

Estimación Volumen de Nieve en la Península provocado por la “Tormenta Filomena”

ENERO 2021



ESTIMACIÓN
DEL VOLUMEN
DE AGUA EN
FORMA DE
NIEVE
TORMENTA
FILOMENA

1

INTRODUCCIÓN

2

DATOS

3

METODOLOGÍA

4

RESULTADOS

5

ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS

6

CONCLUSIONES

- **TORMENTA “FILOMENA”**

El paso de la borrasca Filomena, producida desde la madrugada del jueves 7 de enero hasta el sábado 9 de enero, ha dejado una capa de nieve importante en una región amplia de la Península Ibérica. Esta acumulación, principalmente la relativa a las zonas de montaña, se convertirá en un aumento de la reserva de agua durante el resto del año. Es, por tanto, importante contar con una estimación total de la cantidad de agua en forma de nieve que ha dejado este evento.

Foto Aérea de Madrid.



La tormenta Filomena ha dejado nieve en zonas donde hacía más de 30 años no se acumulaba nieve.



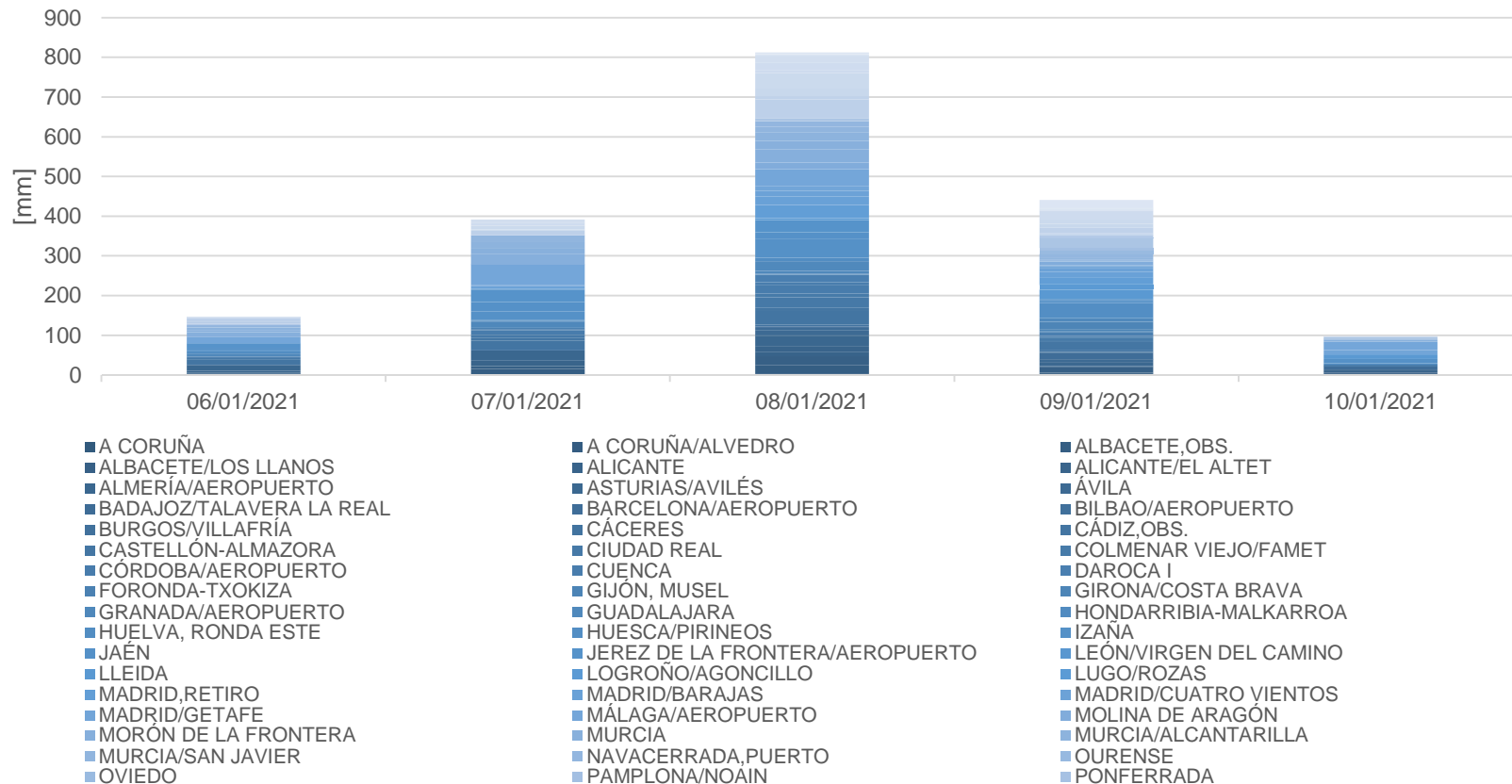
2

DATOS DE PARTIDA

- Pluviometría diaria acumulada (en mm)**

Se han utilizado los datos de pluviometría acumulada diaria de 70 estaciones de AEMET (Red Sinóptica utilizada para los BHS), para las fechas del 7 al 10 de Enero de 2021.

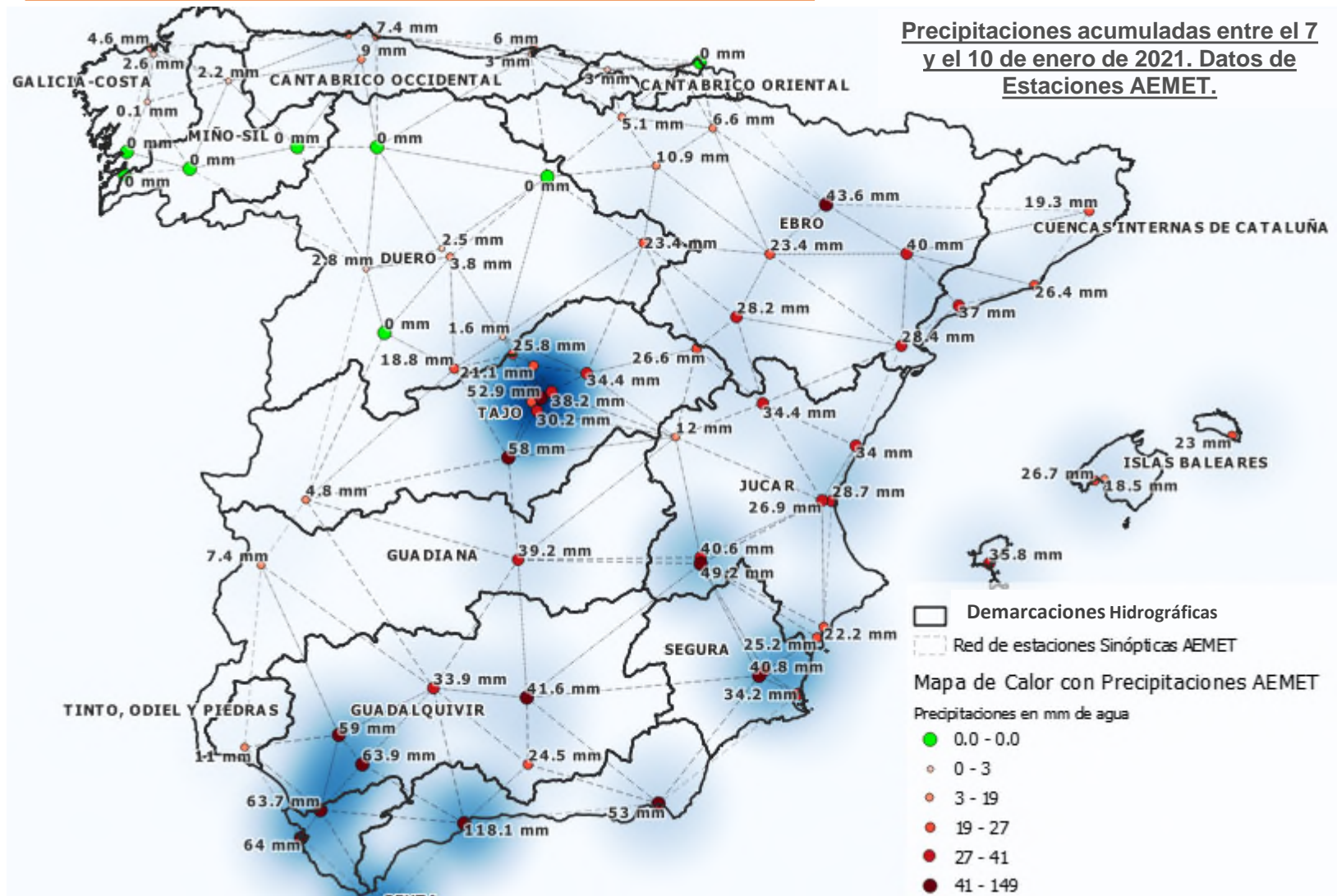
Evolución de la Precipitación Total acumulada en la Península entre los días 6 y 10 de enero de 2021 [mm]



2

DATOS DE PARTIDA

- RED DE ESTACIONES AEMET UTILIZADA.**



2

DATOS DE PARTIDA

- **Superficie de Nieve Existente**

A partir de las imágenes diarias del satélite MODIS (500x500 m) se ha obtenido una delimitación de la superficie con nieve en la Península. Para ello, se han utilizado unos algoritmos de reclasificación que identifican las zonas que tienen o no nieve. Además, por comparación con otras fuentes (imagen NOAA), la zona más nubosa nororiental se consideró en su mayoría como zona cubierta por nieve.

Imagen Satélite



Identificación Nieve (azul) y Nubes (gris)



Fecha de captura satélite MODIS 12/01/2021

2

DATOS DE PARTIDA

- CUENCAS NIVALES (MODELO ASTER-MINERVE)**

Se dispone de una modelización hidrológica continua, realizada mediante ASTER y MINERVE, para las cuencas de cabecera de alta montaña (denominadas cuencas nivales e incluidas en el proyecto ERHIN).

DEMARCACIÓN	Superficie Cuencas ERHIN [km ²]
CANTABRICO OCCIDENTAL	7.217,50
DUERO	7.243,40
EBRO	10.976,38
GUADALQUIVIR	176,49
MIÑO-SIL	4.912,60
TAJO	14.939,55
Total Península	45.465,92

SISTEMA	Superficie Cuencas ERHIN [km ²]
CANTABRICO	17.987,80
SISTEMA CENTRAL	16.791,25
PIRINEOS	10.510,38
SNEVADA	176,49
Total Península	45,465.92



- **CONSIDERACIONES SOBRE LOS DATOS DE PARTIDA**

- **Estaciones Meteo AEMET:**

Las estaciones meteorológicas que miden precipitación líquida pueden dar errores en las medición por posibles congelaciones en sus sensores.

- **Superficie de Nieve:**

El tratamiento de reclasificación sobre las imágenes MODIS solamente se ha podido realizar para la fecha 12/01/2021, ya que para las anteriores existía un alto porcentaje de nubes. Por lo que la superficie innivada para los días anteriores podría ser algo superior.

Dado que la tormenta Filomena ha venido acompañada por un episodio de frío polar se puede considerar que la superficie de nieve del día 12/01/2021 es representativa del evento y que de haberse perdido parte de superficie cubierta de nieve desde el final del evento Filomena hasta el día 12/01/2021, esta pérdida es despreciable.

- **Superficie Cuencas Nivales (Programa ERHIN):**



Las cuencas nivales se han utilizado para poder disponer de datos de modelización hidrológica físicamente basada con una mayor densidad de datos meteorológicos.

- **HIPÓTESIS DE PARTIDA**

- **RESPECTO A LA PRECIPITACIÓN:**

La precipitación ocurrida durante todo el evento será considerada como **Precipitación equivalente de agua** (consideramos que todo lo que precipita es nieve) dentro del área innivada obtenida con MODIS, salvo en el caso de las cuencas nivales donde se dispone de información para distinguir entre precipitación sólida y líquida,

- **RESPECTO LA TRANSFORMACIÓN AGUA-NIEVE:**

La densidad de la nieve recién caída es de entre 50 y 200 kg/m³, tomándose como valor típico para esta transformación el de 100 kg/m³.

Tomando como densidad de la nieve recién caída 100 kg/m³ se tiene que 1 mm de agua equivale a 1 cm de nieve. (p.e. Una precipitación de 20 mm de agua equivalen a 20 cm de nieve).

En términos volumétricos esta conversión se traduce para 1 m² en :

1 mm de agua equivalente → 1 litro de agua (en 1 m²) → 1 cm de Nieve



- **HIPÓTESIS DE PARTIDA**

RESPECTO A LA SUPERFICIE DE NIEVE:

Se ha considerado, para la duración del evento, una superficie constante, calculada mediante la reclasificación de la imagen MODIS del día 12/01/2021 de:

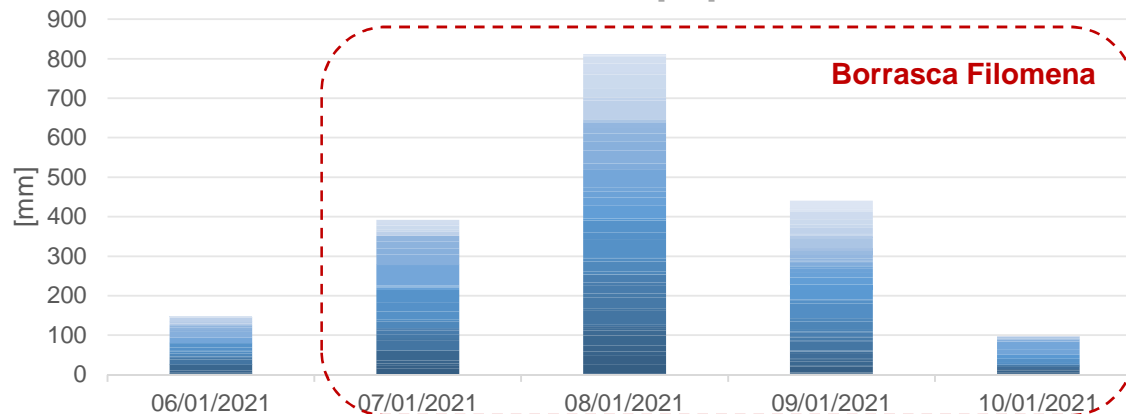
Superficie Peninsular Total Innivada: 255.926,59 km²

Superficie Peninsular Total Innivada sin Cuencas Nivales: 216.892,63 km²

RESPECTO A LA DURACIÓN DEL EVENTO:

Analizando los datos de meteorología se ha considerado la siguiente duración para el evento “filomena”.

Evolución de la Precipitación Total acumulada en la Península entre los días 6 y 10 de enero de 2021 [mm]



Del 7 al 10
de Enero
4 días

- **HIPÓTESIS DE PARTIDA**

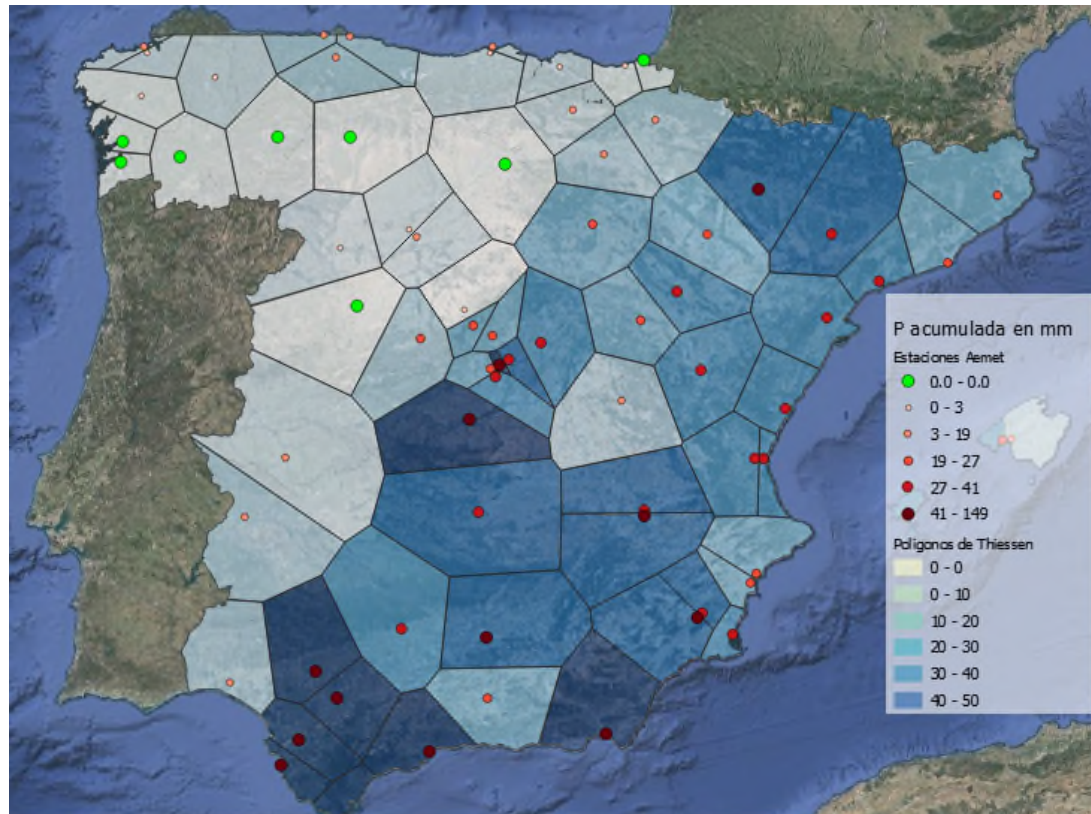
RESPECTO A LA DISTRIBUCIÓN ESPACIAL DE LA PRECIPITACIÓN:

Se ha utilizado el método de los polígonos de Thiessen (o Voronoi), el cual es uno de los métodos de interpolación mas sencillos, para establecer las áreas de influencia de cada una de las estaciones meteorológicas.

Notas: Polígonos de Thiessen

- A cada una de las áreas de influencia se le asigna el valor constante de la precipitación diaria acumulada entre el día 7 y 10 de enero de 2021, de la estación meteorológica que se encuentra en el interior de ese polígono.

- Los polígonos de Thiessen se generan a partir de la intersección de las mediatrices, que unen estaciones contiguas.



- **METODOLOGÍA**

- **PARA CADA POLÍGONO DE THIESSEN:**

- Se tendrá un valor de **Precipitación diaria de agua equivalente (Pd_{aeq})** para cada uno de los días del evento en **mm**.
 - A partir de estos datos se realizará un sumatorio de Pd_{aeq} , para los días que dura el evento, con lo que se obtendrá el la Precipitación Total acumulada de agua equivalente PTA_{aeq} .

PTA_{aeq_j} = Precipitación Total acumulada de agua equivalente, en **polígono j**

- Se tendrá un valor de **Superficie Innivada (Sn)** en **km²**.

Sn_j = Superficie total con nieve en km², en **polígono j**

- Finalmente, se obtendrá el **volumen de agua en forma de nieve (VAFN)**, en **hm³**, producidos durante el evento Filomena, en cada polígono.

Factor de cambio de unidades (de km² a hm² y de mm a hm)

$VAFN_j = Sn_j \cdot PTA_{aeq_j} \cdot 10^{-3}$: Volumen acumulado en **hm³**, en **polígono j**

En el caso que tengamos la precipitación en forma de nieve, tendremos que realizar la transformación Nieve-agua, utilizando el valor de la densidad.

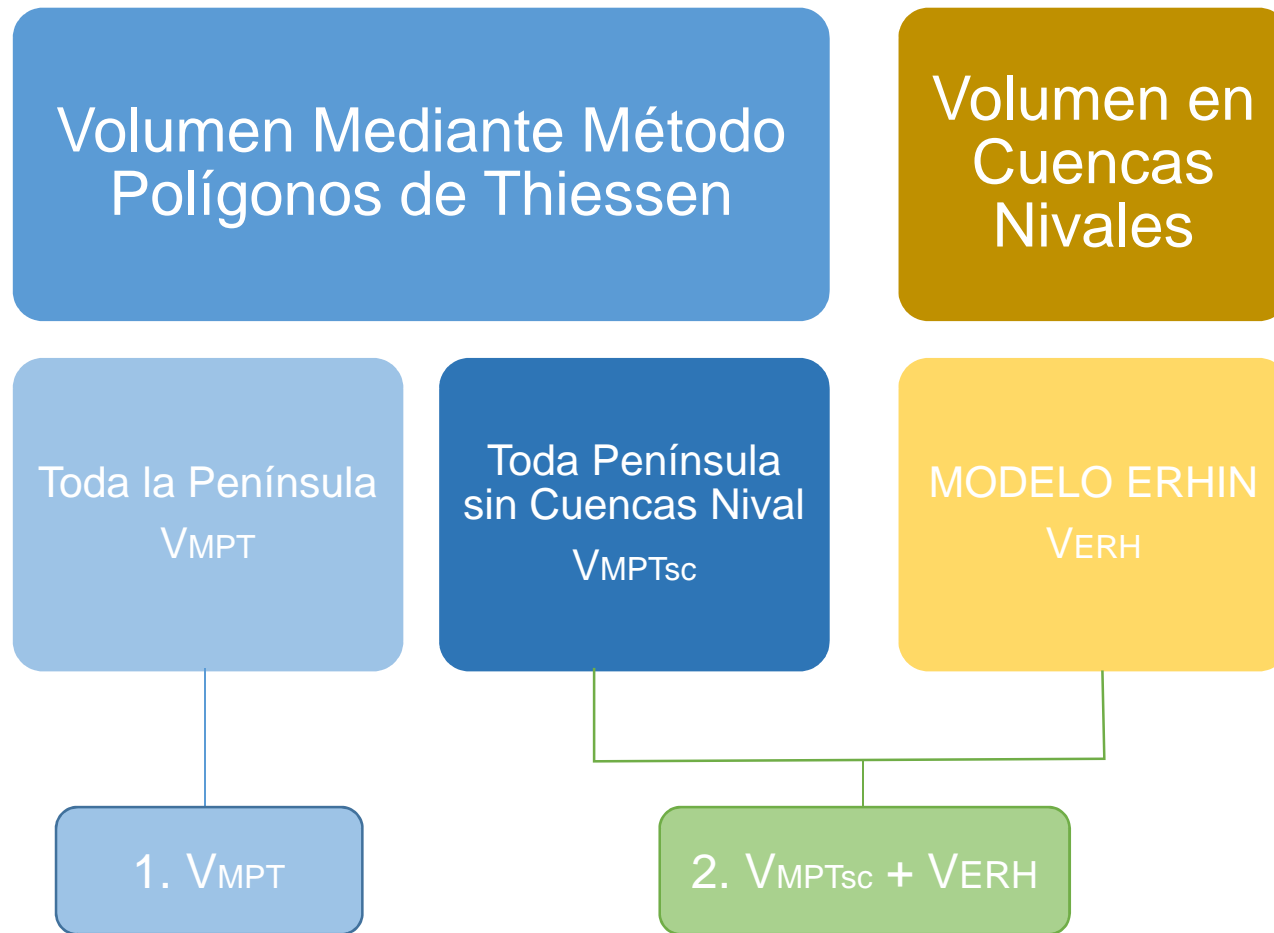
- **METODOLOGÍA**

- **PARA OBTENER EL VAFN TOTAL ACUMULADO, en hm^3 :**
Basta con sumar los volúmenes acumulados de todos los polígonos, para cada escenario ti.

$$VAFN_{Tot} = \sum_j VAFN_j, \text{ Volumen total de agua equivalente en } hm^3$$

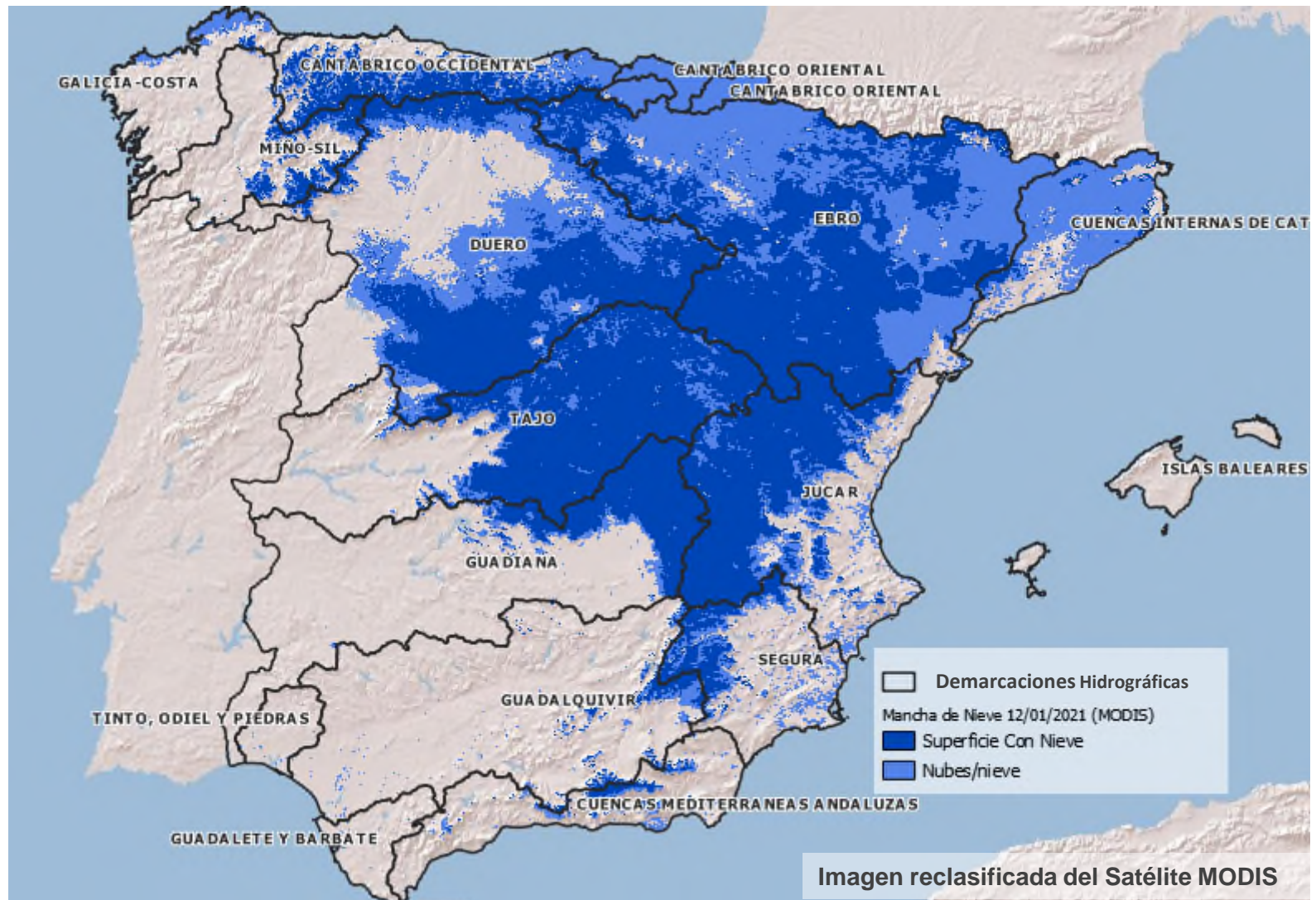
- **PROCEDIMIENTO DE OBTENCIÓN DE RESULTADOS.**
 - MÉTODO DE POLÍGONOS DE THIESSEN (MPT) COMPLETO.**
 - El $VAFN_{Tot}$ se obtiene al aplicar la metodología anteriormente descrita a **TODA LA PENÍNSULA.**
 - MÉTODO DE POLÍGONOS DE THIESSEN NO ERHIN + MODELIZACIÓN CUENCAS ERHIN.**
 - El $VAFN_{Tot}$ se obtiene al aplicar la metodología anteriormente descrita a **TODA LA PENÍNSULA excepto en las cuencas nivales modelizadas en el programa ERHIN**, en estas el cálculo del $VAFN_{Tot}$ se obtiene mediante la aplicación directa de Modelos Hidrológico (**ASTER y MINERVE-HEC-HMS**)

- **ESQUEMA DE OBTENCIÓN DE RESULTADOS**



*Los resultados se van a presentar para las Diferentes Demarcaciones Hidrográficas.

- **4.A.1 SUPERFICIES INNIVADAS** (Fecha: 12/01/2021) :



4

RESULTADOS

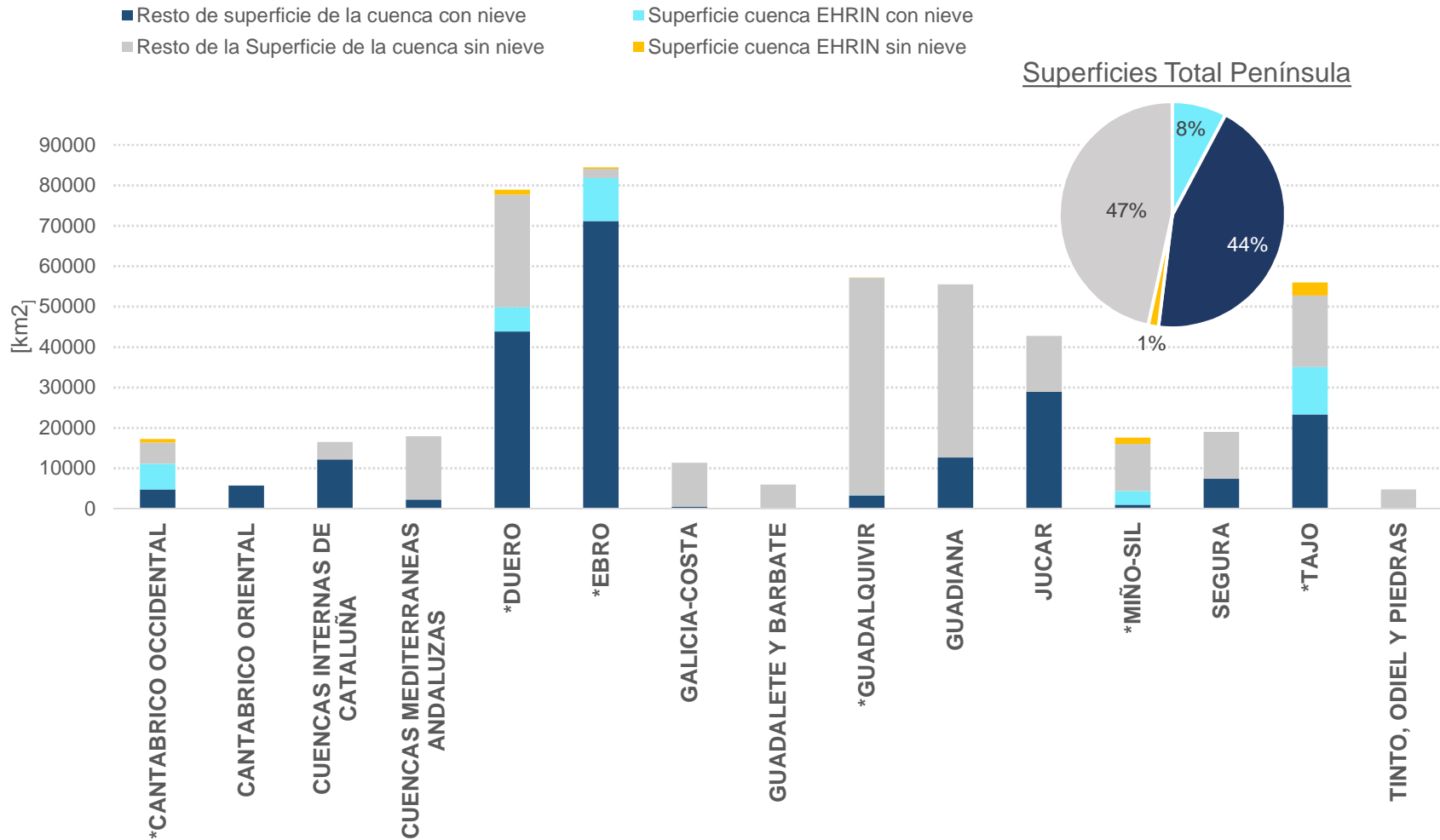
- 4.A.1 SUPERFICIES INNIVADAS** (Fecha: 12/01/2021) :

DEMARCACIÓN	Superficie total de la demarcación [km2]	CUENCAS MODELIZADAS ERHIN			RESTO DE ZONAS	
		Superficie cuenca EHRIN con nieve [km2]	Superficie cuenca EHRIN sin nieve [km2]	Superficie total Cuencas ERHIN [km2]	Resto de la Superficie de la cuenca sin nieve [km2]	Resto de superficie de la cuenca con nieve [km2]
*CANTABRICO OCCIDENTAL	17.208,02	6.342,09	875,41	7.217,50	5.213,29	4.777,23
CANTABRICO ORIENTAL	5.782,85				71,64	5.711,21
C. INTERNAS DE CATALUÑA	16.495,00				4.304,53	12.190,47
C. MEDITERRANEAS ANDALUZAS	17.941,76				15.672,38	2.269,37
*DUERO	78.914,89	6.020,10	1.223,30	7.243,40	27.862,23	43.809,26
*EBRO	84.428,32	10.632,90	343,48	10.976,38	2.304,40	71.147,54
GALICIA-COSTA	11.348,67				10.845,51	503,16
GUADALETE Y BARBATE	5.956,26				5.956,26	0,00
*GUADALQUIVIR	57.186,53	117,20	59,29	176,49	53.754,31	3.255,73
GUADIANA	55.502,01				42.873,43	12.628,58
JUCAR	42.712,42				13.830,96	28.881,47
*MIÑO-SIL	17.605,98	3.338,16	1.574,44	4.912,60	11.707,24	986,14
SEGURA	19.024,80				11.623,80	7.401,00
*TAJO	55.949,48	11.737,11	3.202,44	14.939,55	17.678,46	23.331,47
TINTO, ODIEL Y PIEDRAS	4.762,34				4.762,34	0,00
Total Península	490.819,34	38.187,56	7.278,36	45.465,92	228.460,79	216.892,63

*Demarcaciones con cuencas incluidas en el programa ERHIN

• **4.A. SUPERFICIES INNIVADAS** (Fecha: 12/01/2021) :

Distribución de superficies con y sin nieve por demarcación (incluyendo las Cuencas ERHIN)

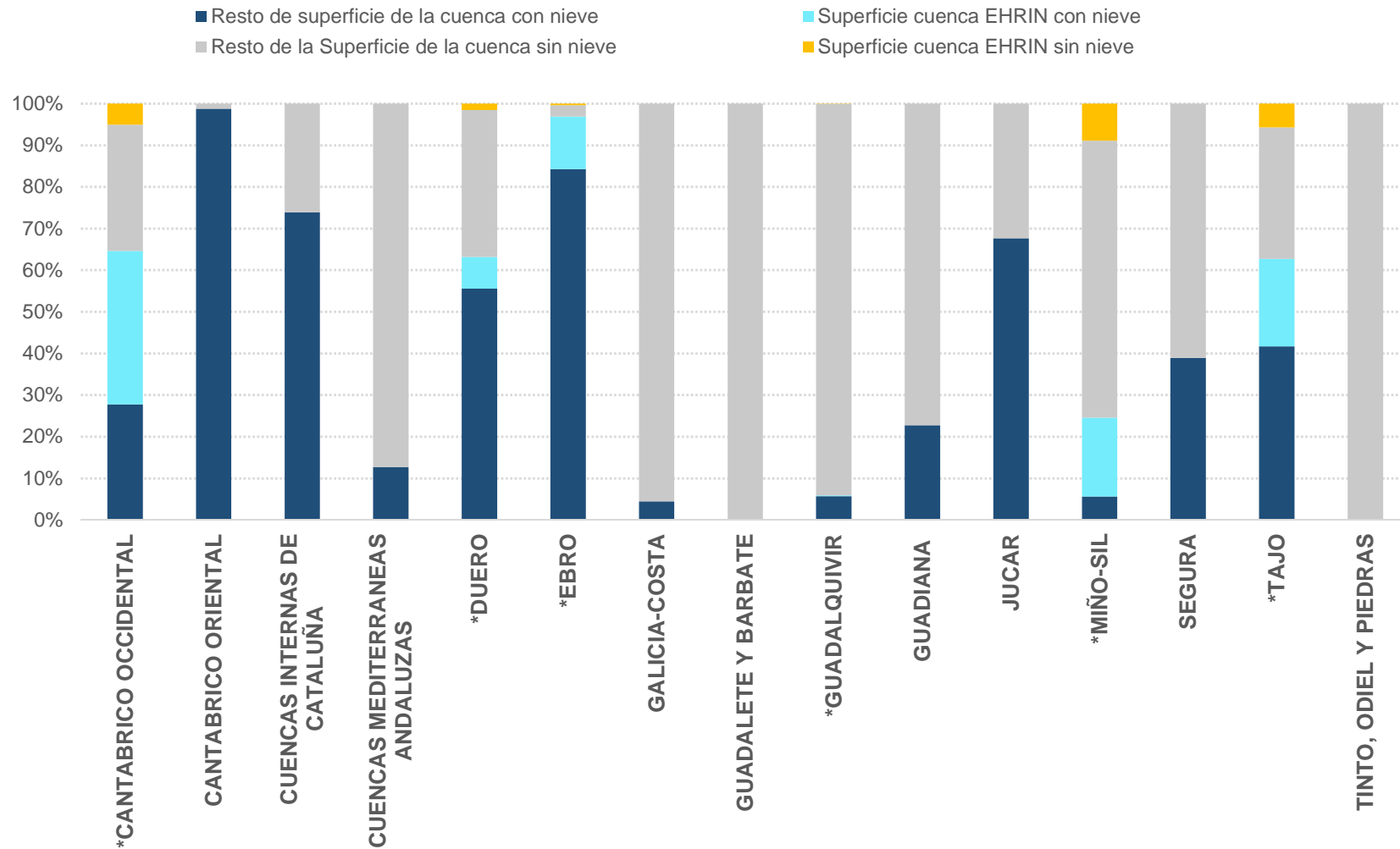


4

RESULTADOS

• 4.A.1 SUPERFICIES INNIVADAS (Fecha: 12/01/2021) :

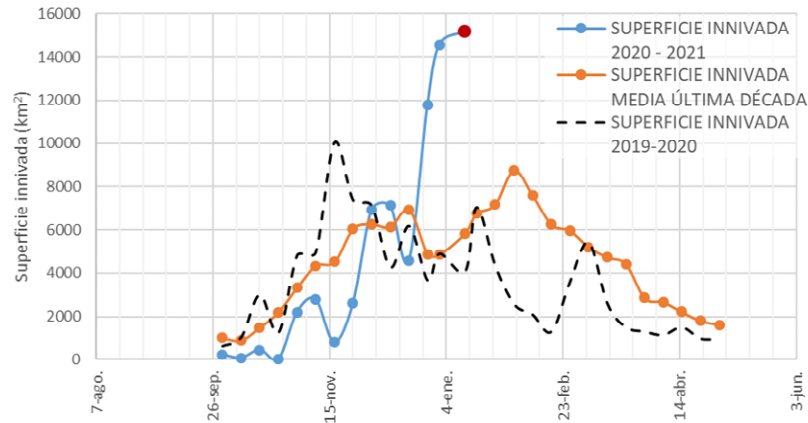
Porcentaje de superficies con y sin nieve por demarcación (incluyendo las Cuencas ERHIN)



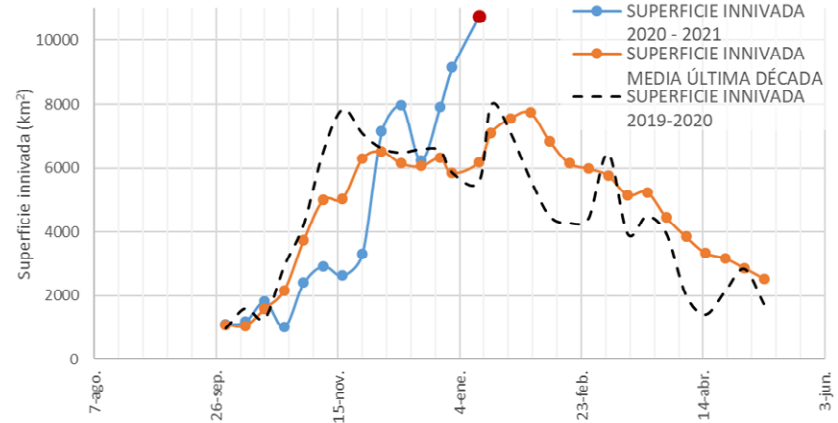
4.A.2 EVOLUCIÓN DE SUPERFICIE INNIVADA (datos para Sistema ERHIN)



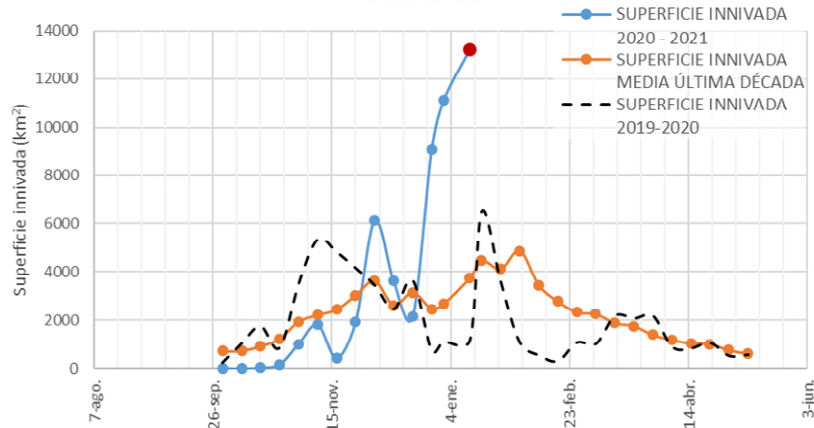
SUPERFICIE INNIVADA SISTEMA CANTÁBRICO
2020-2021



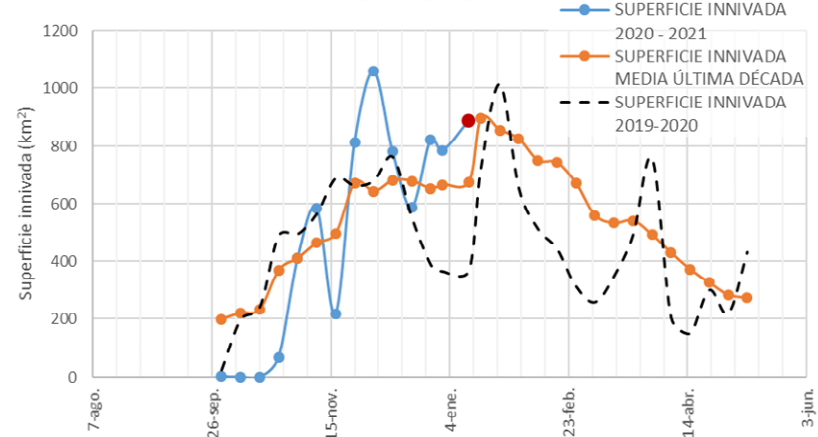
SUPERFICIE INNIVADA PIRINEOS
2020-2021



SUPERFICIE INNIVADA SISTEMA CENTRAL
2020-2021



SUPERFICIE INNIVADA SIERRA NEVADA
2020-2021



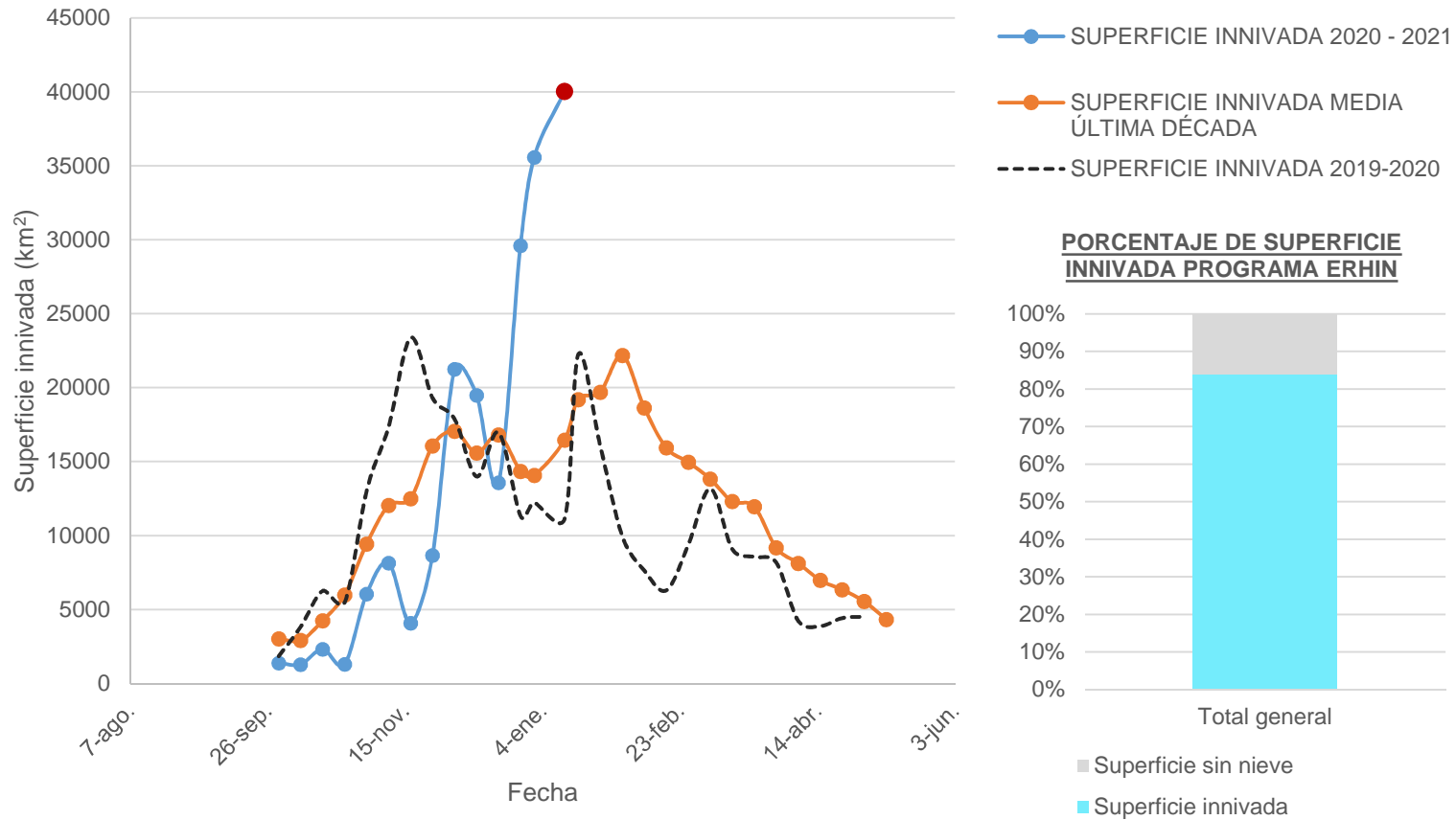
4

RESULTADOS

4.A.2 EVOLUCIÓN DE SUPERFICIE INNIVADA (datos para Sistema ERHIN)



SUPERFICIE INNIVADA SISTEMAS CUENCAS ERHIN
2020-2021



4

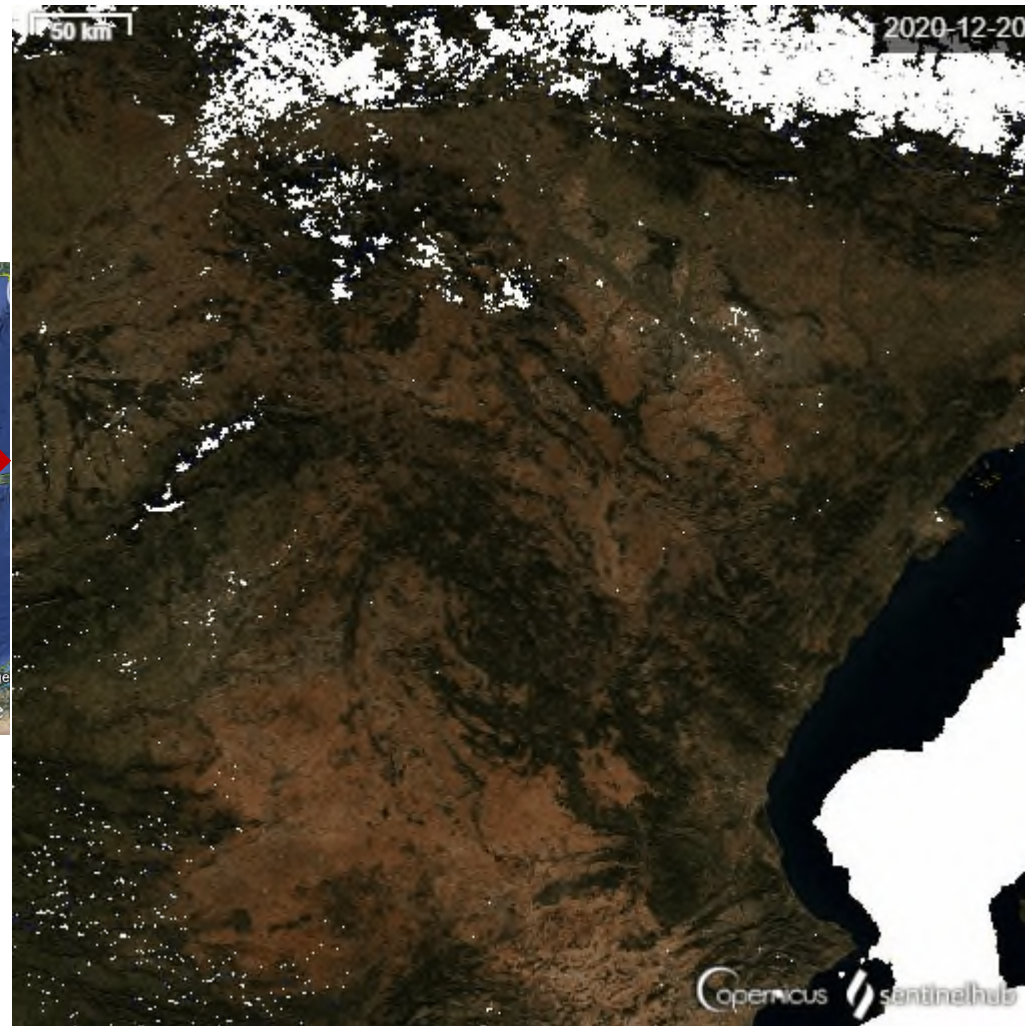
RESULTADOS

- **4.A.2 EVOLUCIÓN DE SUPERFICIE INNIVADA**

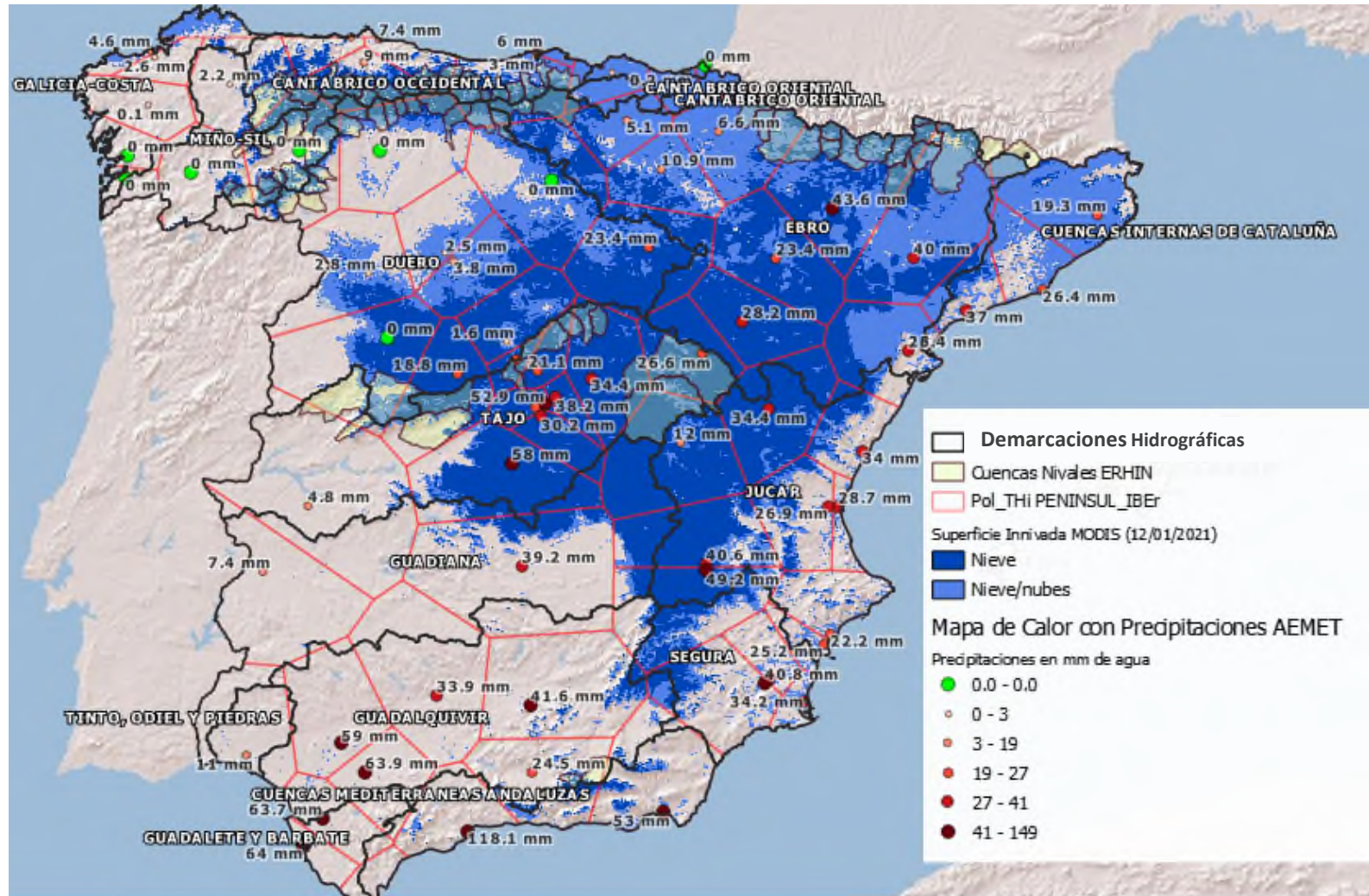
Fuente:

<https://apps.sentinel-hub.com/eo-browser/>

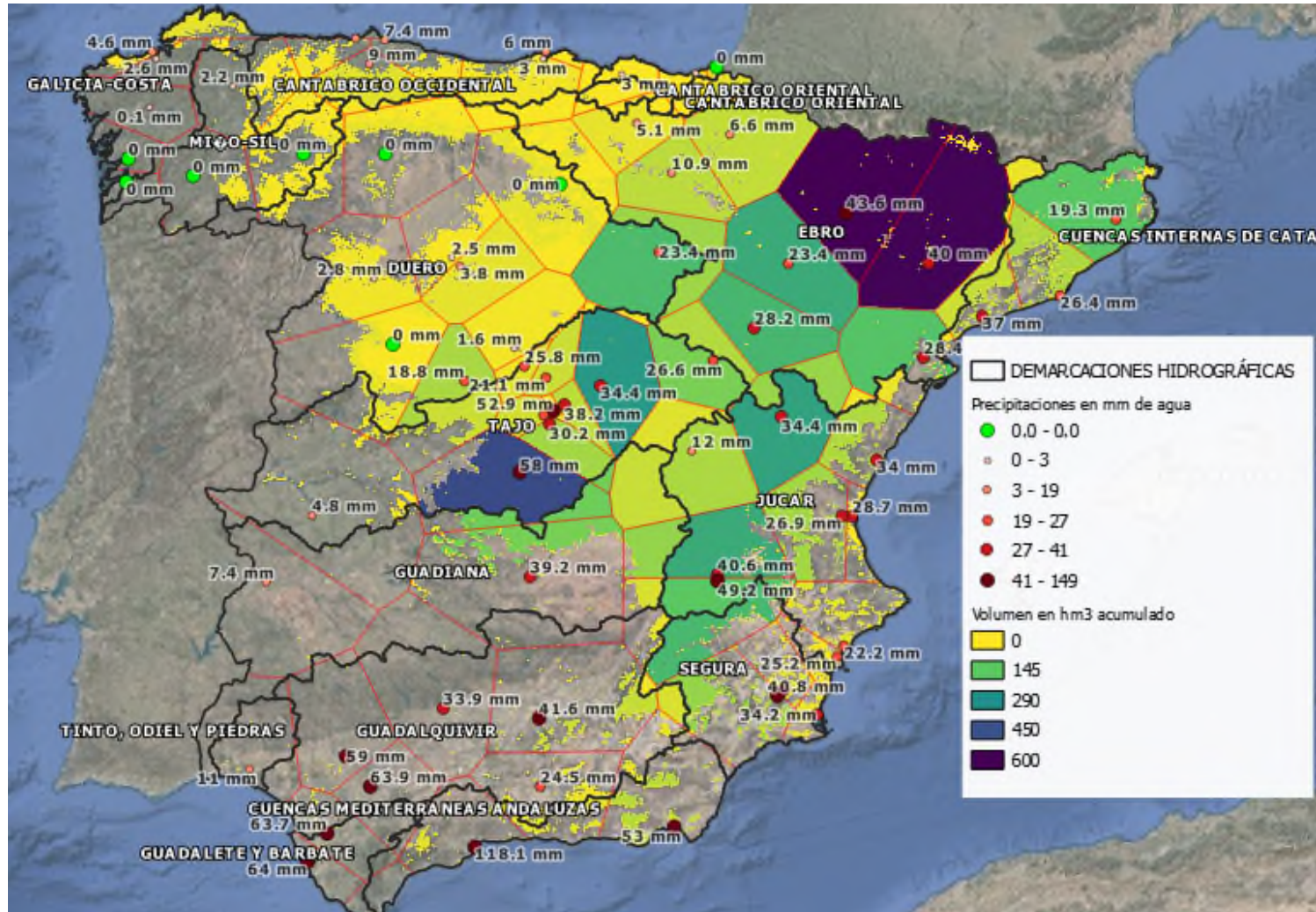
Evolución de la superficie innivada a partir de imágenes MODIS desde el 20/12/2020 hasta el 10/01/2021 para la zona más afectada por la Borrasca Filomena



- **4.A.1 VOLUMENES DE AGUA EN FORMA DE NIEVE** (Fecha: 12/01/2021):
Representación de las variables utilizadas para el calculo de los volúmenes y su distribución espacial.



- **4.A.1 VOLUMENES DE AGUA EN FORMA DE NIEVE** (Fecha: 12/01/2021):
Representación de los volúmenes de agua en forma de nieve acumulados en los polígonos de Thiessen.



4

RESULTADOS

• 4.A.1 VOLUMENES DE AGUA EN FORMA DE NIEVE

Obtención de los volúmenes en forma de nieve (VAFNs) mediante la aplicación del Método de los Polígonos de Thiessen, y los obtenidos mediante Modelos (solo para las cuencas del Programa ERHIN)

DEMARCACIÓN	VAFN estimado en resto de cuencas (1) [hm3]	VAFN estimado en cuencas programa EHRIN (Modelos) (2) [hm3]	VAFN estimado en cuencas programa EHRIN por MPT (3) [hm3]	VAFN estimado TOTAL: VMPT + VERH (1)+(2) [hm3]	VAFN estimado TOTAL: VMPT (1)+(3) [hm3]
*CANTABRICO OCCIDENTAL	28,09	41,85	29,59	69,94	57,68
CANTABRICO ORIENTAL	11,87		0,00	11,87	11,87
CUENCAS INTERNAS DE CATALUÑA	282,95		0,01	282,95	282,96
C. MEDITERRANEAS ANDALUZAS	109,33		0,01	109,33	109,34
*DUERO	307,51	34	17,27	341,51	324,78
*EBRO	1.829,74	125,52	346,09	1.955,26	2.175,83
GALICIA-COSTA	1,97		0,00	1,97	1,97
GUADALETE Y BARBATE	0		0,00	0	0,00
*GUADALQUIVIR	132,27	1,94	2,90	134,21	135,17
GUADIANA	435,13		0,12	435,13	435,25
JUCAR	895,47		0,21	895,47	895,68
MIÑO	0		0,00	0	0,00
*MIÑO-SIL	0,72	-2,23 (**)	1,22	-1,51	1,93
SEGURA	327,66		0,00	327,66	327,66
*TAJO	917,68	145,57	264,05	1.063,25	1.181,73
TINTO, ODIEL Y PIEDRAS	0		0,00	0	0,00
Total Península	5.280,39	346,65	661,45	5.627,04	5.940,73

VAFN: Volumen de agua en forma de nieve

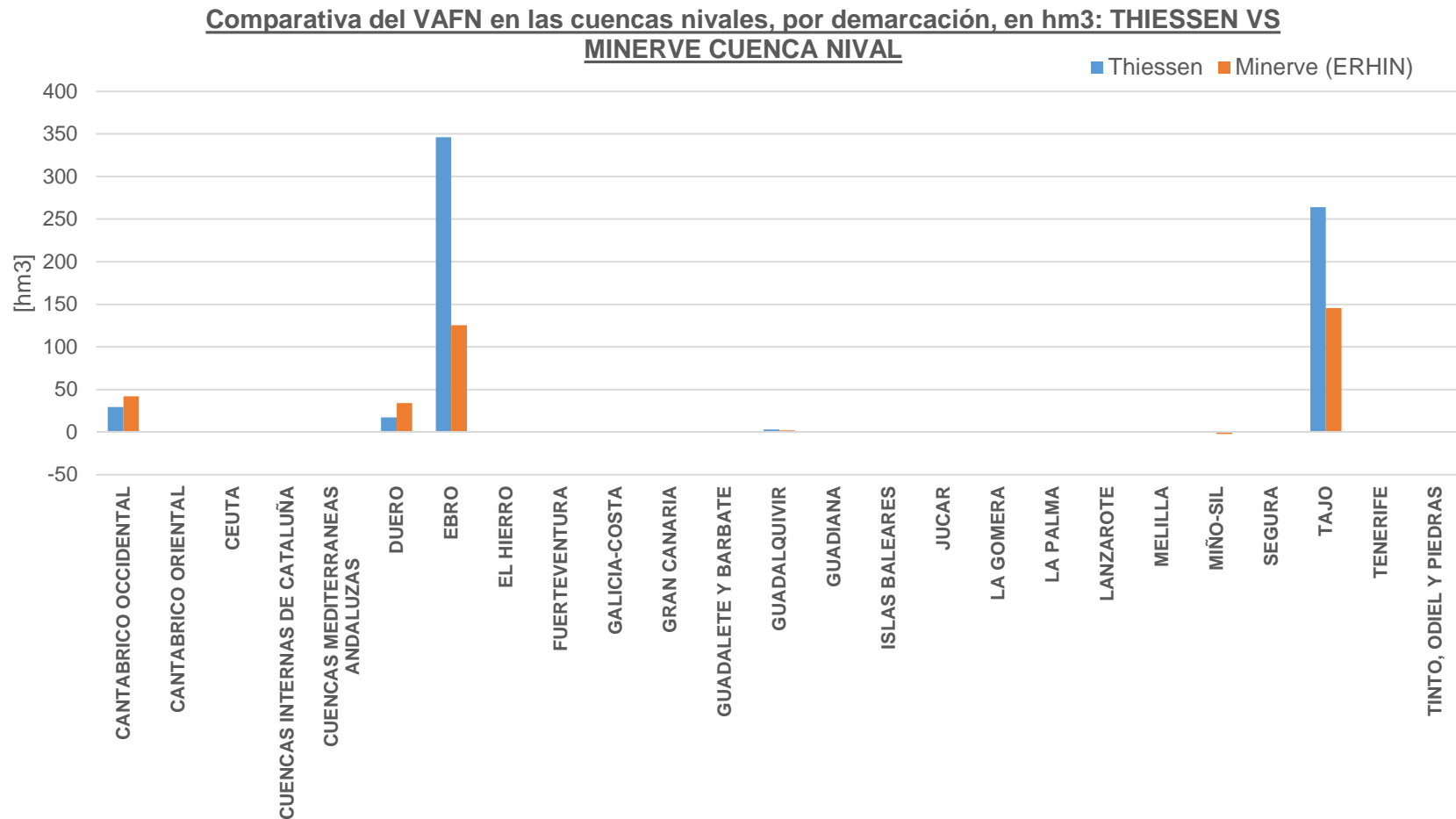
(**)El valor negativo en el Miño-Sil indica que existe una pérdida de VAFN por el efecto de la fusión .

4

RESULTADOS

- 4.A.1 VOLUMENES DE AGUA EN FORMA DE NIEVE**

Comparativa de los volúmenes en forma de nieve (VAFNs) obtenidos mediante la aplicación del Método de los Polígonos de Thiessen, y los obtenidos mediante Modelos (solo para las cuencas del Programa ERHIN)

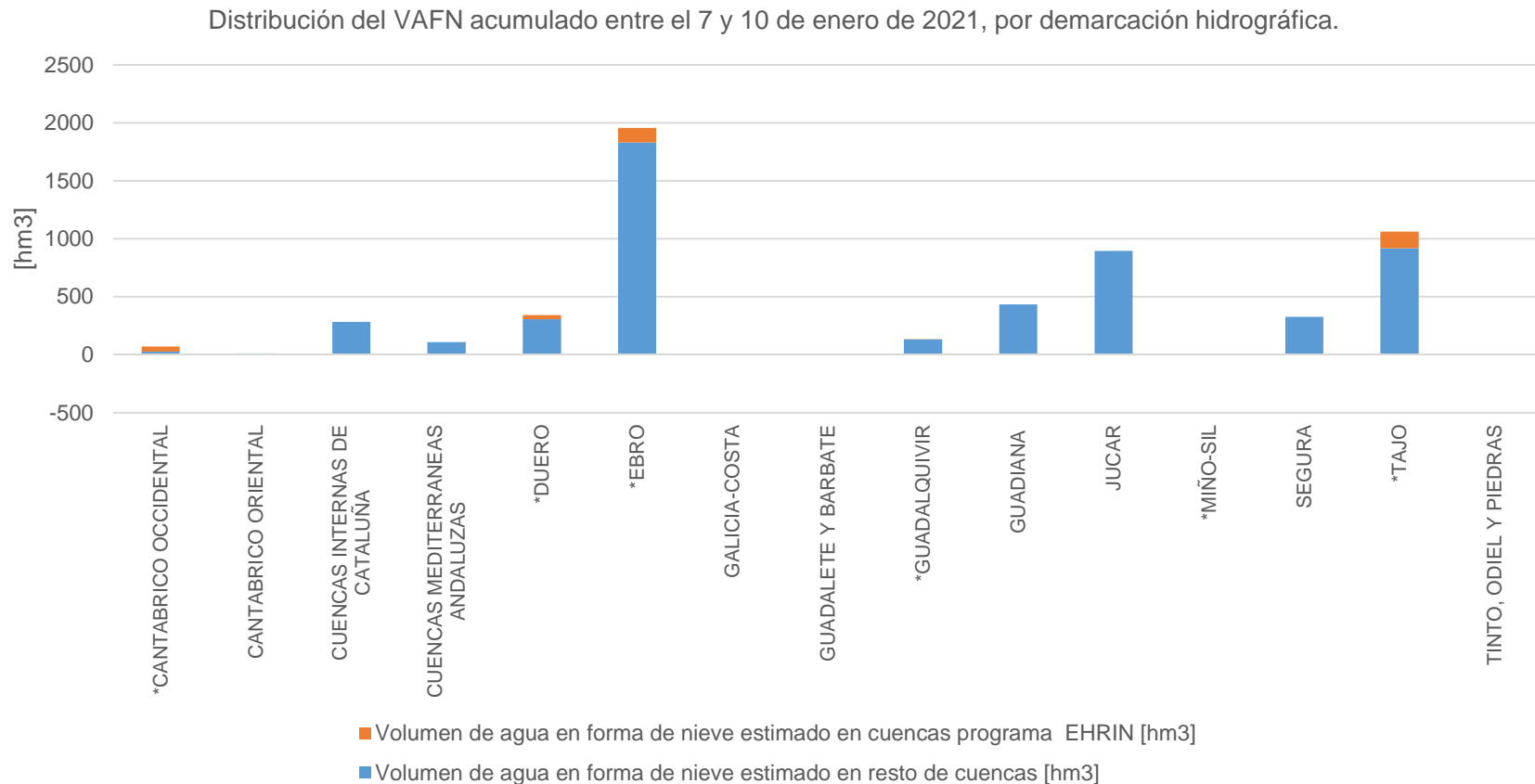


4

RESULTADOS

- **4.A.1 VOLUMENES DE AGUA EN FORMA DE NIEVE**

Resultados de VAFN TOTALES para la combinación de VAFN calculados mediante Modelos ERHIN (solo en las cuencas incluidas en este programa) y los VAFN calculados con el Método de Polígonos de Thiessen para el resto de zonas



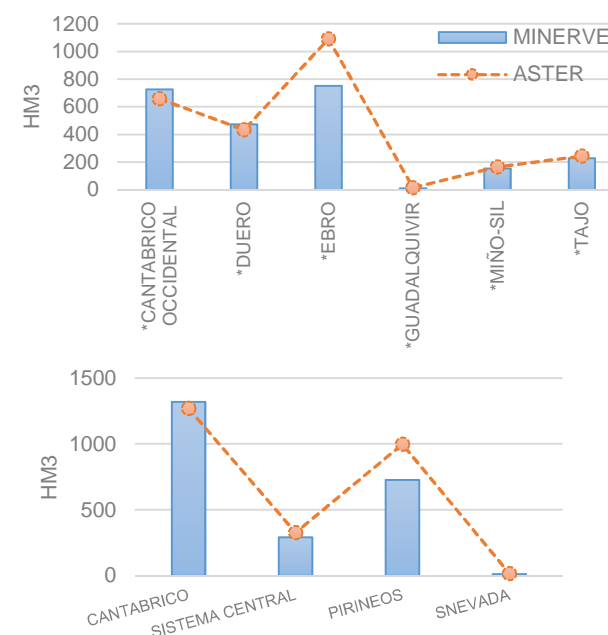
- **COMPARATIVA ENTRE METODOLOGÍAS EN LAS CUENCAS ERHIN.**
- **RESULTADOS DE LAS MODELIZACIONES (MINERVE-HEC.HMS)**



En este punto se comparan los resultados de VAFN ACUMULADO (el existente antes de Filomena, más el aporte producido en las cuencas ERHIN durante el evento) obtenidos mediante los Modelos ASTER y MINERVE-HEC.HMS utilizados en el programa ERHIN

Demarcaciones	Antes de Filomena	Durante Filomena	Después de Filomena	
	VAFN Acumulado a 06/01/2021 MINERVE	VAFN entre el 7 y el 10 de enero 2021 MINERVE	VAFN Acumulado a 10/01/2021 MINERVE	VAFN Acumulado a 10/01/2021 ASTER
*CANTABRICO OCCIDENTAL	684,42	41,85	726,27	658,5
*DUERO	440,07	34	474,07	434,1
*EBRO	627,53	125,52	753,05	1.092,10
*GUADALQUIVIR	9,22	1,94	11,16	16,3
*MIÑO-SIL	158,14	-2,23	155,91	166,3
*TAJO	84,66	145,57	230,23	244,2
TOTAL ERHIN	2.004,04	346,65	2.350,69	2.611,50
Sistemas				
CANTABRICO	1.253,04	67,73	1.320,77	1.270,50
SISTEMA CENTRAL	137,66	153,67	291,33	327,2
PIRINEOS	604,12	123,31	727,43	997,6
SNEVADA	9,22	1,94	11,16	16,3
TOTAL ERHIN	2.004,04	346,65	2.350,69	2.611,60

Comparativa VAFN ACUMULADO en 10/01/2021
Minerve-ASTER

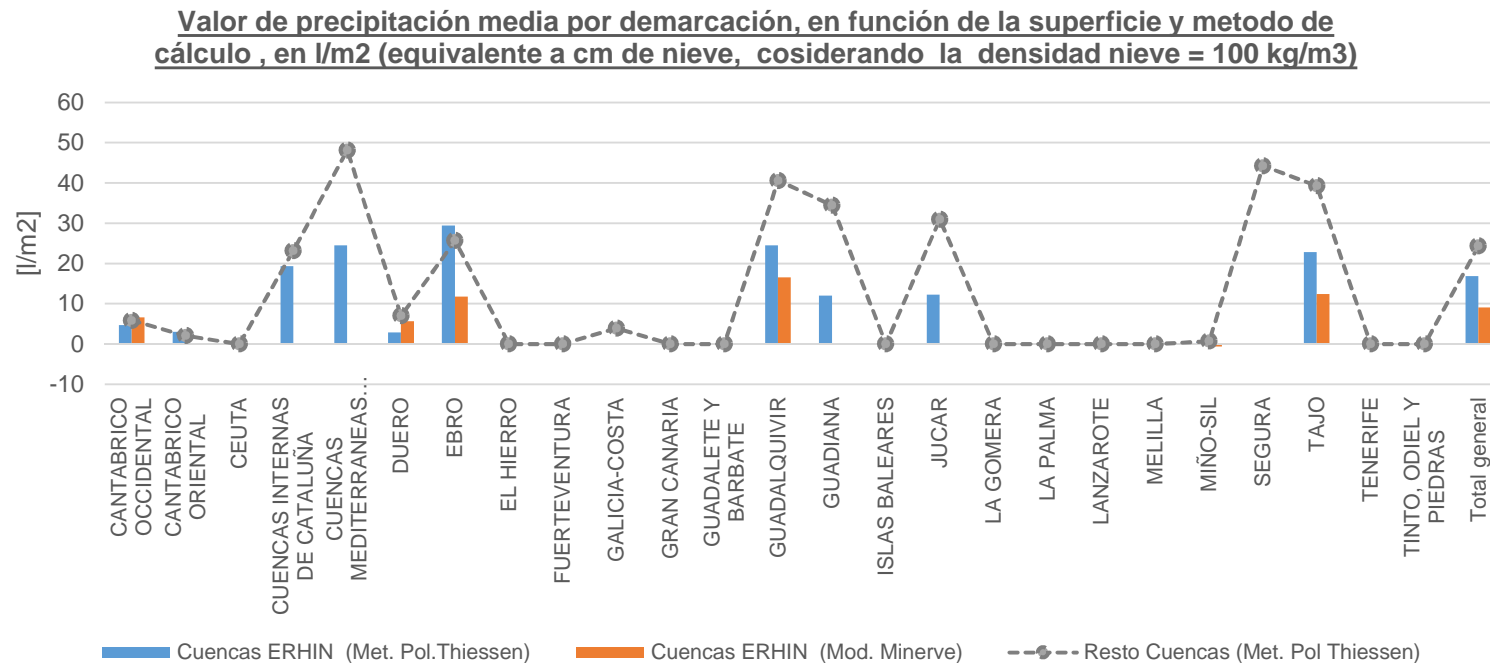


Ambos modelos dan resultados similares, existiendo la mayor diferencia en las cuencas del Ebro y del Pirineo. **A todos los efectos, los resultados presentados hasta el momento han sido los obtenidos con Minerve-Hec.HMS.**

5

ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS

- **COMPARATIVA ENTRE METODOLOGÍAS EN LAS CUENCAS ERHIN.**
- **VALOR DE LA PRECIPITACIÓN MEDIA PARA CADA UNA DE LAS ZONAS ANALIZADAS**
(cuencas ERHIN y resto de zonas)

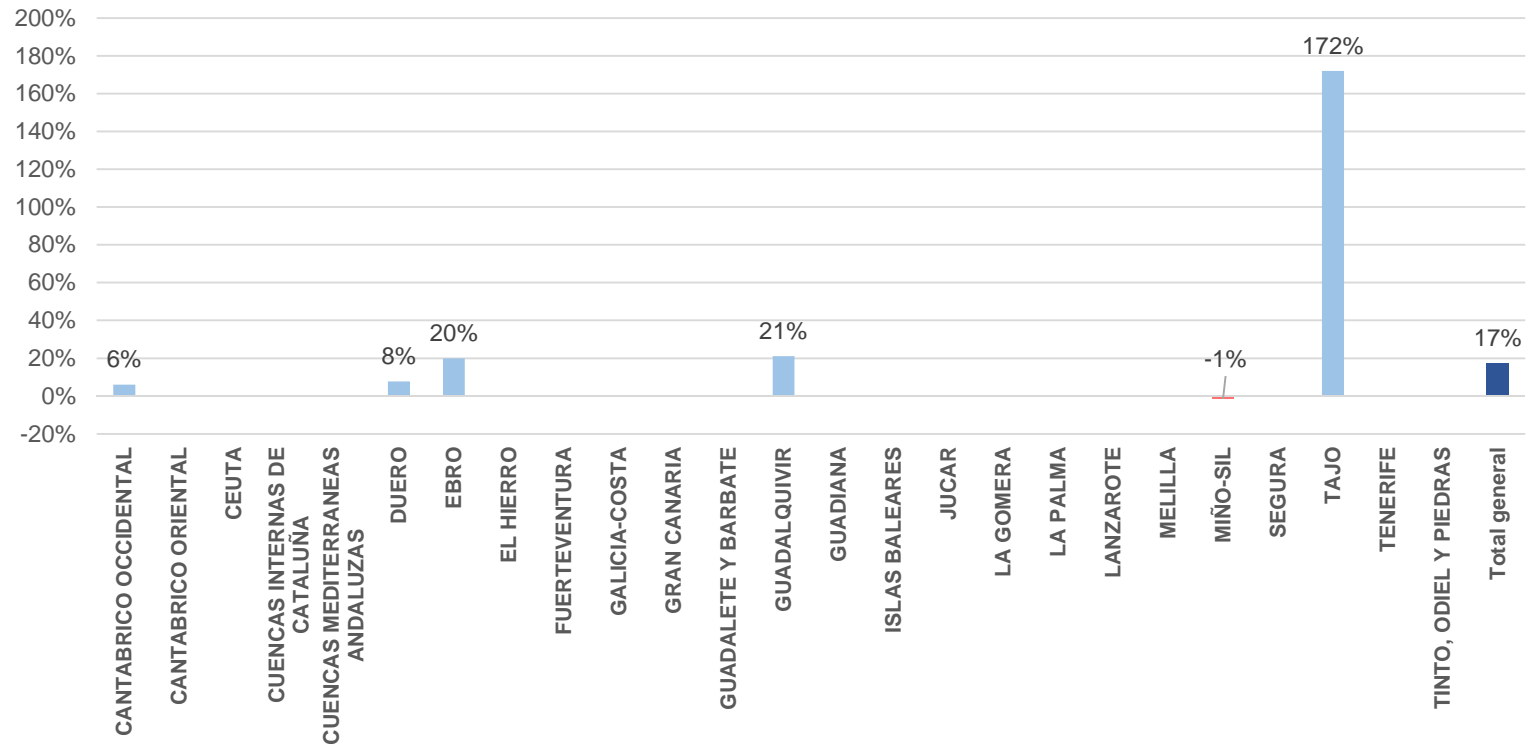


En esta gráfica se observa que en el Ebro, Guadalquivir y Tajo la precipitación media en las cuencas ERHIN obtenida a partir del método de polígonos de Thiessen está sobreestimada respecto a la calculada mediante el Modelo MINERVE (en el Duero y el Cantábrico pasa al contrario). También se observa que la precipitación media en el resto de zonas es sistemáticamente más alta que en las cuencas ERHIN.

5

ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS

- **EFFECTO DE FILOMENA EN CUENCAS ERHIN .**
- **Tasa de variación del VAFN en las cuencas ERHIN modelizadas con Minerve.**



Los resultados VAFN obtenidos por el modelo Minerve para las cuencas ERHIN señalan que, excepto en la demarcación del Miño-Sil, todas las demarcaciones han acumulado agua en forma de nieve, siendo el caso del Tajo la que ha acumulado durante los días que ha durado el evento Filomena casi el doble (172%) del VAFN que tenía hasta la fecha.

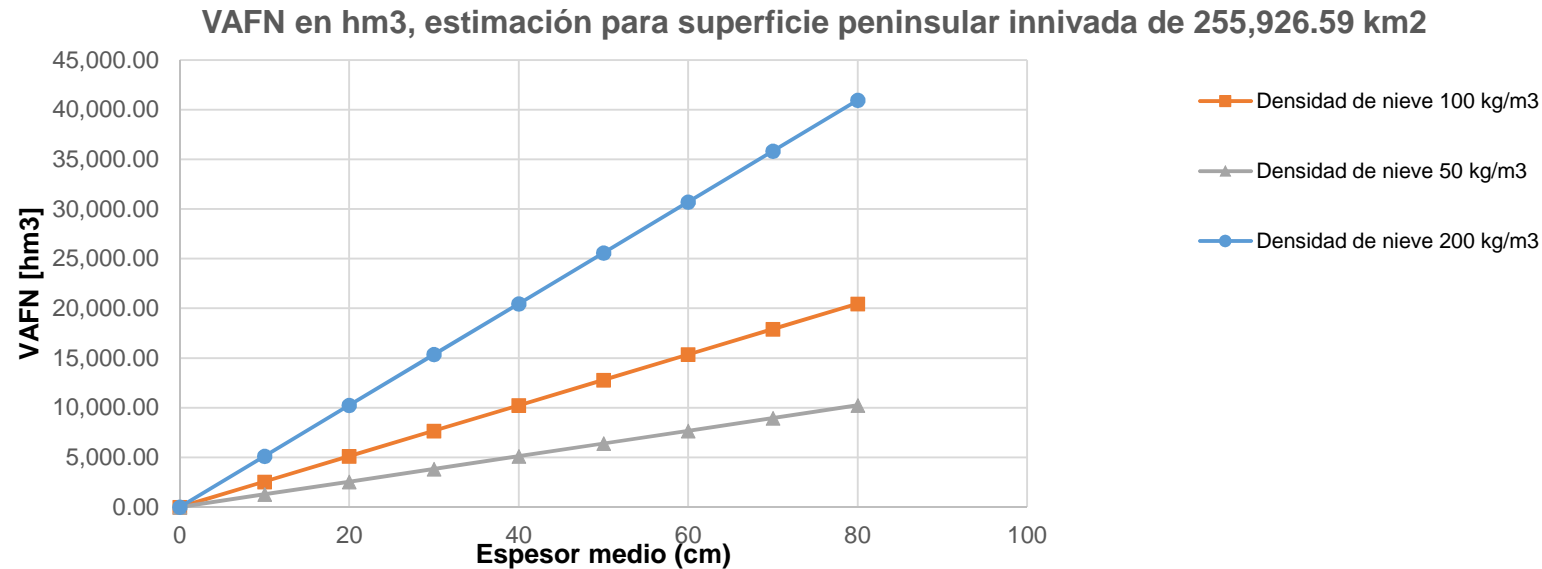
La tasa de variación general en todas las cuencas ERHIN ha sido de un aumento del 17%.

- **CONCLUSIONES FINALES**

- Tras este análisis se ha obtenido que el evento producido por la tormenta Filomena ha dejado en España un total de entre **5.600 y 6.000 hm^3 de Agua en forma de nieve** entre los días 7 y 10 de enero de 2021.
- Este volumen ha dejado una **superficie cubierta** por nieve del orden **del 50%** de la territorio peninsular de España, llegando en casos como la demarcación del Cantábrico Oriental a cubrir aproximadamente el 100% de su extensión.
- Según los resultados obtenidos, las **Demarcaciones del Ebro, Júcar y Tajo son las que más aportes de agua en forma de nieve han registrado**, siendo el caso de las cuencas altas (ERHIN) del Sistema Central (Demarcación de Tajo) las que ha tenido un mayor incremento de sus reservas en estado solido (170%).
- Para las **cuencas incluidas en el programa ERHIN** se ha podido observar que tanto las **superficies innivadas** como **los volúmenes de agua en forma de nieve** antes de la tormenta Filomena, ya estaban por **encima de la media** de los valores medios de la última década, y tras el paso de esta **siguen esa tendencia** al alza (salvo las cuencas del Miño-Sil y las de Sierra Nevada).

• CONTEXTUALIZACIÓN DE RESULTADOS

El volumen de agua en forma de nieve que ha dejado la borrasca Filomena a su paso por nuestro país se ha estimado entre **5.500 y 6.000 hm^3** , lo que **equivaldría** a suponer a lo largo de toda la extensión de la **capa de nieve un espesor medio de unos 20 cm** (tomando como densidad de la nieve $100 \text{ kg}/m^3$).



Otros datos que sirven para poner en contexto esta cifra son, por ejemplo, la **aportación total estimada de recursos hídricos en España ronda los 100.000 hm^3 /año**, la **capacidad total de los embalses en España es de unos 55.000 hm^3** y en estos momentos almacenan unos **28.000 hm^3** . Por lo que la tormenta Filomena ha supuesto una aportación (**5.500 – 6.000 hm^3**) **aproximada del 10% de la capacidad total de embalse, y un 5% de las aportaciones totales anuales.**

- **LIMITACIONES**

- ❑ Los **resultados deben entenderse como aproximaciones al orden de magnitud**, existiendo poco\escaso control sobre las principales variables utilizadas para caracterizar y modelizar este tipo de procesos en las zonas no incluidas en el programa ERHIN.
- ❑ La **imagen MODIS** obtenida, es de **dos días después de la tormenta e incluye algunas zonas de nubes**, por lo que dicha área está sujeta a subestimaciones/sobreestimaciones.
- ❑ **Los pluviómetros no están diseñados para medir a tan baja temperatura** el agua en forma de nieve y el dato que ofrecen puede tener falta de precisión. Se ha dado el caso de pluviómetros con una precipitación acumulada durante esos días de 0 mm, y mediante la imagen satélite se ha comprobado que hay nieve en la zona.
- ❑ Se han tomado las siguientes **simplificaciones** en zonas no incluidas en el programa ERHIN:
 - Asumir un **espesor medio constante** en todo un polígono de Thiessen.
 - **Toda la precipitación se ha considerado como agua en forma de nieve** (suponiendo que todo lo precipitado es en forma sólida).

**SECRETARÍA DE ESTADO DE MEDIO AMBIENTE.
DIRECCIÓN GENERAL DEL AGUA**

SUBDIRECCIÓN GENERAL DE PROTECCIÓN DE LAS AGUAS Y GESTIÓN DE RIESGOS

ÁREA DE INFORMACIÓN HIDROLÓGICA

Fernando Pastor Argüello

Plaza San Juan de la Cruz 10
Despacho C-708
28071 Madrid

Teléfonos: 91 597 54 43

Correo electrónico:

hidrologia@miteco.es

El informe de Evolución de Recursos Nivales puede ser consultado en:

<https://www.miteco.gob.es/es/agua/temas/evaluacion-de-los-recursos-hidricos/ERHIN/>

TRAGSATEC

SUBDIRECCIÓN DE MEDIO AMBIENTE, PESCA E INGENIERÍA

GERENCIA DE PLANIFICACIÓN Y GESTIÓN HÍDRICA

Guiomar Ruíz Pérez : gruiz3@tragsa.es

Sergio Morant Carbó : smorant@tragsa.es

