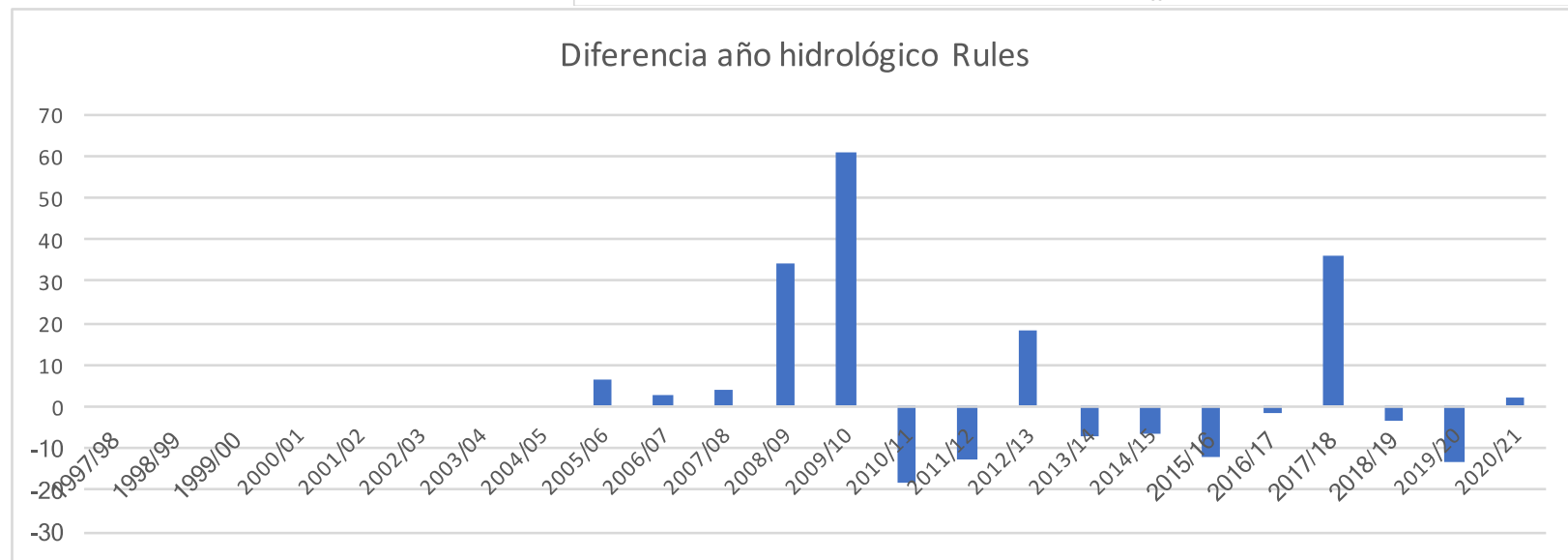
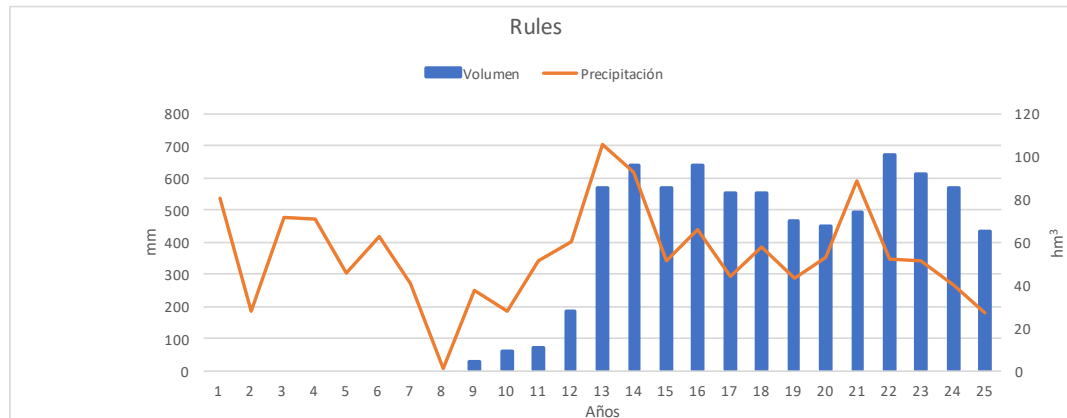
Evolución precipitación, mm, y reserva hídrica, hm3 (1997-1998 a 2021-2022)

DH Cuencas Mediterráneas



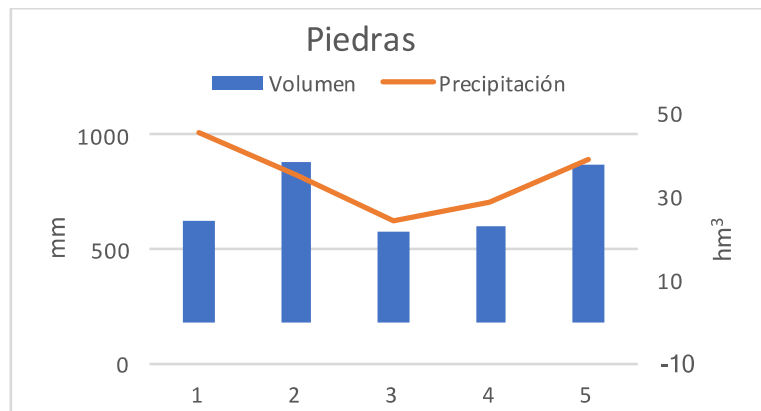
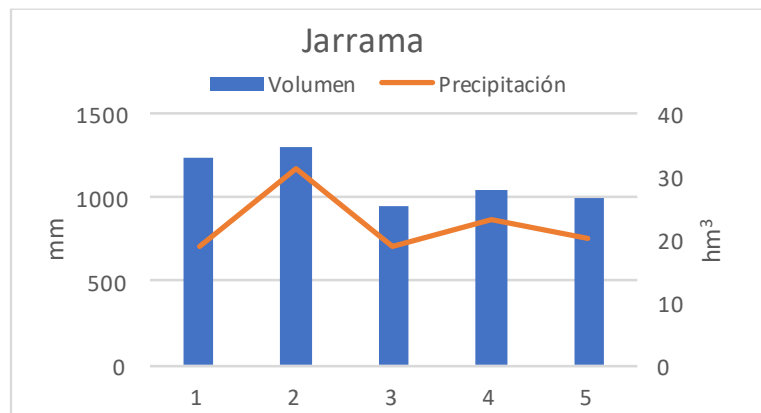
Evolución precipitación, mm, y reserva hídrica, hm³ (1997-1998 a 2021-2022)

DH Cuencas Mediterráneas



Evolución precipitación, mm, y reserva hídrica, hm³ (2017-2018 a 2021-2022)

DH Tinto-Odiel-Piedras



Contenido

1 Conceptos de partida

2 Clima y reserva hídrica en las Demarcaciones Hidrográficas
Intracomunitarias de Andalucía

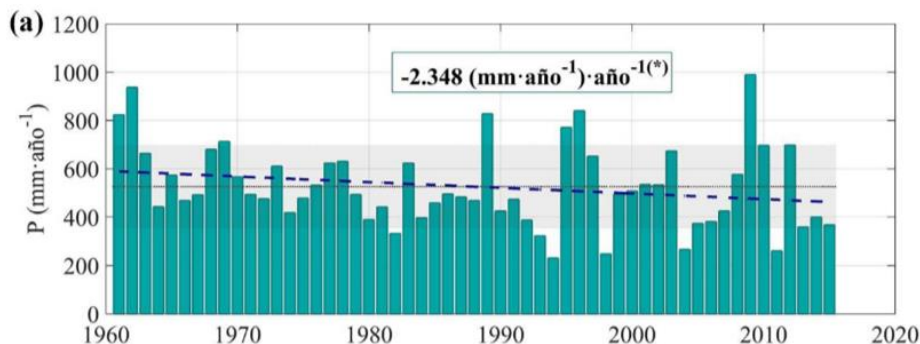
**3 El futuro de la nieve en las Cuencas Mediterráneas y de su impacto
hidrológico**

4 Sostenibilidad ambiental

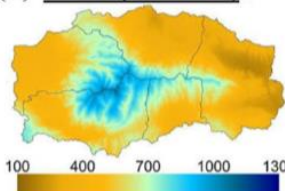
5 Reflexión final

Tendencias del régimen de la nieve, periodo histórico 1960-2015

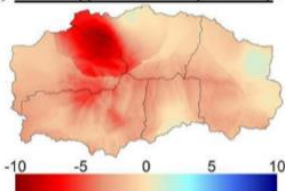
Precipitación a escala anual



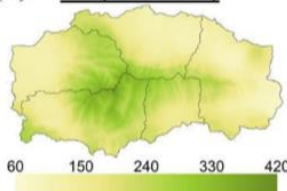
(b) Media (mm·año⁻¹)



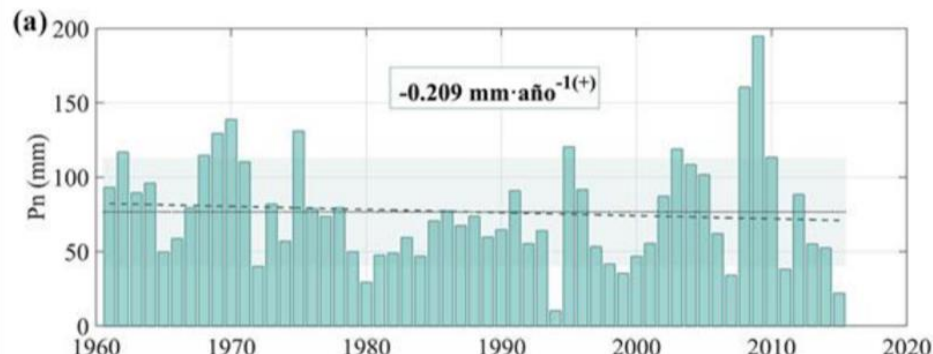
(c) Tend.((mm·año⁻¹)·año⁻¹)



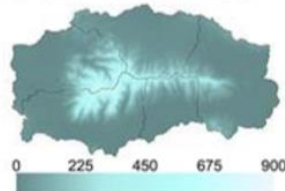
(d) SD (mm·año⁻¹)



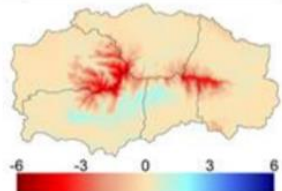
Precipitación en forma de nieve a escala anual



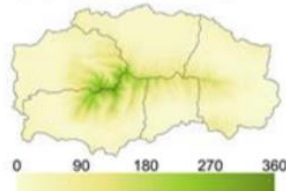
(b) Media (mm·año⁻¹)



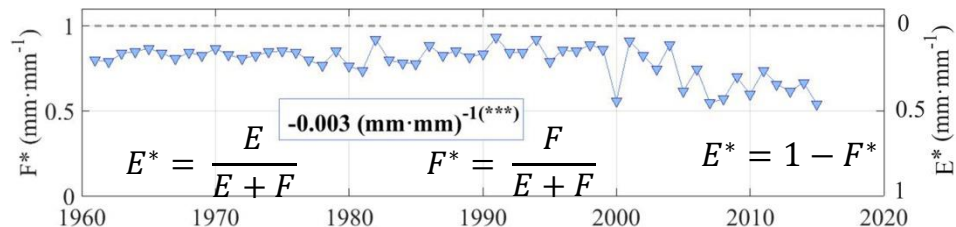
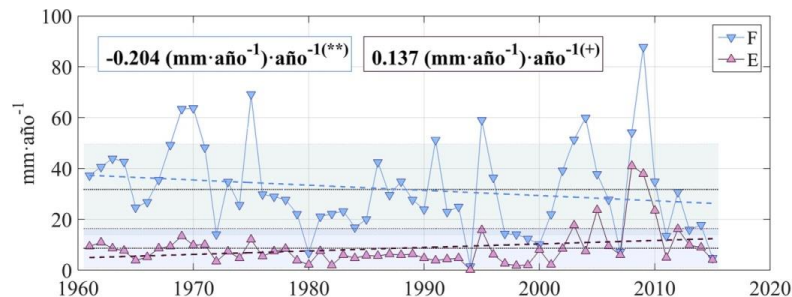
(c) Tend.((mm·año⁻¹)·año⁻¹)



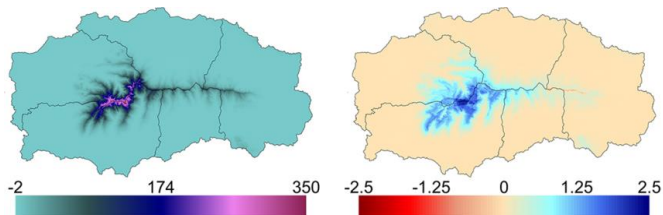
(d) SD (mm·año⁻¹)



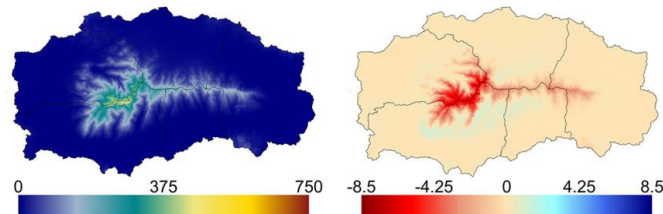
Tendencias del régimen de la nieve, periodo histórico 1960-2015



Evaposublimación



Fusión



Pérez-Palazón, M.J. (2019); tesis doctoral

Evaposublimación (mm/año) [Hm3/año]

	Máxima	Media	Mínima	Tendencia
ADRA (R1)	39,8 [18,3]	5,1 [2,3]	0,04 [0,02]	0,11 (+)
ANDARAX (R2)	16,6 [19,4]	2,2 [2,6]	0,00 [0,00]	0,03(+)
FARDES (R3)	21,8 [19,9]	3,4 [3,1]	0,03 [0,03]	0,06(+)
GENIL (R4)	56,9 [55,9]	14,2 [14,0]	0,31 [0,30]	0,19(+)
GUADALFEO(R5)	71,9 [76,2]	16,6 [17,6]	0,27 [0,28]	0,27 (**)
TOTAL	41,0 [188,0]	8,6 [39,5]	0,13 [0,2]	0,13 (**)

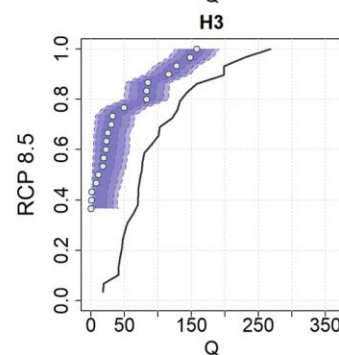
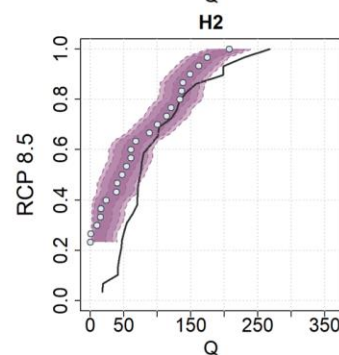
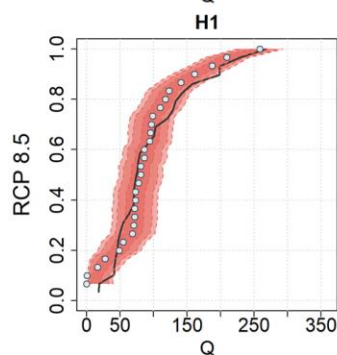
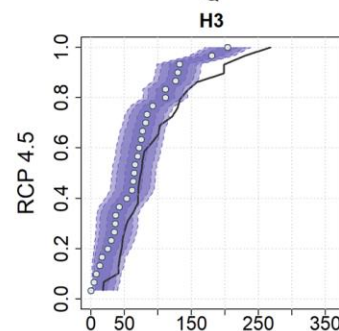
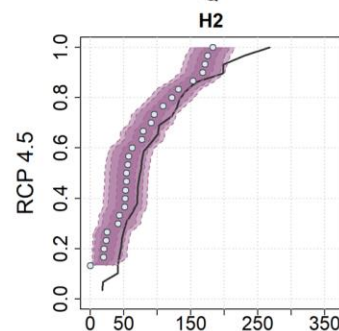
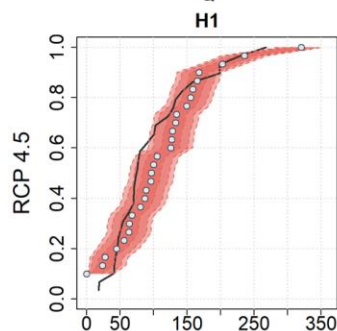
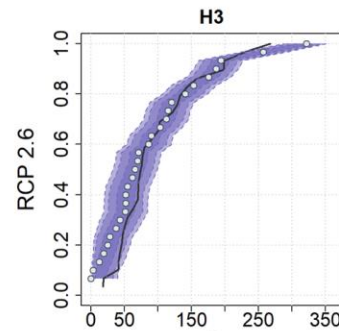
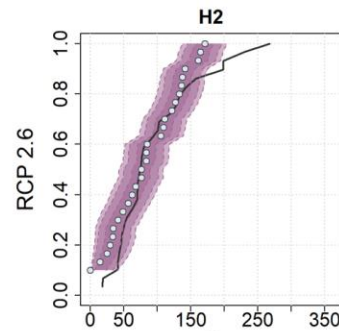
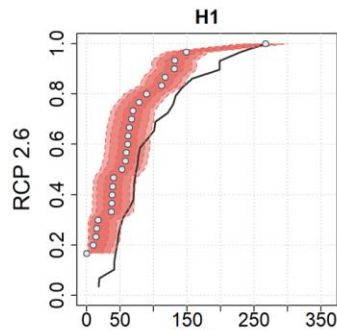
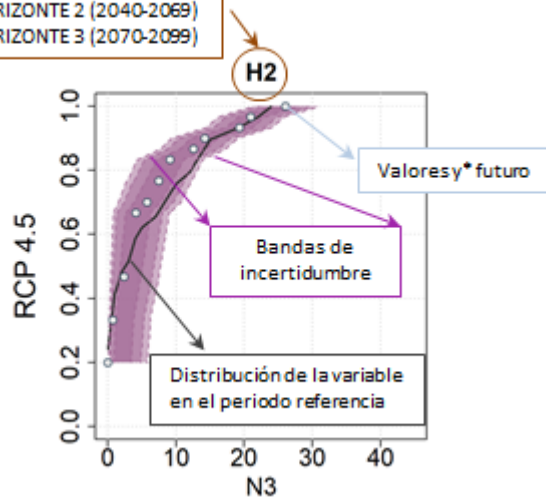
Fusión (mm/año) [Hm3/año]

	Máxima	Media	Mínima	Tendencia
ADRA (R1)	74,8 [34,3]	25,4 [11,7]	0,6 [0,3]	-0,07(+)
ANDARAX (R2)	46,2 [54,1]	11,7 [13,8]	0,7 [0,8]	-0,05(+)
FARDES (R3)	87,2 [79,7]	25,0 [22,9]	2,1 [1,9]	-0,03(+)
GENIL (R4)	110,6 [108,7]	46,9 [46,1]	1,6 [1,6]	-0,53 (***)
GUADALFEO(R5)	121,6 [128,7]	48,4 [51,2]	1,6 [1,7]	-0,27 (**)
TOTAL	87,7 [402,2]	31,7 [145,7]	1,4 [6,7]	-0,20 (**)

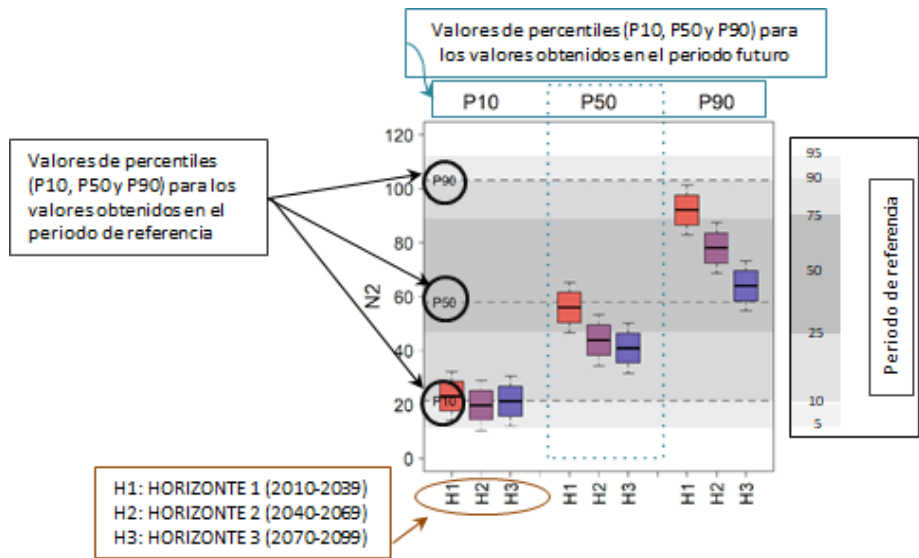
Proyecto AQUACLEW 2017-2020

Proyecciones de caudal anual en Puente
Órgiva bajo escenarios de clima futuro

H1: HORIZONTE 1 (2010-2039)
H2: HORIZONTE 2 (2040-2069)
H3: HORIZONTE 3 (2070-2099)



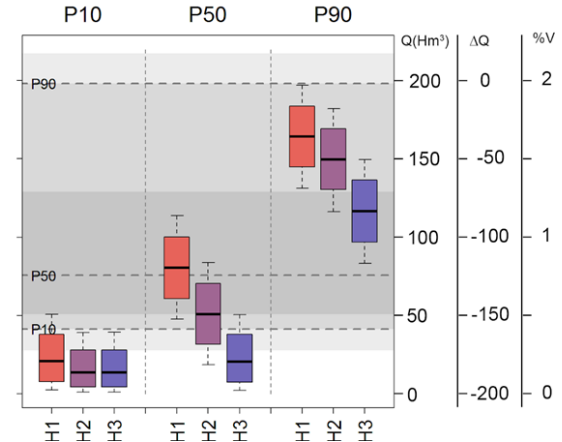
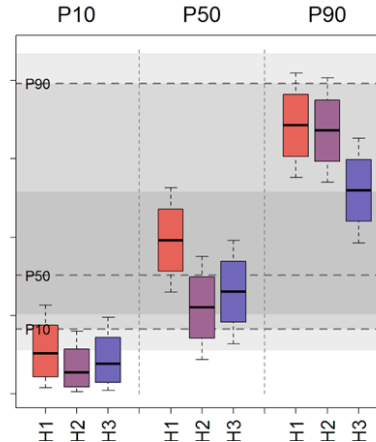
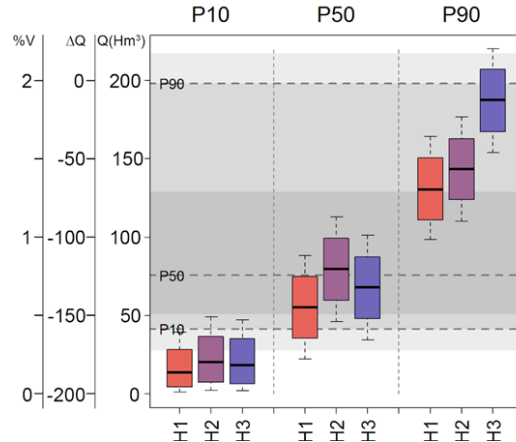
Proyecciones de caudal anual en Puente Órgiva bajo escenarios de clima futuro



RCP 2.6

RCP 4.5

RCP 8.5



Contenido

1 Conceptos de partida

2 Clima y reserva hídrica en las Demarcaciones Hidrográficas
Intracomunitarias de Andalucía

3 El futuro de la nieve en las Cuencas Mediterráneas y de su impacto
hidrológico

4 Sostenibilidad ambiental

5 Reflexión final

Riesgo y factor humano

Riesgo = Probabilidad de ocurrencia de daños x coste de las consecuencias asociadas

- Las acciones de protección SOLO reducen la frecuencia de sucesos leves o medios por debajo del umbral de actuación
- Disminuye la peligrosidad, y **la memoria humana modifica su percepción del riesgo**
- Los sucesos extremos no son evitados por la actuación pero, ¿sus daños?

El factor humano: el efecto-llamada, aumenta la ocupación, el uso...

Los daños cuando hay sucesos extremos se ven directamente incrementados debido a este efecto llamada

Acción y reacción: el factor humano

El riesgo puede aumentar drásticamente precisamente tras realizar acciones de protección

$$\text{Beneficio} = \text{Inversión} - (\text{Riesgo inicial} - \text{Riesgo final})$$

¿Beneficio significativo o despreciable?
¿Beneficio “negativo”?

Cuencas deficitarias per se

Las **expectativas de crecimiento son legítimas**, el ser humano ha evolucionado así. Pero no ha lugar a una expectativa de recursos hídricos en crecimiento continuo cuando el agua disponible es limitada y no va a aumentar en el futuro. Para ello, la planificación hidrológica debe afrontar el hecho de que **vivimos una situación de exceso sobrepasado de demanda** en la mayor parte de nuestras cuencas, con productos y servicios asociados de alto valor que, **cuando llega la escasez, generan unos costes muy elevados por pérdidas**, y que el aumento de la capacidad de reserva desde los años ochenta no ha traído consigo una disminución del riesgo de escasez para los usos agrícolas y de turismo por el aumento de vulnerabilidad generado por “el factor humano”.



Caudal ambiental: no es un uso, es una necesidad para la calidad de vida, no solo de los ecosistemas

Datos de los Planes Hidrológicos 2021-2027		Régimen de Caudales Mínimos en Situación Ordinaria (m3/s)												
Embalse	Cuenca	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	ANUAL (hm3/año)
Barbate	Guadalete-Barbate	0,134	0,38	0,499	0,576	0,413	0,474	0,757	0,033	0,014	0,007	0,007	0,008	3,30
Bornos	Guadalete-Barbate	1,482	4,849	6,833	4,076	4,608	5,919	5,215	2,656	1,734	1,588	1,43	1,178	41,57
Guadalcaçín	Guadalete-Barbate	0,263	2,577	3,912	1,21	2,037	1,421	1,68	1,109	0,378	0,325	0,269	0,219	15,40
Cueva de Almanzora	Mediterráneas	0,16	0,27	0,27	0,27	0,27	0,27	0,27	0,27	0,16	0,16	0,16	0,16	7,06
Rules	Mediterráneas	0,52	0,7	0,8	0,78	0,78	0,77	0,78	0,9	0,82	0,46	0,3	0,31	20,79
Piedras	TOP	0,028	0,033	0,05	0,037	0,046	0,034	0,042	0,03	0,028	0,026	0,026	0,024	0,40
Jarrama	TOP	0	0	0,005	0,035	0,034	0,039	0,008	0	0	0	0	0	0,12

DH	Aportación natural (1980-2018)	Aportación natural (ciclo 3)	Capacidad	Capacidad
	hm3/año	hm3/año	hm3	%
TOP	676	676	169,1	25,01
Guadalete-Barbate	977,7	978	1651	168,81
C. Mediterráneas	2834,4	2226	1174	52,74

Expectativas futuras de recursos hídricos

No hay razones para esperar una disminución en la ocurrencia de periodos prolongados de sequía ni podemos controlar su régimen.

Tampoco cabe llenar más embalses sin esperar más precipitación que hoy. No es la ausencia de lluvia lo que vacía los embalses, sino el exceso de consumo.

Confrontar agricultura-turismo y ecosistemas como adversarios en la captación de recursos hídricos es un dilema falaz y perverso, pero no debemos gestionar el agua sin realizar un análisis de riesgos completo.

Análisis que incluya el **impacto potencial del “factor humano”** para identificar y arbitrar medidas de acompañamiento que eviten la escalada indeseada de vulnerabilidad que se observa.

En busca de un futuro sostenible con usos bien acotados en el contexto real de nuestras cuencas para que todos ganen seguridad, en lugar de que todos pierdan.

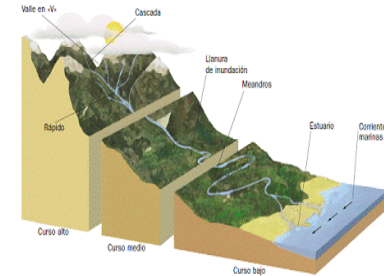
Recursos no convencionales: ??

Aguas subterráneas

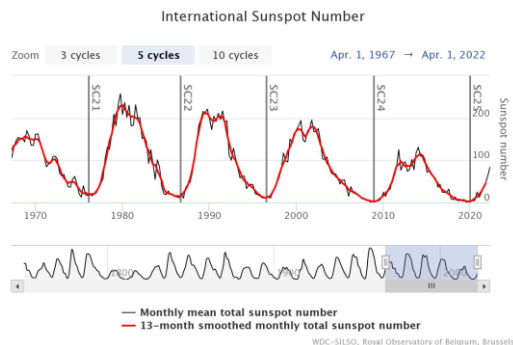
Aguas regeneradas

Aguas desaladas

ENERGÍA Y SU COSTE



Apuntes finales



España afronta 2008 con la menor reserva de agua de los últimos 10 años

👤 - 🕒 - 📁 Noticias, Videos y Jornadas - 💬 Sin comentarios

España afronta 2008 con la menor reserva de agua embalsada de los últimos diez años en prácticamente todas sus cuencas hidrográficas. A 1 de enero de 2008 el total de agua embalsada era de 22.466 hectómetros cúbicos, lo que supone el 41,49 por ciento de su capacidad total de embalse, que se eleva a 54.148 hectómetros cúbicos. La media de agua embalsada el pasado año a nivel nacional fue de 55,57 por ciento, es decir seis puntos por encima de los parámetros actuales, lo que viene a demostrar que las lluvias del pasado otoño no han sido tan copiosas como se esperaba, para situarnos al menos en torno a la media de los diez últimos años, en los que se ha registrado una media de 27.280 hectómetros cúbicos, es decir un 50,38 por ciento de la capacidad total de almacenaje de agua en nuestro país.

El más seco desde 1958

- Los ciclos de sequía son parte consustancial de nuestro clima, con escalas de 9-14 años
- La ausencia de precipitación no vacía los embalses, sino el consumo, sobre todo
- No se espera más precipitación en las próximas décadas
- Los recursos no convencionales no deben despertar expectativas irreales, ya están siendo recursos
- Confrontar uso del agua y caudal ambiental es un dilema falaz que no lleva a un debate que aporte soluciones

Disminuir la vulnerabilidad de la sociedad frente al clima futuro requiere no aumentar los consumos, incluso disminuirlos entre todos, en un diálogo social para que todos perdamos menos en vez de perder todos absolutamente todo



Muchas gracias

Demarcaciones Hidrográficas Intracomunitarias de Andalucía Taller de participación sobre afección a los recursos hídricos por el cambio climático

Ministerio de Ciencia, Innovación y Universidades

Proyecto de investigación RTI2018-099043-B-I00, “Operatividad en la gestión hidrológica bajo condiciones de torrencialidad/sequía de nieve en alta montaña de cuencas semiáridas”

Ministerio de Economía y Competitividad

Proyecto de investigación CGL 2014-58508-R, “Sistema de seguimiento global de la cubierta de nieve en regiones mediterráneas: análisis de tendencias e implicaciones para la disponibilidad de recursos hídricos en Sierra Nevada”

Fundación Biodiversidad, Ministerio de Agricultura, Alimentación y medio Ambiente, Proyectos 2013 “Estudio del efecto del Cambio Global sobre la nieve y la hidrología de alta montaña en el Parque Nacional de Sierra Nevada”, 2014 “Influencia del cambio global en los servicios ecosistémicos asociados a la hidrología en el Parque Nacional de Sierra Nevada”, y 2015 “Índices de torrencialidad y aridez relacionados con la nieve en el Parque Nacional y Natural de Sierra Nevada y sus zonas limítrofes en un contexto de cambio global: implicaciones para la gestión de recursos naturales”

Parque Nacional y Natural de Sierra Nevada, por el continuo apoyo prestado desde 2004