



GOBIERNO  
DE ESPAÑA

MINISTERIO  
PARA LA TRANSICIÓN ECOLÓGICA  
Y EL RETO DEMOGRÁFICO

SECRETARÍA DE ESTADO  
DE MEDIO AMBIENTE

DIRECCIÓN GENERAL  
DEL AGUA

# PAPEL DE LAS PRESAS EN LA GESTIÓN DE LA BORRASCA NELSON


## ANÁLISIS DE DAÑOS EVITADOS EN LA DEMARCACIÓN HIDROGRÁFICA DEL GUADIANA



*Río Guadiana a su paso por Puebla de Don Rodrigo (Ciudad Real) - EFE/ Beldad*



### HOJA DE CONTROL DE CALIDAD

<b>PROYECTO</b>	PAPEL DE LAS PRESAS EN LA GESTIÓN DE LA BORRASCA NELSON. ANÁLISIS DE DAÑOS EVITADOS EN LA D.H. GUADIANA					
<b>DOCUMENTO</b>	INFORME					
<b>FECHA ENTREGA</b>	30 de septiembre de 2024					
<b>IDENTIFICADOR</b>	<b>Informe Guadiana Nelson_V05.docx</b>					
<b>AUTOR</b>	VERSIÓN	03	04	05 (final)		
<b>REVISIÓN</b>	FIRMA	SSG	EMB	EMB		
<b>VERIFICACIÓN</b>	FECHA	31/05/24	09/07/24	25/09/24		
<b>DESTINATARIO</b>	FIRMA	EMB	RGM	RGM		
<b>VERIFICACIÓN</b>	FECHA	04/07/24	15/07/24	30/09/24		
<b>VERIFICACIÓN</b>	FIRMA			MGR		
<b>VERIFICACIÓN</b>	FECHA			30/09/24		
<b>DESTINATARIO</b>	Dirección General del Agua					
 <span style="float: right; font-weight: bold; font-size: 1.2em;">Septiembre 2024</span>						



## ÍNDICE

### MEMORIA

1.	RESUMEN DEL TRABAJO REALIZADO Y CONCLUSIONES .....	1
2.	ANTECEDENTES .....	5
2.1.	Borrasca Nelson .....	5
2.1.1.	Evolución de la borrasca .....	5
2.1.2.	Avisos emitidos y principales observaciones de AEMET.....	6
2.1.3.	Impacto por demarcaciones hidrográficas .....	7
2.2.	Información recopilada.....	9
3.	OBJETIVO DEL ESTUDIO Y ÁMBITO DEL ESTUDIO .....	10
4.	ESQUEMA METODOLÓGICO.....	13
5.	TAREAS REALIZADAS Y RESULTADOS .....	16
5.1.1.	Identificación de los tramos ARPSI situados aguas abajo de presas .....	16
5.1.2.	Identificación de los puntos de control SAIH que permiten asignar los hidrogramas originados por la borrasca Nelson en los puntos finales de los 21 tramos ARPSI seleccionados.....	18
5.1.3.	Caudales punta al final de cada tramo ARPSI .....	24
5.1.4.	Daños producidos por desbordamiento de cauces y daños evitados gracias a las presas durante la borrasca Nelson.....	31
6.	CONSIDERACIONES FINALES .....	37

### Figuras

Figura 1.	Tramo ARPSI ES040_CLM_016_37, río Guadiana a su paso por Puebla de Don Rodrigo. Zonas inundables teóricas (izquierda) y desbordamiento del río Guadiana durante la borrasca Nelson (derecha).....	2
Figura 2.	Distribución de los daños a la actividad económica y población protegida durante Nelson gracias al efecto de laminación de caudales que producen las presas.....	3
Figura 3.	Estado de la escasez, meses de febrero y marzo. Fuente: Informes mensuales de Sequías de la Confederación Hidrográfica del Guadiana e informes mensuales de seguimiento de la situación de Sequía y Escasez de la Subdirección General de Planificación Hidrológica, Dirección General del Agua.....	4
Figura 4.	Borrasca Nelson localizada al sur de Irlanda las 12 UTC del día 28 de marzo de 2024. (Imagen RGB natural obtenida por el satélite Meteosat-11). Fuente: AEMET .....	5
Figura 5.	Fotogramas de la evolución de Nelson durante los días 26, 28, 29 de marzo y 1 de abril. Fuente: AEMET.....	6
Figura 6.	Distribución anual del volumen embalsado en las DD. HH. del Guadalquivir, Guadiana, Tajo y Duero. Fuente: Boletín Hidrológico Digital del MITECO .....	7

Figura 7. Distribución espacial de la lluvia acumulada en las DD. HH. del Guadalquivir y Guadiana. Elaborado a partir de datos ráster del SAIH de las CC.HH. ....	8
Figura 8. Precipitación acumulada entre el 25 de marzo y el 1 de abril de 2024. Estaciones pluviométricas SAIH. Fuente: Episodio NELSON, C.H. del Guadiana.....	8
Figura 9. Precipitación máxima diaria entre el 25 de marzo y el 1 de abril de 2024 (imagen izda.) y precipitaciones máximas diaria (imágenes dcha.). Fuente: C.H. del Guadiana .....	9
Figura 10. Principales cauces y grandes presas de la Demarcación Hidrográfica del Guadiana .....	11
Figura 11. Principales cauces, presas y presas con punto de control SAIH de la Demarcación Hidrográfica del Guadiana .....	12
Figura 12. Esquema metodológico .....	14
Figura 13. Ejemplo de curvas de cuantiles de caudales máximos en un punto final de un tramo ARPSI según CAUMAX y según el SNCZI .....	15
Figura 14. Ejemplo de curvas de Daños/Caudal y Población afectada/Caudal según el SNCZI en el mismo punto que la imagen anterior .....	15
Figura 15. Tramos ARPSI (2016) de la Demarcación Hidrográfica del Guadiana. Tramos inicialmente seleccionados situados aguas abajo de presas (27). El resto en color azul .....	16
Figura 16. Tramos ARPSI de la Demarcación Hidrográfica del Guadiana (27). Tramos inicialmente seleccionados situados aguas abajo de presas, con código.....	17
Figura 17. Tramos ARPSI y puntos de control del SAIH de la Demarcación Hidrográfica del Guadiana. Tramos inicialmente seleccionados situadas aguas abajo de presas (27) .....	17
Figura 18. Intercuenca delimitada entre las estaciones de aforo CR2-14 y CR2-13 y el punto final del tramo ARPSI EXT_004_44 – río Zújar, para obtener el caudal punta asociado a la borrasca Nelson del tramo ARPSI. ....	19
Figura 19. Tramos ARPSI y puntos de control del SAIH de la Demarcación Hidrográfica del Guadiana. Cuenca oriental .....	21
Figura 20. Tramos ARPSI y puntos de control del SAIH de la Demarcación Hidrográfica del Guadiana. Cuenca occidental .....	22
Figura 21. Serie de caudal de entrada y volumen de embalse registrado en el embalse de Cíjara (E2-01) durante la borrasca Nelson. Fuente: SAIH de la C.H. del Guadiana.....	23
Figura 22. Serie de caudal de entrada y volumen de embalse registrado en el embalse de La Serena (E2-06) Fuente: SAIH de la C.H. del Guadiana.....	23
Figura 23. Hidrogramas registrados en las estaciones de aforo de los ríos Bullaque, Tirteafuera y Guadiana aguas abajo de su confluencia .....	24
Figura 24. Esquema topológico del modelo hidrológico HEC-HMS elaborado por el equipo del SAIH del Guadiana. Fuente: SAIH de la C.H. del Guadiana .....	24
Figura 25. Detalle del esquema topológico del modelo hidrológico HEC-HMS elaborado por el equipo del SAIH del Guadiana. Fuente: SAIH de la C.H. del Guadiana.....	25
Figura 26. Hidrograma restituído al régimen natural del río Guadiana en el embalse de Cíjara, E2-01. Fuente: SAIH de la C.H. del Guadiana .....	25
Figura 27. Hidrograma del río Guadiana en su confluencia con el río Zújar calculado con el HEC-HMS. Fuente SAIH: de la C.H. del Guadiana .....	25

Figura 28. Hidrogramas calculados con el HEC-HMS en los principales puntos del ámbito del modelo hidrológico .....	26
Figura 29. Subcuencas delimitadas para establecer los cuantiles en régimen natural en tramos ARPSI situados en el Alto Guadiana .....	26
Figura 30. Zonas inundables correspondientes a T10, T100 y T500 del SNCZI. Detalle de los tramos ARPSI ES040_CLM_019_59 y ES040_CLM_019_59, Badajoz .....	30
Figura 31. Periodo de retorno del caudal en régimen natural restituido por tramo ARPSI.....	31
Figura 32. Periodos de retorno/caudal en un punto o sección de cauce.....	33
Figura 33. Daños evitados en el mismo punto o sección de cauce .....	33
Figura 34. Población protegida en el mismo punto o sección de cauce .....	34
Figura 35. Daños evitados a las actividades económicas gracias a la reducción de caudales que produjeron las presas.....	35
Figura 36. Población que hubiera sido afectada por el caudal en régimen natural por tramo ARPSI .....	35
Figura 37. Daños a actividades económicas en la zona inundable correspondiente a T100 años. Detalle de los tramos ARPSI MG014-01 y MG014-04, Badajoz.....	36

### Tablas

Tabla 1. Tramos ARPSI seleccionados situados aguas abajo de presas que laminaron la borrasca Nelson de forma significativa .....	18
Tabla 2. Tramos ARPSI seleccionados y puntos de control del SAIH de la Demarcación Hidrográfica del Guadiana asociados .....	20
Tabla 3. Tramos ARPSI seleccionados y método de cálculo de los caudales en el punto final del tramo ....	28
Tabla 4. Caudales reales registrados y caudales restituidos al régimen natural y sus periodos de retorno asociados a los tramos ARPSI seleccionados situados aguas abajo de presas que laminaron la borrasca Nelson de forma significativa.....	29
Tabla 5. Daños causados por la borrasca Nelson a la actividad económica y población que podría haberse afectado .....	34
Tabla 6. Daños producidos y evitados por la borrasca Nelson.....	36
Tabla 7. Daños producidos por los caudales correspondientes a los periodos de retorno de 10, 100 y 500 años.....	36
Tabla 8. Daños evitados a puntos de especial importancia por los caudales correspondientes a 10 o 100 años de periodo de retorno, según el caso, en los tramos ARPSI seleccionados .....	37

# MEMORIA



## 1. RESUMEN DEL TRABAJO REALIZADO Y CONCLUSIONES

Desde el 27 de marzo de 2024 y hasta el 1 de abril, prácticamente todo el país sufrió los efectos de la borrasca Nelson, si bien sus secuelas hidrológicas siguieron notándose en los días posteriores. En la Demarcación Hidrográfica del Guadiana el día 25 de marzo ya se habían registrado precipitaciones de cierta entidad, produciéndose sus impactos se registraron principalmente en los cauces de la zona central de la cuenca, entre los que destacan los ríos Tirteafuera, Bullaque, Zújar y Rucas y en el propio eje del Guadiana. Además, se produjeron otros fenómenos localizados. En el momento de la llegada de Nelson, en su conjunto, los embalses se encontraban al 40,4% de su capacidad de almacenamiento. Las reservas de agua embalsada aumentaron 1.000 hm<sup>3</sup> durante este episodio.

El objetivo del presente estudio consiste en determinar el valor de los daños evitados y estimar la población protegida durante este evento gracias a la reducción de caudales punta que produjo la laminación de las presas existentes en la Demarcación Hidrográfica del Guadiana.

El río Guadiana está sometido a un fuerte estiaje a lo largo del año debido a los irregulares aportes de agua de los afluentes de su cuenca. Esa irregularidad ha dado lugar a periodos de sequías y momentos puntuales de grandes avenidas que han sido mitigados, en parte, por la construcción de las presas. Los mayores problemas de inundaciones se han localizado históricamente en el tramo medio del río Guadiana, y han afectado a numerosos núcleos urbanos localizados en la provincia de Badajoz. La causa principal han sido los elevados caudales recibidos por el río, procedentes tanto de su propia vertiente como de la del río Zújar, éste último causante de las mayores avenidas que han tenido lugar en este tramo. Otra zona donde se han registrado frecuentes episodios de avenidas ha sido en la Llanura Manchega. Pese a registrar las precipitaciones más bajas de toda la demarcación, se han producido numerosos desbordamientos de ríos y arroyos debido al escaso desarrollo de sus cauces, así como a la invasión de la zona de dominio público hidráulico y de las zonas inundables.

En los días posteriores a la borrasca Nelson el equipo del Sistema Automático de Información Hidrológica (en adelante SAIH) del Guadiana validó los hidrogramas reales registrados en los puntos de control del SAIH, calculó los hidrogramas de entrada a los embalses y analizó su traslado por el río Guadiana y principales afluentes, desde el embalse de Cíjara hasta el Azud de Badajoz.

En este estudio se han identificado aquellos tramos de cauce que están situados aguas abajo de las presas dónde se asocian áreas de riesgo potencial significativo por inundación (en adelante ARPSI), incluidas en el plan de gestión de riesgos por inundación (en adelante PGRI) de la Demarcación Hidrográfica del Guadiana. A partir de los tramos identificados y del análisis de los hidrogramas facilitados en los puntos de control por el SAIH, se han seleccionado posteriormente aquellos tramos donde el impacto de Nelson hubiera sido significativo.

Para calcular este impacto es necesario determinar el hidrograma producido por la borrasca Nelson y el que se hubiera producido en el hipotético caso de que las presas no hubieran sido construidas, es decir, en régimen natural restituido. Para ello, se han asignado a los puntos finales de los 21 tramos ARPSI seleccionados los hidrogramas de los puntos de control SAIH más próximos a ellos. Cuando no ha sido posible asignar ningún punto de control, se han calculado los hidrogramas en la situación real y en régimen natural restituido, a partir de las combinaciones de los hidrogramas de los puntos de control del SAIH más cercanos añadiendo, en caso necesario, la aportación de la cuenca intermedia entre el final del tramo ARPSI y los puntos de control. Estos cálculos también han incorporado los resultados del modelo hidrológico construido por el equipo del SAIH para el traslado de las ondas de flujo, imprescindibles en las confluencias de los grandes afluentes y en especial la de los ríos Zújar y el Guadiana. Una vez analizado el impacto, se han descartado 6 de los tramos, reduciéndose a 15 tramos los finalmente seleccionados.

El hecho de que la principal área afectada por la lluvia se localizara en la zona central de la cuenca Guadiana, principalmente en la cabecera de los ríos Bullaque, Zújar y Rucas y su eje, que es donde se sitúan la mayoría

de las presas importantes de la Demarcación, produjo una disminución importante de los caudales de su eje aguas abajo de la presa de Cíjara. En el río Guadiana, en la zona oeste de la provincia de Ciudad Real, entre su confluencia con el río Bullaque y la presa de Cíjara, se han registrado caudales circulantes por encima del caudal de desbordamiento debido principalmente a importantes aportaciones de los ríos Bullaque y Tirteafuera.

En el caso del río Tirteafuera, cuenca sin regulación, la estación de aforo SAIH que se encuentra en el término municipal de Abenójar llegó a registrar un caudal de 145,29 m<sup>3</sup>/s. El río Bullaque, en la estación SAIH situada en el municipio de Luciana, alcanzó también caudales muy significativos registrando 262,21 m<sup>3</sup>/s, a pesar de que la presa Torre de Abraham retuvo todo el volumen de agua que aportó la borrasca. El río Guadiana alcanzó un caudal de agua de 437,77 m<sup>3</sup>/s a su paso por el municipio de Puebla de Don Rodrigo, la mayor crecida registrada en este punto desde que la Confederación realiza mediciones automáticas del cauce del río. En este punto se pasó de medir en el río Guadiana un caudal de 7,76 m<sup>3</sup>/s el día 25 de marzo a los 437,77 m<sup>3</sup>/s que se registraron el día 30. Adicionalmente, se observaron caudales elevados en el río Bañuelos, a su paso por las localidades de Malagón y Fernán Caballero, en el río Guadalmez a su paso por la localidad de Guadalmez y en río Valdeazóquez, a su paso por las localidades de Almadén, Chillón y Al-mendralejos.

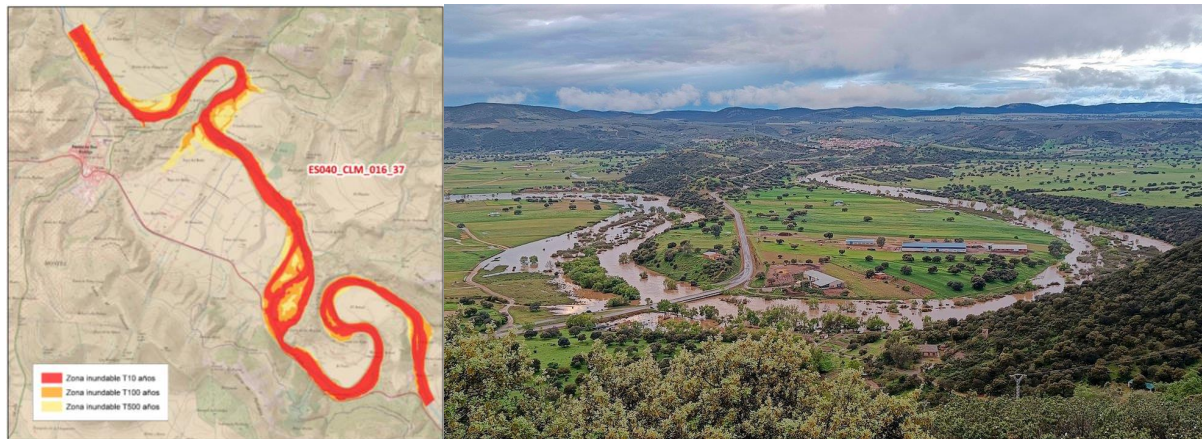


Figura 1. Tramo ARPSI ES040\_CLM\_016\_37, río Guadiana a su paso por Puebla de Don Rodrigo. Zonas inundables teóricas (izquierda) y desbordamiento del río Guadiana durante la borrasca Nelson (derecha).

Como resumen, el caudal punta que hubiera pasado por el río Guadiana entre su confluencia con el río Zújar y la ciudad de Badajoz hubiera sido equivalente al de 40-50 años de periodo de retorno, dependiendo del tramo, según la curva de caudales máximos de cada ARPSI que se utilizó para elaborar los mapas de peligrosidad por inundación, que pueden consultarse en el visor del Sistema Nacional de Cartografía de Zonas Inundables (en adelante SNCZI) (<https://sig.mapama.gob.es/snczi/>). De los tramos ARPSI situados en los principales afluentes, destacan los tramos situados en el río Bullaque, con periodos de retorno equivalentes a 145 años, en el río Zújar y en el río Rucas con periodos cercanos a 90 años y en el río Gargáligas con un periodo de retorno próximo a los 50 años. En otros ríos afectados como el Matachel donde existen presas importantes como Alange y Los Molinos, al no disponer de tramos identificados como ARPSI dentro del PGRI, su efecto se valora directamente en el impacto al eje del Guadiana. En el Alto Guadiana la borrasca no tuvo incidencia, por lo que los valores no tienen representación.

Según esta misma base comparativa de cuantiles, el periodo de retorno de los caudales reales registrados en el eje del Guadiana alcanzó valores próximos a los 5 años, en los núcleos urbanos de Luciana y Puebla de Don Rodrigo, que disminuyeron a 1 año, gracias a la laminación del embalse de Cíjara. Los periodos de retorno más elevados se registraron en los ríos Bullaque, entre 24 y 46 años, y Rucas, con alrededor de 5 años.

A partir de los caudales máximos de los hidrogramas facilitados por el SAIH de la Confederación Hidrográfica del Guadiana o calculados para este informe en los puntos finales de los tramos ARPSI seleccionados y de las curvas daño / caudal y población afectada / caudal, obtenidas a partir de la información de caracterización de la peligrosidad y el riesgo de inundación del PGRI del 2º ciclo de la Demarcación, facilitadas por la Subdirección General de Protección de las Aguas y Gestión de Riesgos de la DGA, se han podido calcular los daños a la actividad económica y la población afectada en los tramos ARPSI seleccionados en los dos escenarios estudiados, el correspondiente al régimen real de caudales calculados a partir de los que registraron los puntos de control del SAIH y el escenario hipotético que representa a un régimen natural restituido en el que no se han considerado las principales presas de la Demarcación, calculado a partir de los hidrogramas de entrada de los embalses, los registrados por algunas estaciones de aforo, los resultados del modelo hidrológico del equipo del SAIH y los calculados para este informe en las cuencas intermedias.

El 90% de los daños a la actividad económica evitados durante la borrasca Nelson gracias a la laminación que se produce en las presas de la Demarcación Hidrográfica del Guadiana, se reparte entre los municipios de Badajoz, Don Benito, Mérida, Medellín, Valverde de Mérida, Villagonzalo, Villanueva de la Serena y Lobón. En cuanto a la población protegida, los municipios en los que se encuentra el 90% de los habitantes potencialmente afectados son Badajoz, Mérida, Don Benito, Villanueva de la Serena, Lobón y Puebla de la Calzada.

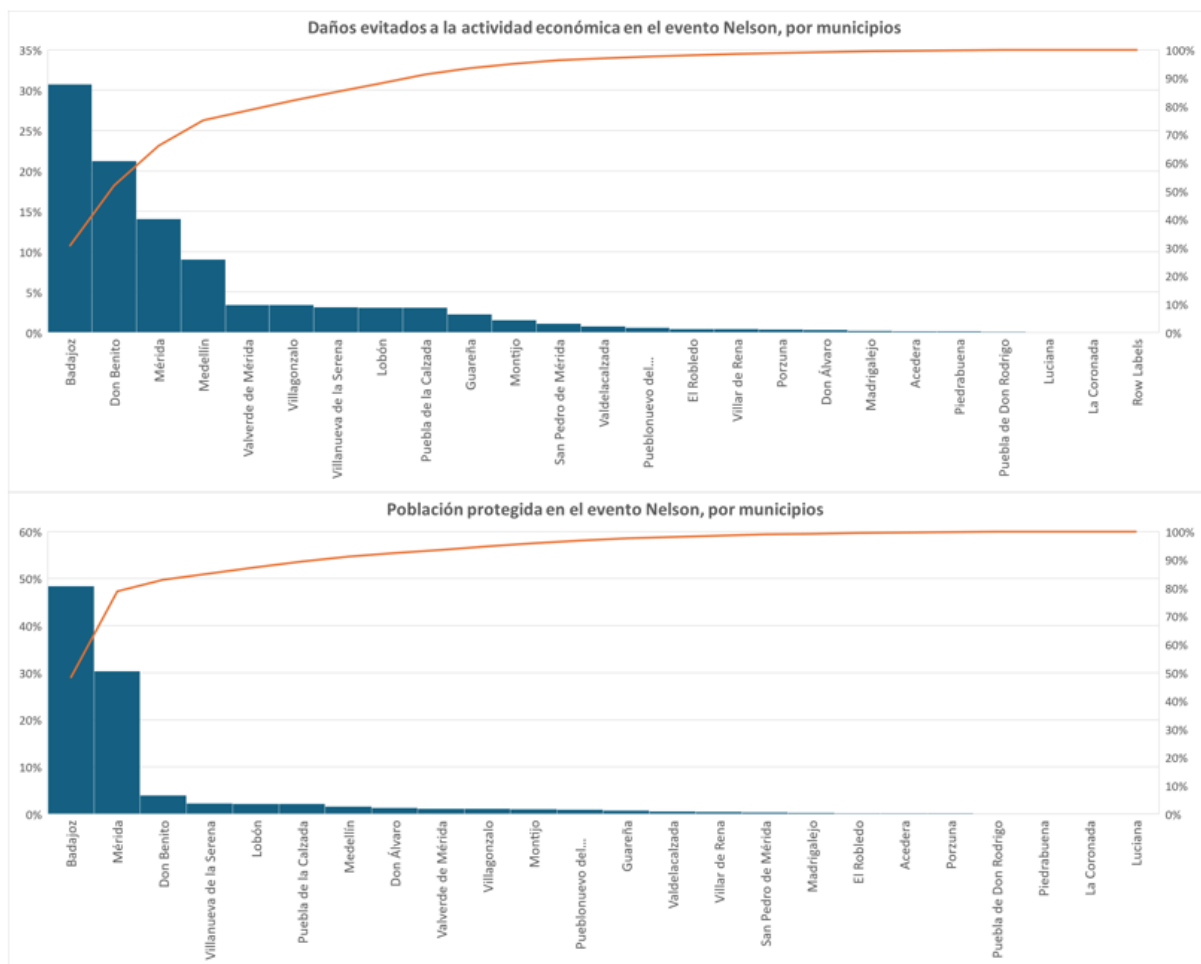


Figura 2. Distribución de los daños a la actividad económica y población protegida durante Nelson gracias al efecto de laminación de caudales que producen las presas

Los daños evitados por el efecto de laminación de las presas se han calculado como la diferencia entre el valor obtenido en el escenario hipotético en régimen natural restituido, sin presas, y el de la situación real

registrada. Análogamente se ha calculado la población protegida. Los resultados de los daños evitados a la actividad económica ascienden a 2.212 millones de euros y la población que ha sido protegida se estima en el entorno de 13.318 personas.

Como referencia, cabe recordar que según los mapas de riesgo de inundación del PGRI de la Demarcación Hidrográfica del Guadiana, el valor de los daños en los 15 tramos ARPSI considerados asciende a más de 5.644 millones de euros para el periodo de retorno de 100 años.

Donde más daños teóricos se acumulan según el PGRI es en los tramos ARPSI Azuer II, Pellejero, río Guadiana a su paso por Badajoz y en las Antiguas Zonas Húmedas, que son precisamente zonas donde menos impactó Nelson. Sobre los daños que se hubieran producido durante Nelson en el escenario hipotético estudiado, el caudal punta de la mayoría de los tramos ARPSI analizados se corresponde con un valor del periodo de retorno que supera el equivalente a 50 años, salvo en el Alto Guadiana, donde se registraron bajas precipitaciones y en consecuencia el periodo de retorno equivalente no superó el de 1 o 2 años, y el río Bullaque, donde se situó próximo a los 145 años. Los ríos Bullaque y Tirteafuera fueron los que aportaron caudales significativos al río Guadiana.

En este cálculo no se ha podido tener en cuenta ni las pérdidas debido al tiempo de permanencia de la inundación que se hubiera producido en el caso de que las presas no existieran, ni la pasada de varios caudales punta con el volumen total de agua de los hidrogramas. Tampoco se ha considerado el efecto laminador de las presas y embalses más pequeños, que no están controladas por el SAIH y que pueden tener un efecto localizado en algunos tramos ARPSI, pero que, comparado con la magnitud del evento, no resultan significativos en el cómputo general de este episodio.

**También es importante destacar que el análisis realizado se ha centrado en los beneficios que producen las presas como estructuras de reducción de caudales, sin entrar en el valor económico del volumen del agua almacenada que se destinará a uso consuntivo y no consuntivo, sobre todo teniendo en cuenta que se partía de una situación delicada en cuanto a disponibilidad de recursos hídricos.** Según los *Informes mensuales de seguimiento de la situación de Sequía y Escasez* de la Subdirección General de Planificación Hidrológica de la Dirección General del Agua, en la cuenca del Guadiana, las lluvias de marzo han producido una importante mejoría general, trasladada a los valores de sus indicadores de escasez, aunque no tanto a los escenarios declarados, que necesitan más de un mes para su consolidación. En el mes de febrero de 2024 el índice del estado global de la escasez de la Demarcación Hidrográfica del Guadiana, que valora las reservas hídricas de los embalses, alcanzó el valor de 0,333. La situación global era de PREALERTA. En el mes de marzo, tras la borrasca Nelson, el valor del índice pasó a 0,467, continuando en PREALERTA próxima a la fase de NORMALIDAD. Si bien, de las tres zonas en las que se divide la demarcación, en la zona meida, dónde se sitúa el mayor volumen de demandas de la demarcación, el índice de escasez alcanzó la fase de NORMALIDAD. A fecha del 2 de abril el volumen de agua embalsada en la cuenca fue de 4.649 hm<sup>3</sup>, lo que supone un almacenamiento del 48,7% respecto de su capacidad máxima.

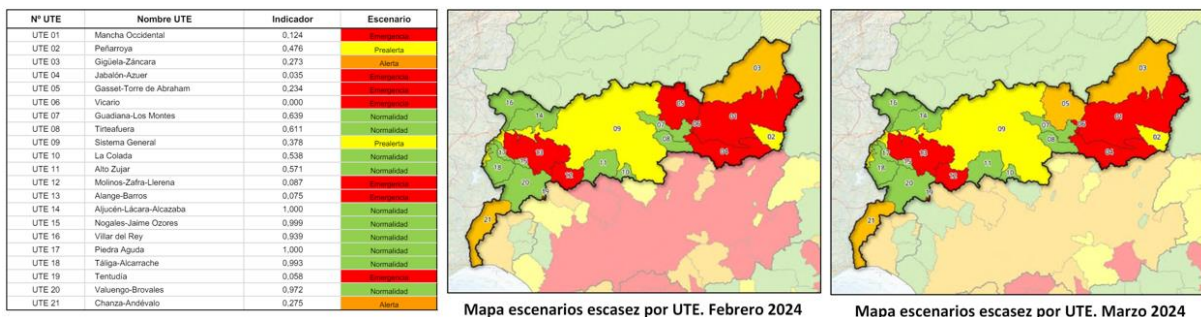


Figura 3. Estado de la escasez, meses de febrero y marzo. Fuente: Informes mensuales de Sequías de la Confederación Hidrográfica del Guadiana e informes mensuales de seguimiento de la situación de Sequía y Escasez de la Subdirección General de Planificación Hidrológica, Dirección General del Agua

Por último, conviene destacar que los daños evitados ascienden a más de 2.000 millones de euros, mientras que el valor patrimonial de las presas de la Demarcación Hidrográfica del Guadiana asciende a 1.736 millones de euros según los datos obtenidos por el CEDEX y actualizados durante la elaboración de “*Líneas de actuación para la mejora de la seguridad de presas y embalses 2023-2033*” (<https://www.miteco.gob.es/es/agua/temas/seguridad-de-presas-y-embalses/lineas-actuacion-mejora-seguridad-presas-embalses-2023-2033.html>). Según este mismo documento, la inversión propuesta para el periodo 2023-2033 en el ámbito que gestionan las Confederaciones Hidrográficas, suma 4.644 millones de euros.

## 2. ANTECEDENTES

### 2.1. Borrasca Nelson

Según datos de AEMET, Nelson fue la décimo cuarta borrasca de la temporada 2023-2024. Afectó a nuestro país a partir de las 14:00 UTC del día 27 de marzo, momento a partir del cual se alertó de que un buen número de comarcas españolas estarían bajo diferentes avisos meteorológicos, principalmente por fuertes rachas de viento y mal estado de la mar. Se resaltaba además el fuerte impacto social de los avisos debido a las fechas festivas de Semana Santa durante las que tendrían lugar los principales efectos de la borrasca.

#### 2.1.1. Evolución de la borrasca

Según el informe de AEMET, la borrasca Nelson se formó a partir de la amplificación producida por una pequeña región de bajas presiones que entró en fase con una fuerte advección de vorticidad en los niveles altos conducida por un intenso chorro. En la primera mitad del día 26 de marzo este precursor se localizaba en el Atlántico Norte. En las siguientes 24 horas fue experimentando un proceso ciclogénico posicionándose hacia el oeste-suroeste de Irlanda. Así, a las 12 UTC del día 27 la borrasca constituía un potente sistema de bajas presiones que configuraba un intenso gradiente bórico en torno a su centro que abarcaba a la Península y a gran parte de Europa occidental, contando además con diversos sistemas frontales asociados, uno de ellos de carácter frío y muy activo sobre la Península.

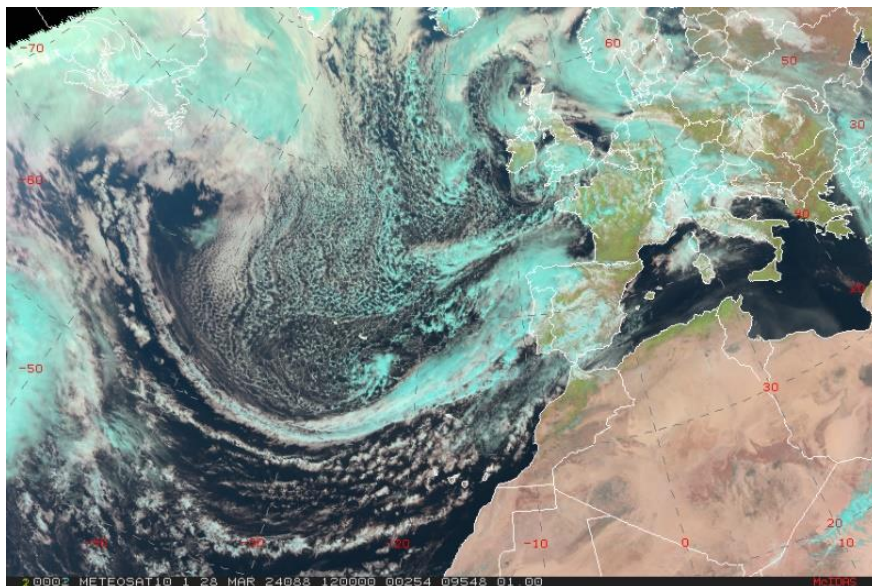


Figura 4. Borrasca Nelson localizada al sur de Irlanda las 12 UTC del día 28 de marzo de 2024. (Imagen RGB natural obtenida por el satélite Meteosat-11). Fuente: AEMET

En las siguientes 24 horas, la borrasca se mantuvo muy estacionaria al suroeste de Irlanda y apenas perdió intensidad por lo que se produjo una regeneración continua de sistemas frontales en el Atlántico que posteriormente eran trasladados por el viento zonal dominante hacia la Península. A partir de la tarde del día 28 la borrasca empezó una lenta fase de relleno, comenzando además un movimiento de su centro bórico en sentido antihorario, trasladándose primero hacia el centro de Inglaterra, posteriormente al noroeste de

Irlanda y volviendo al suroeste de Irlanda el día 31. Durante todo este tiempo y a pesar de que la borrasca iba debilitándose, aún mantenía una intensidad suficiente para permitir la regeneración de frentes que una y otra vez iban entrando a la Península en forma de oleadas, provocando precipitaciones sobre todo en las regiones más occidentales y del centro peninsular. El día 1 de abril la configuración de la amplia vaguada en altura, que había estado manteniendo a la borrasca durante tantos días, cambió contribuyendo a su desplazamiento hacia el mar del Norte y a su disipación. (Fuente: AEMET).

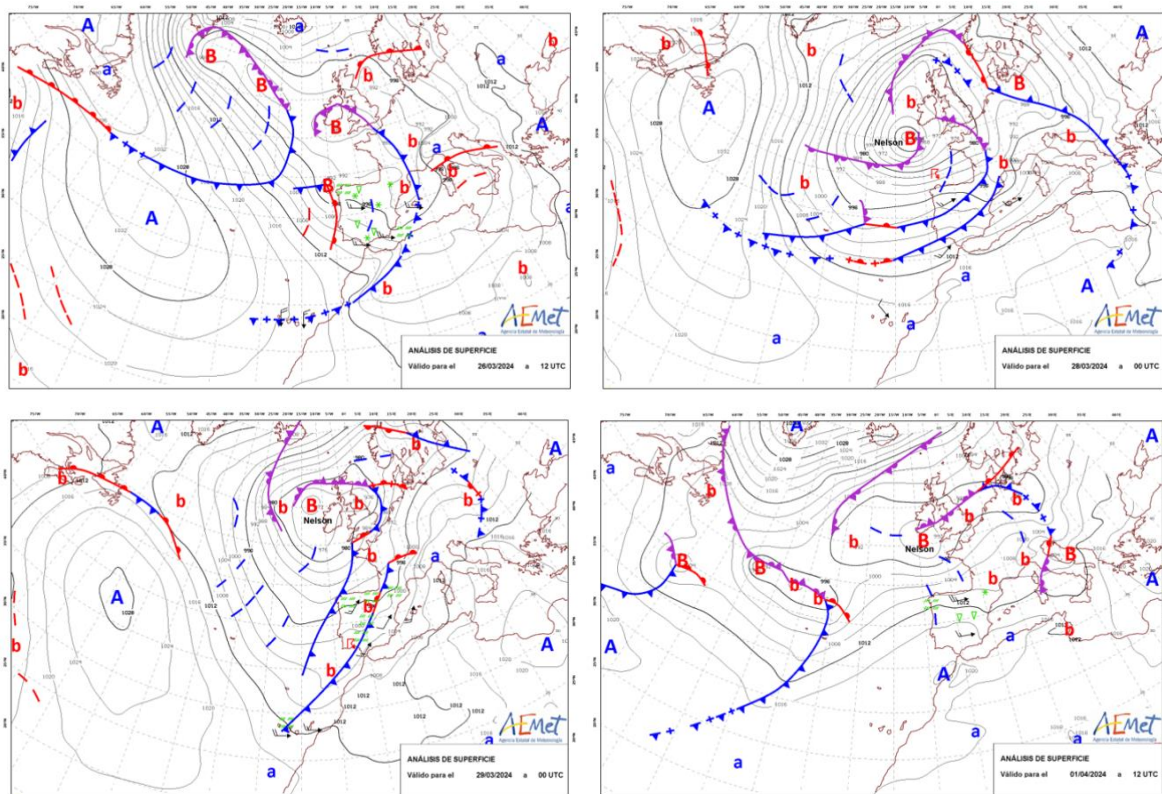


Figura 5. Fotogramas de la evolución de Nelson durante los días 26, 28, 29 de marzo y 1 de abril. Fuente: AEMET

### 2.1.2. Avisos emitidos y principales observaciones de AEMET

AEMET emitió una multitud de avisos para un buen número de zonas de predicción. Los días del 27 al 29 de marzo fueron aquellos para los que se emitieron avisos para un mayor número de comarcas, rebajándose este número significativamente el sábado 30. Así, el día 27, los más significativos fueron de nivel naranja por rachas de viento para el interior y sureste de la Península, incluida toda la provincia de Almería, así como por mal estado de la mar para los litorales gallego, sureste y gran parte del balear. Además, este día se emitieron avisos de nivel amarillo por rachas y acumulados de precipitación para prácticamente toda la Península y para el resto de las áreas marítimas.

El día 28 solo hubo avisos de nivel naranja por mal estado de la mar para todo el litoral cantábrico y gran parte del balear. Se mantuvieron muchos avisos de nivel amarillo, tanto por rachas como por acumulados de precipitación, emitiéndose estos últimos sobre todo para las comarcas occidentales de Andalucía, provincia de Cáceres y sur de Galicia.

El día 29 continuaron los avisos naranjas para el litoral gallego, extendiéndose además a los litorales de Canarias, principalmente a sus islas más occidentales. También este día se amplió el tipo de avisos naranjas por tormentas, emitidos para las comarcas del norte de la provincia de Huesca. También hubo durante este día avisos en vigor de nivel amarillo por rachas de viento en gran parte del cuadrante suroriental, así como por tormentas y acumulados de precipitación para Andalucía occidental y por nieve en zonas altas del sur y este de Castilla y León, y del norte de la comunidad de Madrid.

El día 30 apenas se emitieron avisos, solo de nivel amarillo por nevadas en zonas altas de La Rioja y para el área pirenaica. Al día siguiente, volvió a incrementarse el número de los avisos, elevándose estos a nivel naranja para las provincias de Málaga y Cádiz, por rachas de viento y acumulados de precipitación, así como por mal estado de la mar, estos últimos solo para la costa gaditana.

En relación con las precipitaciones, se superaron en algunos puntos los 100 mm en 24 horas, siendo el día 29 de marzo en el que se batió este umbral en un mayor número de ellos, principalmente dentro de la provincia de Huesca, como fueron los aproximadamente 130 mm observados en "Panticosa, Petrosos". También el día 29 llovió generosamente en la provincia de Navarra con acumulados en muchas zonas de entre 60 y 80 mm durante el día, así como en "Cazalla de la Sierra" (Sevilla) estación que acumuló 104 mm. Durante los días 27 y 28 llovió abundantemente en el cuadrante suroccidental, en Extremadura el 27, con acumulados en 24 horas entre 50 y 70 mm, y de este mismo orden en Andalucía occidental a lo largo del día 28, destacando especialmente los casi 140 mm registrados este día en Grazalema (Cádiz). También durante los días 30 y 31 siguió lloviendo con abundancia en Andalucía, con acumulados diarios máximos similares a los de días anteriores, destacando además los casi 70 mm registrados el día 31 en la ciudad autónoma de Ceuta. (Fuente: AEMET).

### 2.1.3. Impacto por demarcaciones hidrográficas

Analizando el volumen embalsado según los datos de Boletín Hidrológico publicado por el MITECO (semanas 13 y 14 de 2024), los mayores incrementos debidos a la borrasca Nelson se produjeron en las Demarcaciones del Guadalquivir, Guadiana, Tajo y Duero, ordenados de mayor a menor. Según los datos del Boletín Hidrológico Digital (<https://www.miteco.gob.es/es/agua/temas/evaluacion-de-los-recursos-hidricos/boletin-hidrologico.html>), en la D.H. del Guadalquivir dicho incremento superó los 1.200 hm<sup>3</sup>, en el caso de la D.H. del Guadiana sobrepasó los 1.000 hm<sup>3</sup> y en las DD.HH. del Tajo y del Duero registraron un aumento del volumen embalsado situado en el entorno de los 900 hm<sup>3</sup> y 800 hm<sup>3</sup>, respectivamente.

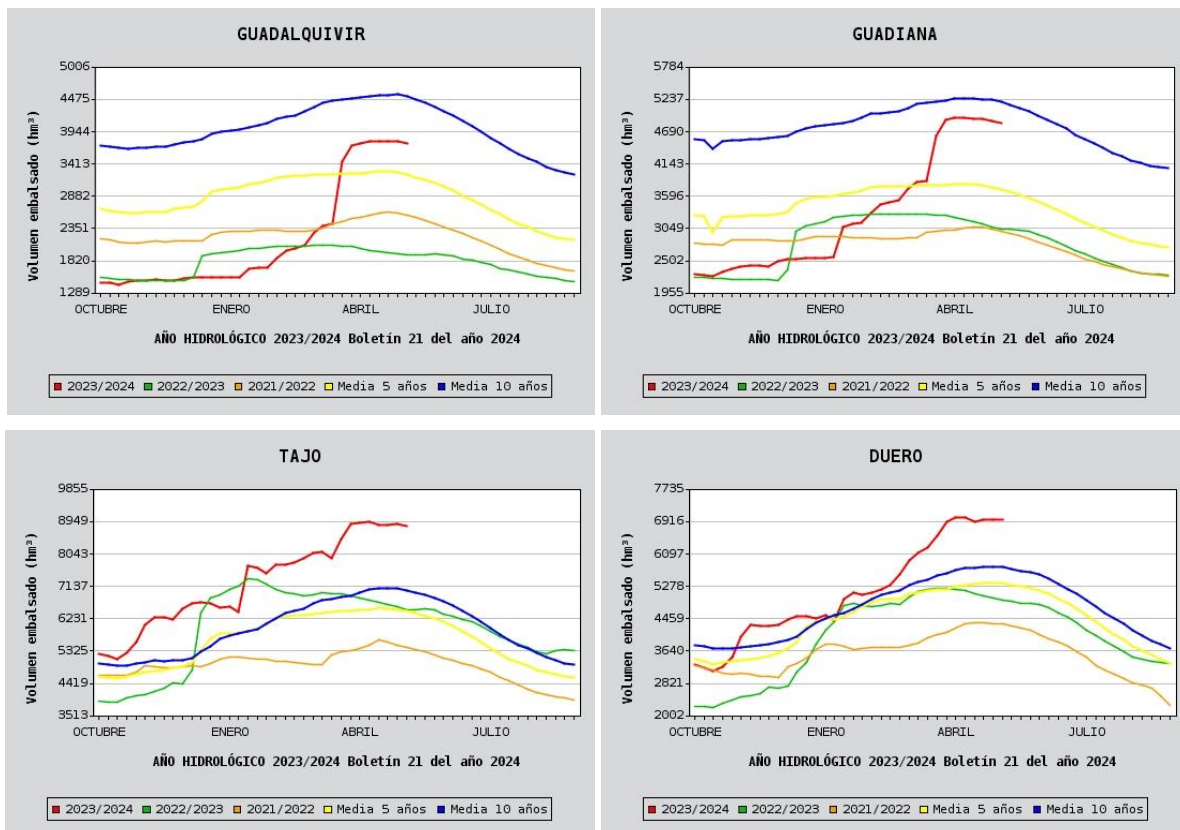


Figura 6. Distribución anual del volumen embalsado en las DD. HH. del Guadalquivir, Guadiana, Tajo y Duero. Fuente: Boletín Hidrológico Digital del MITECO

Analizando la lluvia acumulada durante la semana en las Demarcaciones Hidrográficas del Guadalquivir y del Guadiana se identifican claramente las áreas y corredores de descarga donde la borrasca provocó el mayor volumen de precipitación. Estas áreas están claramente asociadas a las principales barreras orográficas. Se comprueba como en la parte más oriental de las Demarcaciones del Guadalquivir y del Guadiana no se registraron valores significativos, salvo en el entorno de la Sierra de Cazorla.

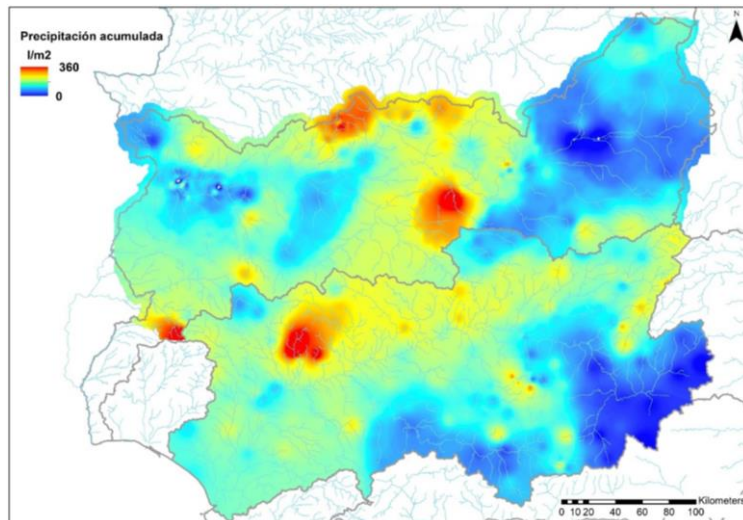


Figura 7. Distribución espacial de la lluvia acumulada en las DD. HH. del Guadalquivir y Guadiana. Elaborado a partir de datos ráster del SAIH de las CC.HH.

Este informe se ha centrado de forma específica el impacto de los efectos de la borrasca Nelson en la Demarcación Hidrográfica del Guadiana.

Durante el episodio, el SAIH de la C.H. del Guadiana fue activando avisos hidrológicos a partir de los datos que se iban recibiendo desde los puntos de control y de las previsiones de precipitación en las horas siguientes. En la siguiente imagen se muestran los puntos de control que registran datos de pluviometría y la precipitación total acumulada.

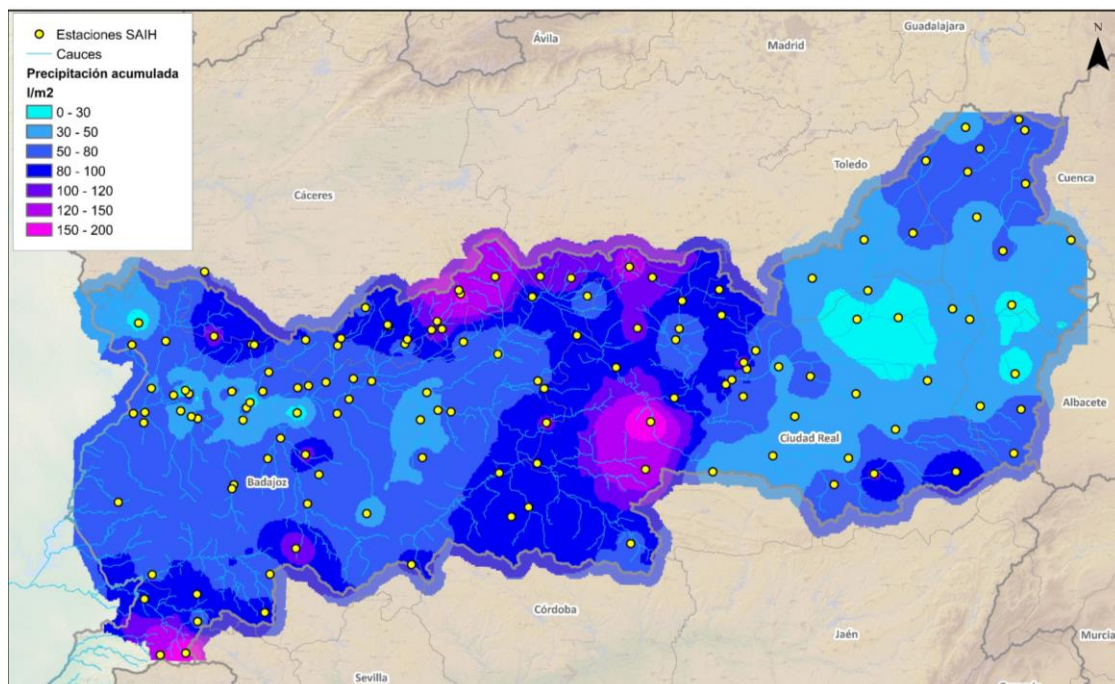


Figura 8. Precipitación acumulada entre el 25 de marzo y el 1 de abril de 2024. Estaciones pluviométricas SAIH. Fuente: Episodio NELSON, C.H. del Guadiana



Como puede observarse, las precipitaciones se concentraron aguas abajo de la Cuenca Alta, en la margen derecha del Guadiana en las cabeceras de los ríos que nacen en la sierra de Gaudalupe (Guadarranque, Guadalupejo y Ruecas) y oeste de los Montes de Toledo (Bullaque y Estena), en la cuenca del río Tirteafuera y en la cabecera de la cuenca de los ríos Esteras y Valdezagoves.

La precipitación máxima diaria registrada durante aquellos días que duró la borrasca fue heterogénea en cuanto a intensidad y ámbito geográfico. El día 27 de marzo fue el día de precipitaciones máximas diarias de mayor magnitud y los días 29 de marzo y 1 de abril los de menor intensidad. En los días anteriores al evento también se registraron precipitaciones significativas, principalmente el día 25 de marzo.

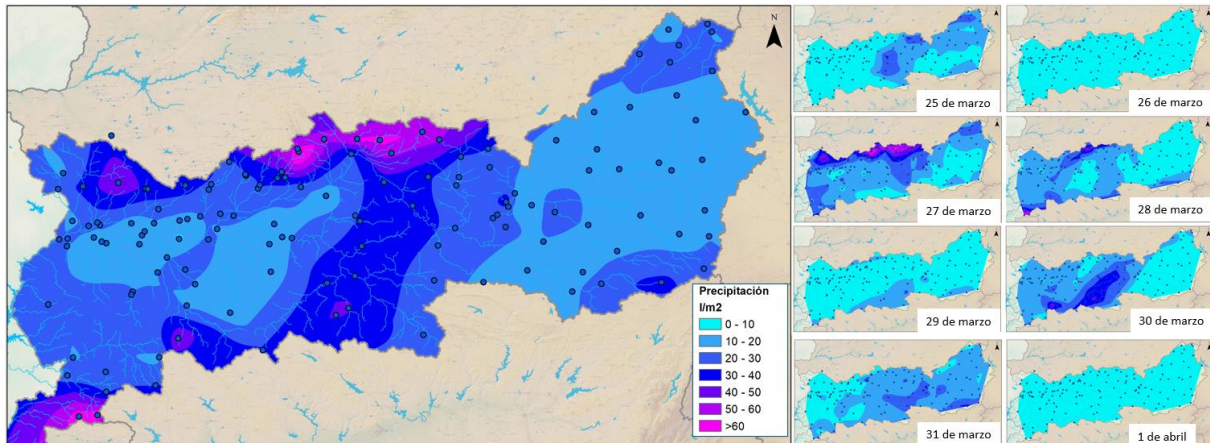


Figura 9. Precipitación máxima diaria entre el 25 de marzo y el 1 de abril de 2024 (imagen izda.) y precipitaciones máximas diarias (imágenes dcha.). Fuente: C.H. del Guadiana

## 2.2. Información recopilada

Para abordar este trabajo, se han recopilado los siguientes datos:

1. Datos facilitados por el SAIH de la Confederación Hidrográfica del Guadiana:
  - Mapa de precipitaciones acumuladas y series de precipitaciones diezminutales registradas durante la borrasca Nelson de las 134 estaciones SAIH.
  - Hoja de cálculo con las series diezminutales de las variables asociadas a los principales embalses de la cuenca (caudal de entrada y salida, volumen y nivel de embalse).
  - Hoja de cálculo las series diezminutales de caudales registrados en las estaciones de aforo de la cuenca.
  - Modelo hidrológico HEC-HMS del episodio NELSON en régimen natural (sin presas) desde la presa de Cíjara (E2-01) hasta el Azud de Badajoz, elaborado por la Confederación.
2. Datos facilitados por la Subdirección General de Protección de las Aguas y Gestión de Riesgos, del Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico:
  - Base de datos de peligrosidad y riesgo de inundación de los tramos ARPSI de la Demarcación Hidrográfica del Guadiana.
  - Capas geográficas de ARPSI y mapas de peligrosidad y de riesgo de inundación (población afectada y pérdidas en actividades económicas) correspondientes a los periodos de retorno de 10, 100 y 500 años.
  - Capas geográficas oficiales del área de descarga de MITECO: embalses (egis\_embalse\_geotrs89.shp) y presas (egis\_presa\_geotrs89.shp).
3. Mapa de caudales máximos en régimen natural (CAUMAX).

Además, se ha recogido la siguiente información complementaria:

- Ríos completos clasificados según Pfafstetter modificado.
- Tramos de ríos de España clasificados según Pfafstetter modificado.
- Subcuencas de tramos de río clasificadas según Pfafstetter modificado.
- Mapa de Direcciones de Drenaje (MDD) con resolución de 25x25 m.
- Superficie de cuenca vertiente a cada celda con resolución de 25x25 m.
- Modelo digital del terreno con resolución de 25x25 m.

### 3. OBJETIVO Y ÁMBITO DEL ESTUDIO

El objetivo de este estudio es obtener una valoración de los daños que se podrían haber producido y de la población que podría haber sido afectada en el ámbito de la Demarcación Hidrográfica del Guadiana como consecuencia de las inundaciones asociadas a los efectos de la borrasca Nelson en el escenario hipotético de que no existieran las presas que permitieron laminar las avenidas que se produjeron.

En el ámbito de esta Demarcación Hidrográfica se ubican 253 presas, de las cuales 88 están catalogadas como grandes presas de titularidad estatal o de concesionario y en 41 de ellas se envían datos en tiempo real al Sistema Automático de Información Hidrológica (SAIH). Las siguientes figuras muestran los principales ríos, presas y embalses de la citada Demarcación. El código de las presas corresponde al identificador de las presas principales incluidas en el SAIH de la Demarcación Hidrográfica del Guadiana.

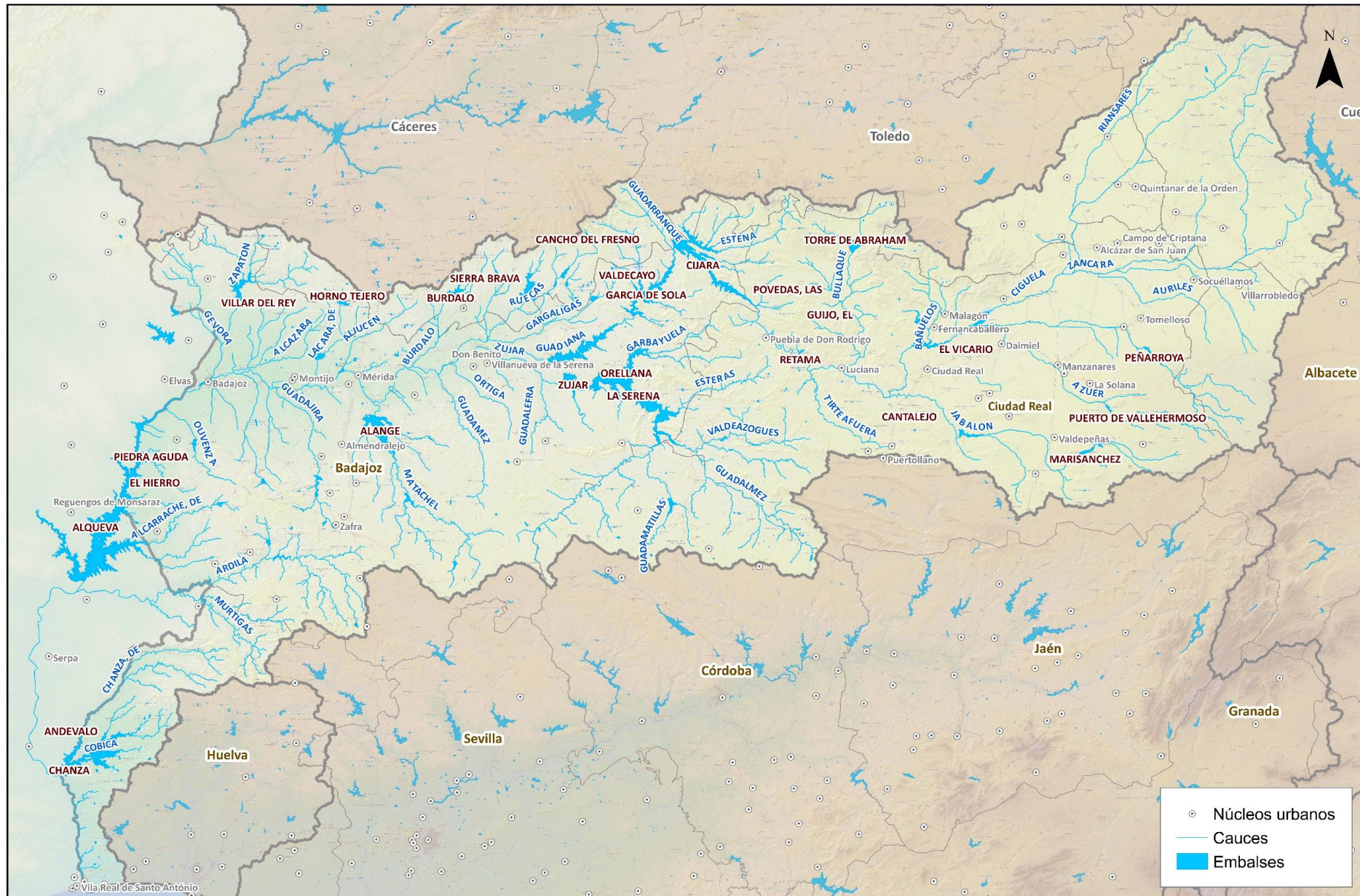


Figura 10. Principales cauces y grandes presas de la Demarcación Hidrográfica del Guadiana

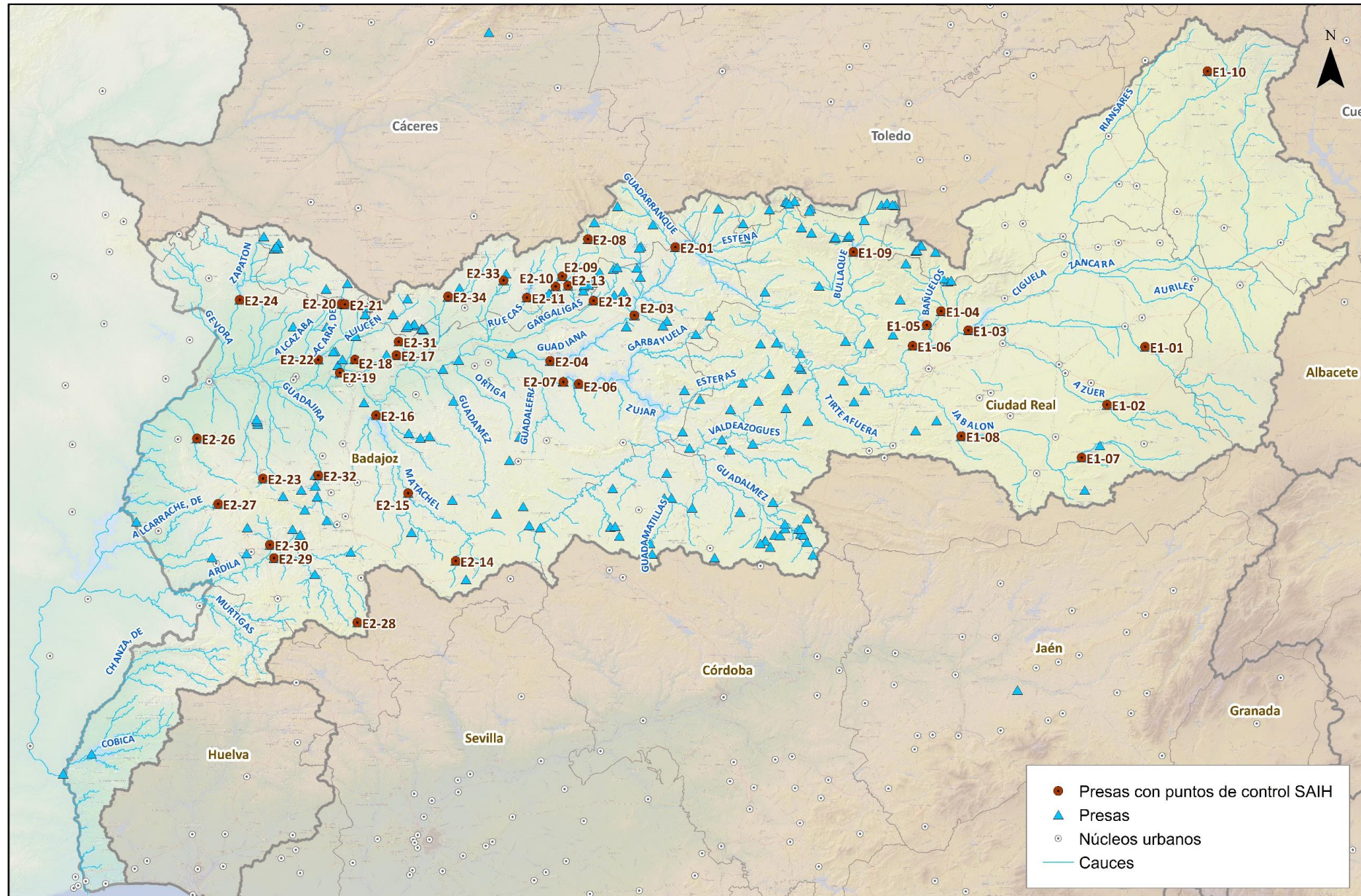


Figura 11. Principales cauces, presas y presas con punto de control SAIH de la Demarcación Hidrográfica del Guadiana

## 4. ESQUEMA METODOLÓGICO

El planteamiento del estudio, de forma resumida, se ha basado en el análisis y valoración de los daños evitados y la población protegida por el efecto laminador de las presas, y para ello se han comparado dos escenarios:

- Escenario real que refleja la situación que se produjo durante el episodio. Para este escenario se han utilizado los datos registrados u observados en los puntos de control del SAIH de la Demarcación Hidrográfica del Guadiana.
- Escenario hipotético que refleja la situación que se hubiera producido si las presas no hubieran sido construidas. En este escenario se ha utilizado un régimen o distribución natural de caudales, los cuales han sido restituidos o calculados a partir de los datos observados o registrados en los puntos de control del SAIH.

La diferencia entre ambos escenarios permite estimar los daños evitados y la población protegida como consecuencia de la acción reductora de caudales punta que realizan las presas.

En primer lugar, se han identificado los tramos ARPSI situados aguas abajo de todas las grandes presas de la Demarcación, el caudal punta que llevó el cauce en el punto final de cada uno de estos tramos ARPSI seleccionados así como el caudal teórico que hubiera podido llevar el mismo tramo sin considerar el efecto de las presas. Al primer caudal punta se le ha denominado caudal punta en régimen real o caudal observado y al segundo caudal punta en régimen natural restituido.

A continuación, se han calculado las curvas de Daños/caudal y de Población afectada/caudal en cada tramo ARPSI utilizando los datos obtenidos de los mapas de riesgo por inundación de la Demarcación Hidrográfica del Guadiana calculados para la elaboración del plan de gestión de riesgos por inundación (PGRI) de dicha Demarcación. Ha sido necesario establecer un caudal de daño nulo (“daño 0”), entendido como el umbral a partir del cual se empiezan a producir daños, analizando los valores de los caudales asociados al DPH, caudales de avisos hidrológicos y caudales aproximados al de desbordamiento considerando para ello los valores aproximados correspondientes a varios periodos de retorno (T5, T7 y T10 años).

Posteriormente se han calculado los periodos de retorno correspondientes a los caudales punta en régimen real y en régimen natural restituido de cada tramo ARPSI estudiado, utilizando 2 sistemas de referencia: los cuantiles o los valores de caudales máximos de los mapas de peligrosidad de inundación calculados en la elaboración del PGRI de la Demarcación y los cuantiles o los valores máximos que se pueden obtener en el punto final de cada tramo ARPSI a partir de la aplicación CAUMAX, del Centro de Estudios Hidrográficos del CEDEX y del MITECO. El primer sistema de referencia (SNCZI) está calculado teniendo en cuenta las presas y el segundo (CAUMAX) en régimen natural, es decir sin considerar las presas. Para obtener los cuantiles en régimen natural de la cabecera de la cuenca del río Guadiana, Alto Guadiana, ha sido necesario estimar los caudales a través del método racional, puesto que en este ámbito no se dispone de caudales de CAUMAX.

Por último, se han calculado los daños y la población afectada en el escenario en situación real y en el escenario sin presas, es decir, la valoración de lo que ha ocurrido realmente y lo que hubiera ocurrido si las presas no hubieran reducido la magnitud de los caudales punta. La diferencia entre ambas situaciones o escenarios proporciona el valor de los daños evitados y la población protegida. Finalmente se han realizado varias comprobaciones con objeto de validar los resultados.

La siguiente imagen muestra el esquema metodológico seguido.

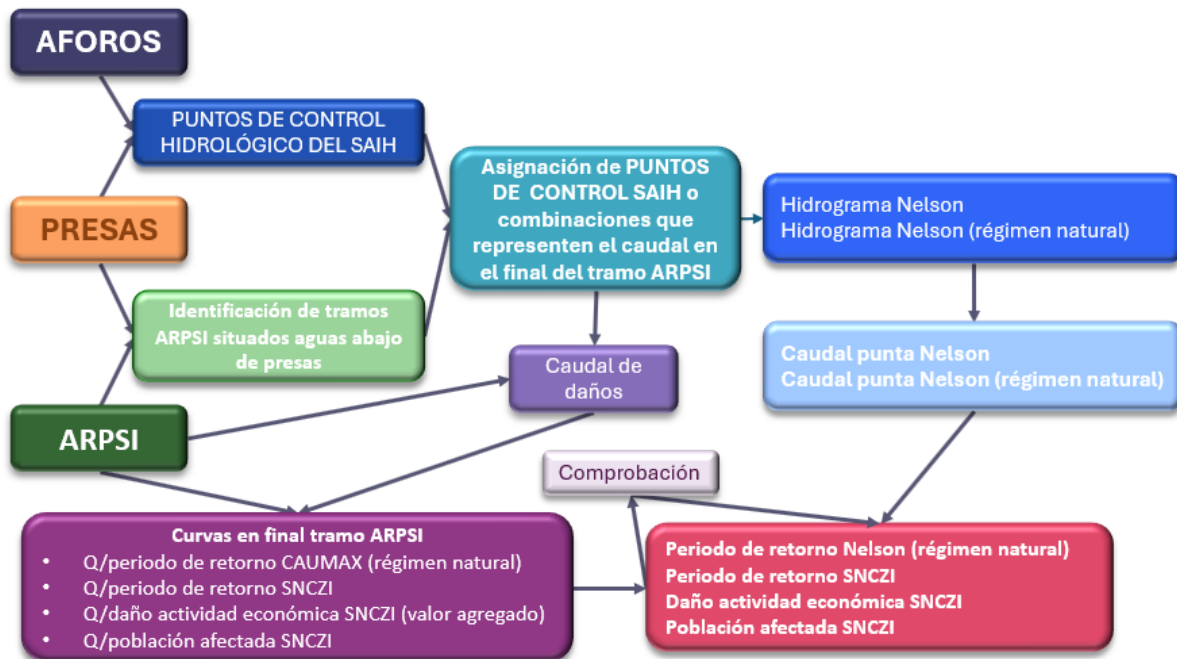


Figura 12. Esquema metodológico

El trabajo se ha llevado a cabo a partir de tres fuentes de información básicas:

- Hidrogramas en los puntos de control del SAIH de la C.H. del Guadiana.
  - Hidrogramas observados o registrados en los puntos de control de SAIH, validados por el equipo técnico de la Confederación Hidrográfica del Guadiana. En particular los datos registrados por las estaciones de aforo e hidrogramas de salida de las presas.
  - Hidrogramas de entrada a los embalses y su traslación aguas abajo mediante modelo hidrometeorológico, calculados por el equipo técnico SAIH de la Confederación Hidrográfica del Guadiana, para el eje del río Guadiana y sus principales afluentes desde la presa de Cíjara hasta el Azud de Badajoz.
  - Precipitaciones registradas por los pluviógrafos SAIH de la Confederación Hidrográfica del Guadiana.
- Inventario de [presas](#) del MITECO.
- Datos del PGRI de la D.H. del Guadiana y del SNCZI del MITECO asociados a las [ARPSI](#). Esta información puede consultarse en el visor del SNCZI del MITECO.
  - Tramos ARPSI del PGRI de la D.H. del Guadiana.
  - Cuantiles de caudales máximos diarios por tramo ARPSI, calculados por la Confederación Hidrográfica del Guadiana dentro de los contratos para la elaboración de los mapas de peligrosidad por inundación asociados al PGRI de la Demarcación Hidrográfica del Guadiana. Los tramos ARPSI tienen asignado un juego de caudales punta por periodo de retorno (T10, T100 y T500 años) en los que se han basado sus mapas de peligrosidad de inundación. Estos caudales se establecen en el punto de desagüe del tramo de cauce, es decir, en el punto final del tramo.
  - Cuantiles de los caudales máximos en régimen natural de CAUMAX o estimados a través del método racional (cuenca Alto Guadiana), en particular, los correspondientes a los puntos finales de cada tramo ARPSI.

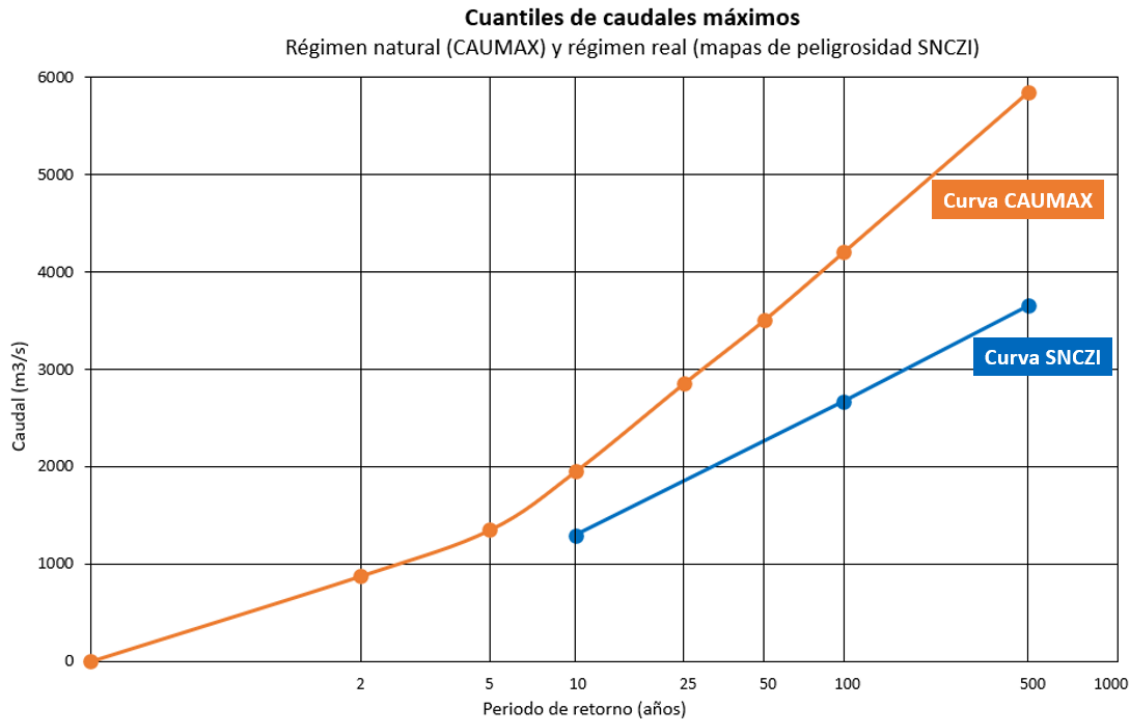


Figura 13. Ejemplo de curvas de cuantiles de caudales máximos en un punto final de un tramo ARPSI según CAUMAX y según el SNCZI

- Datos de daños que se producirían en las actividades económicas y de la población potencialmente afectada, por tramo ARPSI y por periodo de retorno, calculados por la Confederación Hidrográfica del Guadiana dentro de los contratos para la elaboración de los mapas de riesgo por inundación asociados al PGRI de la Demarcación Hidrográfica del Guadiana.

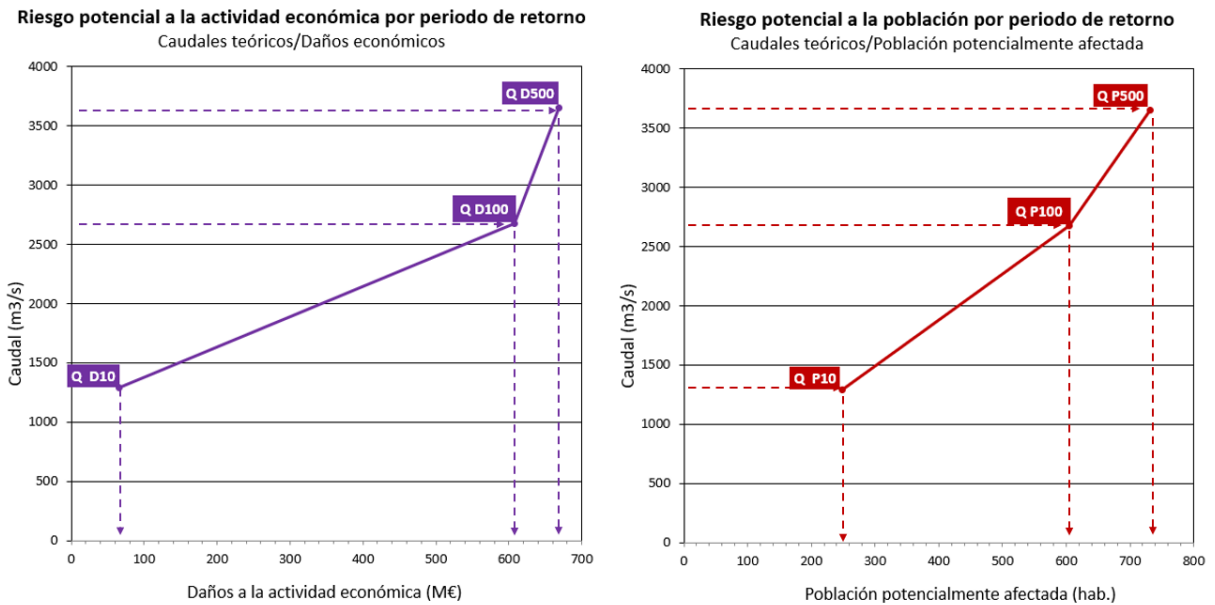


Figura 14. Ejemplo de curvas de Daños/Caudal y Población afectada/Caudal según el SNCZI en el mismo punto que la imagen anterior

## 5. TAREAS REALIZADAS Y RESULTADOS

Se exponen a continuación las tareas realizadas durante los trabajos y los resultados obtenidos.

### 5.1.1. Identificación de los tramos ARPSI situados aguas abajo de presas

A partir de las siguientes capas geográficas se han seleccionado aquellos tramos ARPSI situados aguas abajo de presas:

- Presas: *egis\_presa\_geoetrs89.shp*, disponible en la página web del MITECO.
- Embalses: *egis\_embalse\_geoetrs89.shp*, disponible en la página web del MITECO.
- Puntos de control del SAIH de la C.H. del Guadiana: *data\_consulta\_variables\_embalses\_NELSON2024.xlsx*, proporcionado por el SAIH de la Confederación Hidrográfica del Guadiana.
- Tramos ARPSI: *ARPSIS\_2C\_Visor\_20220624.shp*, disponible en la página web del MITECO. En total se han identificado 69 tramos ARPSI en la D.H. del Guadiana.

De los 69 tramos ARPSI incluidos en el PGRI (2º ciclo) de la Demarcación Hidrográfica del Guadiana, se han identificado inicialmente 27 tramos situados aguas abajo de las presas. La primera de las siguientes imágenes muestra la situación de todos los tramos ARPSI de la Demarcación (69), la segunda muestra la selección de tramos ARPSI situados aguas abajo de las presas (27), el código del tramo y su punto de desagüe (punto final) y en la tercera imagen se pueden apreciar estos 27 tramos ARPSI junto con los puntos de control del SAIH.

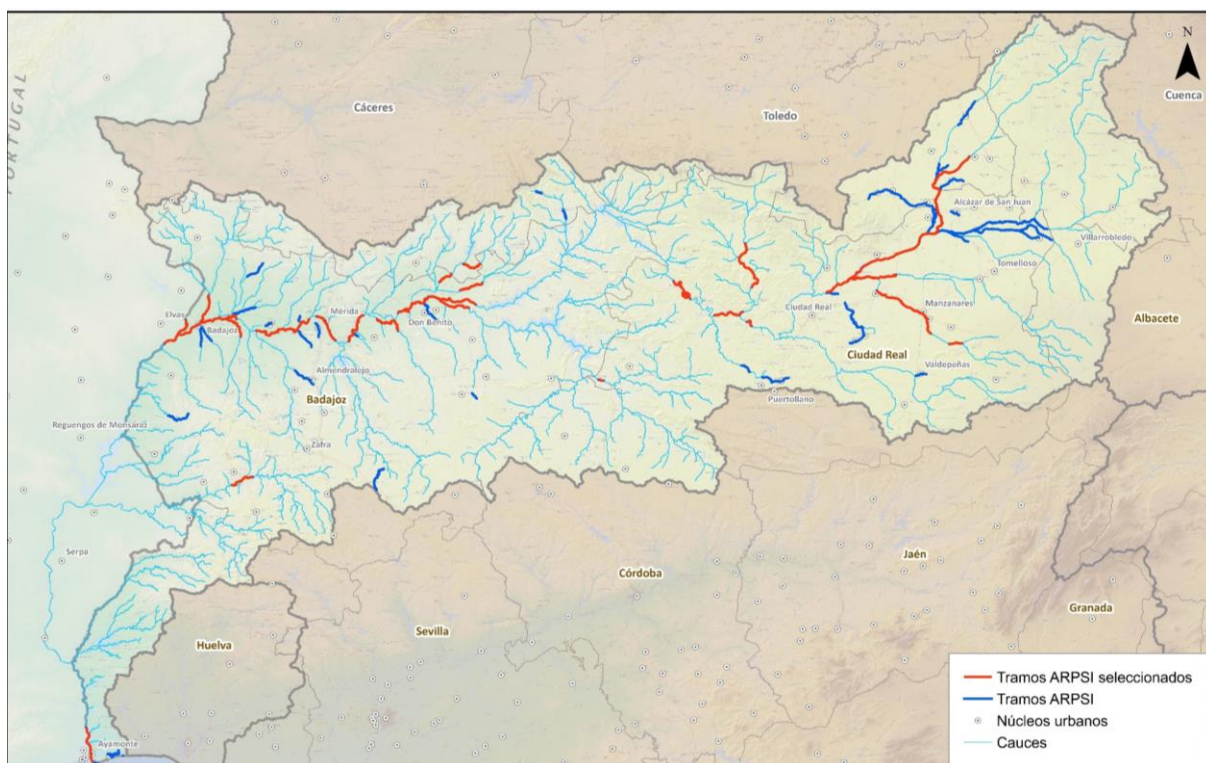


Figura 15. Tramos ARPSI (2016) de la Demarcación Hidrográfica del Guadiana. Tramos inicialmente seleccionados situados aguas abajo de presas (27). El resto en color azul



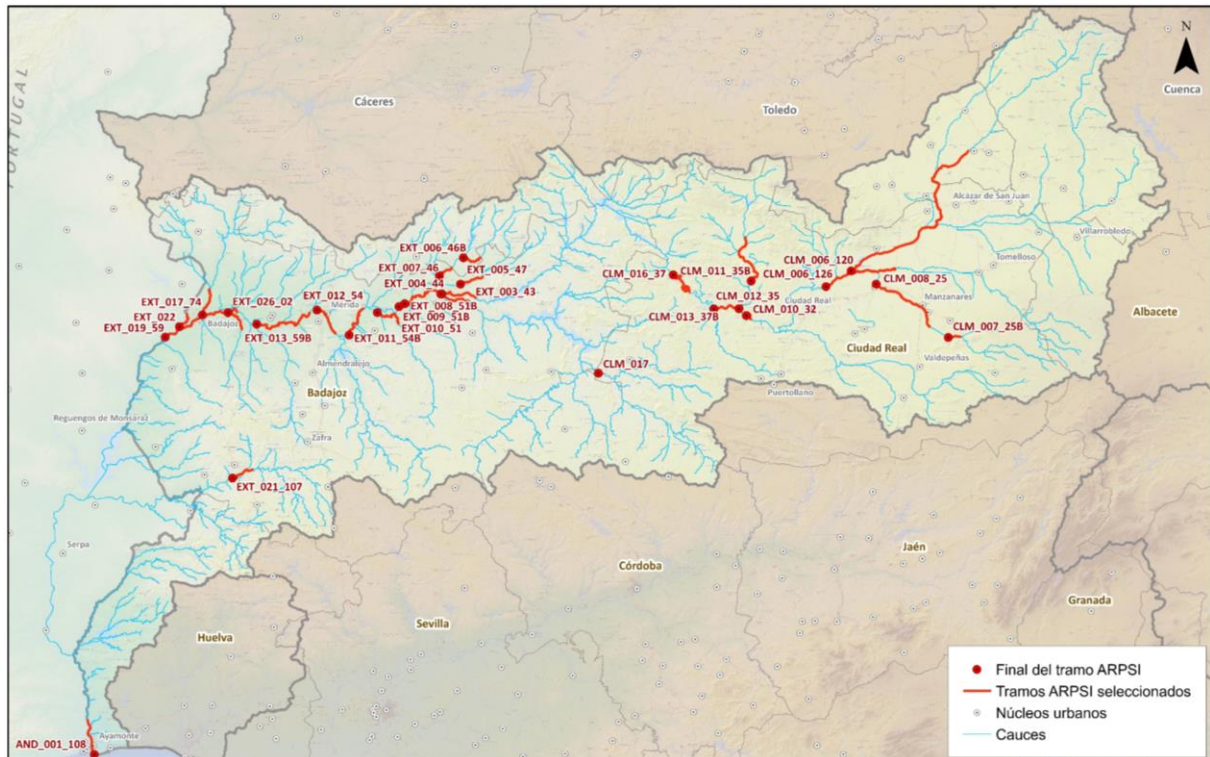


Figura 16. Tramos ARPSI de la Demarcación Hidrográfica del Guadiana (27). Tramos inicialmente seleccionados situados aguas abajo de presas, con código

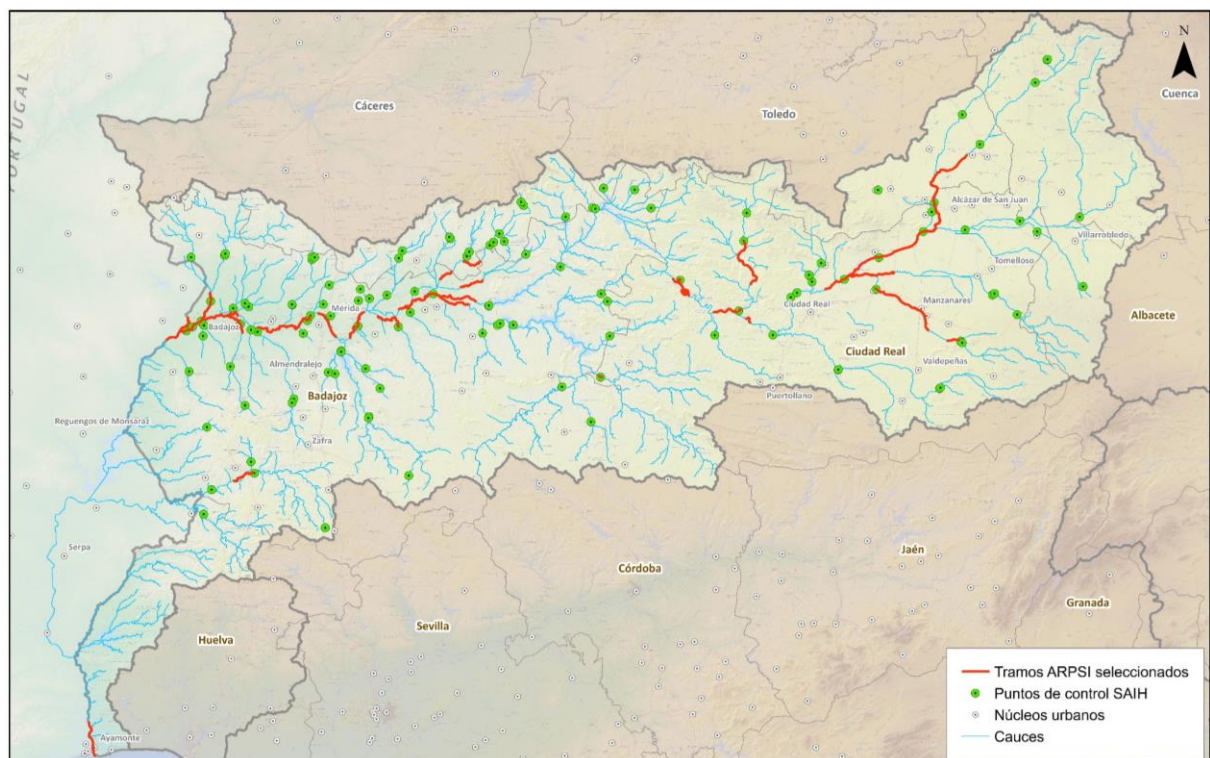


Figura 17. Tramos ARPSI y puntos de control del SAIH de la Demarcación Hidrográfica del Guadiana. Tramos inicialmente seleccionados situadas aguas abajo de presas (27)

Tras la revisión de esta información se han seleccionado aquellos tramos ARPSI situados aguas abajo de presas que disponen de puntos de control SAIH en los que se registraron datos. Los tramos ARPSI seleccionados finalmente son los 21 que se recogen en la siguiente tabla:

Código tramo ARPSI	Nombre tramo ARPSI	Longitud (km)
ES040_CLM_007_25B	Azuer	6,09
ES040_CLM_008_25	Azuer	36,59
ES040_CLM_006_120	Gigüela	101,27
ES040_CLM_006_126	Guadiana	38,15
ES040_CLM_011_35B	Bullaque	28,22
ES040_CLM_012_35	Bullaque	2,09
ES040_CLM_010_32	Guadiana	4,27
ES040_CLM_013_37B	Guadiana	12,47
ES040_CLM_016_37	Guadiana	21,06
ES040_EXT_003_43	Guadiana	18,74
ES040_EXT_004_44	Zújar	14,64
ES040_EXT_005_47	Gargáligas	11,86
ES040_EXT_006_46B	Ruecas	9,7
ES040_EXT_007_46	Ruecas	7,24
ES040_EXT_009_51B	Guadiana	25,43
ES040_EXT_011_54B	Guadiana	16,91
ES040_EXT_012_54	Guadiana	14,51
ES040_EXT_013_59B	Guadiana	32,94
ES040_EXT_017_74	Gévora	13,72
ES040_EXT_019_59	Guadiana	39,71
ES040_EXT_021_107	Ardila	11,78

Tabla 1. Tramos ARPSI seleccionados situados aguas abajo de presas que laminaron la borrasca Nelson de forma significativa

### 5.1.2. Identificación de los puntos de control SAIH que permiten asignar los hidrogramas originados por la borrasca Nelson en los puntos finales de los 21 tramos ARPSI seleccionados

Para caracterizar en los 21 tramos ARPSI situados aguas abajo de las presas los caudales punta producidos por la tormenta Nelson tanto en el escenario real como en el hipotético, en el que no se considera el efecto de las presas y embalses, se han utilizado como información base los hidrogramas registrados en los puntos de control del SAIH. Este trabajo de asignación de un punto de control o una combinación de puntos para determinar los hidrogramas en los puntos finales de cada tramo ARPSI ha sido realizado de forma iterativa a partir de la primera propuesta de 27 tramos ARPSI hasta llegar a los 21 tramos finalmente analizados.

Para determinar qué tramos ARPSI se han visto o se hubieran visto más afectados es necesario analizar la secuencia de precipitaciones en la Demarcación, conocer las características de las cuencas, analizar los hidrogramas registrados u observados en los puntos de control SAIH y los hidrogramas restituidos al régimen natural. Esta información es elaborada y analizada después de cada evento por el equipo del SAIH. De hecho, desde el momento que llega un aviso meteorológico se pone en marcha el seguimiento y gestión de la avenida, que se intensifica durante el evento y, por último, después del mismo para analizar los datos con perspectiva de mejora y validarlos.

En algunos tramos ARPSI no existe una relación directa entre los puntos de control SAIH (embalses y/o estaciones de aforo) y el punto de final del tramo, por lo que ha sido necesario delimitar la intercuenca existente entre los puntos de control más cercanos y el punto final del tramo con objeto de estimar el caudal adicional que se incorpora a los hidrogramas de los puntos de control, permitiendo así establecer el caudal punta del tramo ARPSI asociado a la borrasca Nelson. A modo de ejemplo, se muestra la intercuenca delimitada para obtener el caudal asociado al punto final del tramo ARPSI ES040\_EXT\_004\_44, perteneciente

al río Zújar. En este caso, el caudal establecido se ha basado en los registros de las estaciones de aforo CR2-14 y CR2-13 a los que se incrementa el caudal asociado a la precipitación máxima diaria areal de la intercuenca registrada durante la borrasca Nelson.

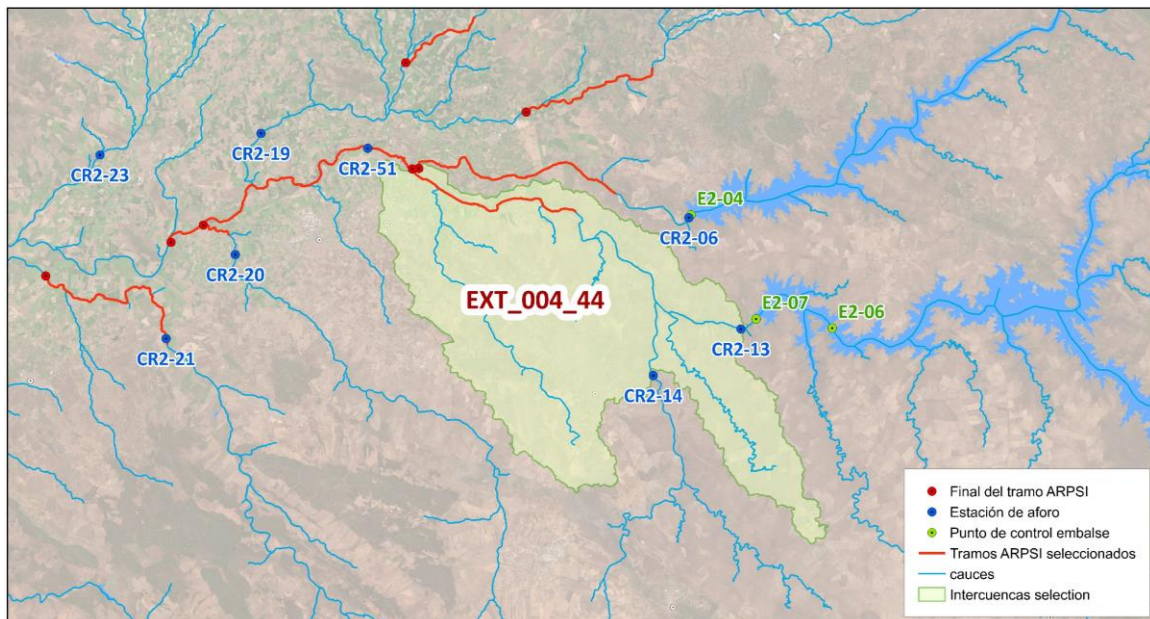


Figura 18. Intercuenca delimitada entre las estaciones de aforo CR2-14 y CR2-13 y el punto final del tramo ARPSI EXT\_004\_44 – río Zújar, para obtener el caudal punta asociado a la borrasca Nelson del tramo ARPSI.

En la siguiente tabla se recoge el listado de tramos ARPSI seleccionados y los puntos de control del SAIH asociados que permiten caracterizar los caudales máximos de la borrasca Nelson al final de cada tramo. En la columna de observaciones de la tabla se muestran los tramos que han requerido incorporar caudales procedentes de la intercuenca delimitada entre los puntos de control y el punto final del tramo.

Código ARPSI	Nombre tramo ARPSI	Punto de control SAIH									Observaciones
		SAIH1	SAIH2	SAIH3	SAIH4	SAIH5	SAIH6	SAIH7	SAIH8	SAIH9	
ES040_CLM_007_25B	Azuer	E1-02	CR1-02	E1-01							Cuenca Alto Guadiana
ES040_CLM_008_25	Azuer	E1-02	CR1-02								Cuenca Alto Guadiana
ES040_CLM_006_120	Gigüela	CR1-15	CR1-05	CR1-07	E1-10						Cuenca Alto Guadiana
ES040_CLM_006_126	Guadiana	E1-03	E1-02	E1-01	E1-10						Cuenca Alto Guadiana
ES040_CLM_011_35B	Bullaque	CR1-20	CR1-21	E1-09							Requiere aportación de caudal de intercuenca
ES040_CLM_012_35	Bullaque	CR1-21		E1-09							
ES040_CLM_010_32	Guadiana	E1-06	E1-07	E1-08	E1-04	E1-05					Requiere aportación de caudal de intercuenca
ES040_CLM_013_37B	Guadiana	CR1-21	CR1-22								Requiere aportación de caudal de intercuenca
ES040_CLM_016_37	Guadiana	CR2-01									
ES040_EXT_003_43	Guadiana	CR2-06	E2-04	E2-03	E2-01						Requiere aportación de caudal de intercuenca
ES040_EXT_004_44	Zújar	CR2-14	CR2-13	CR2-51	E2-06	E2-07					Requiere aportación de caudal de intercuenca
ES040_EXT_005_47	Gargáligas	E2-12	E2-13								Requiere aportación de caudal de intercuenca
ES040_EXT_006_46B	Ruecas	CR2-17	E2-10	E2-09							Requiere aportación de caudal de intercuenca
ES040_EXT_007_46	Ruecas	CR2-16	CR2-17	E2-11							Requiere aportación de caudal de intercuenca
ES040_EXT_009_51B	Guadiana	CR2-20	CR2-51	CR2-19	E2-33						Requiere aportación de caudal de intercuenca
ES040_EXT_011_54B	Guadiana	CR2-25	CR2-21	CR2-24	CR2-23	E2-34					
ES040_EXT_012_54	Guadiana	E2-16	CR2-53	CR2-34	E2-17	E2-15					
ES040_EXT_013_59B	Guadiana	CR2-34	E2-22	CR2-48	E2-18	CR2-33	E2-20	E2-21			
ES040_EXT_017_74	Gévora	CR2-45	E2-24								
ES040_EXT_019_59	Guadiana	CR2-55	E2-32	CR2-37	CR2-38	CR2-42	CR2-46	CR2-39	CR2-40	CR2-41	
ES040_EXT_021_107	Ardila	E2-28	CR2-50								

Tabla 2. Tramos ARPSI seleccionados y puntos de control del SAIH de la Demarcación Hidrográfica del Guadiana asociados

Las siguientes imágenes se corresponden con las cuenca oriental y cuenca occidental y muestran los puntos finales de los 21 tramos ARPSI seleccionados junto con los puntos de control del SAIH que caracterizan los hidrogramas de dichos tramos.

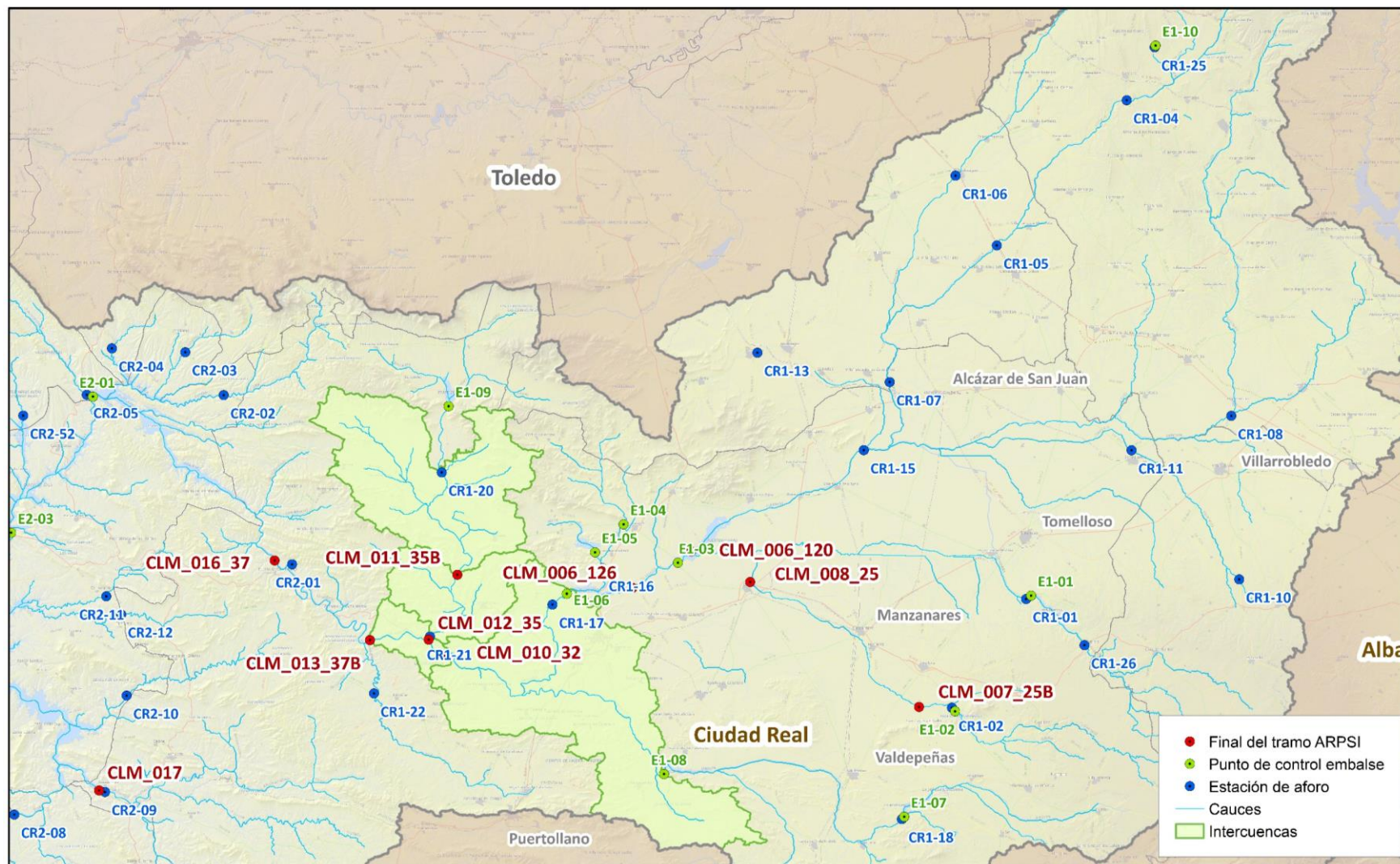


Figura 19. Tramos ARPSI y puntos de control del SAIH de la Demarcación Hidrográfica del Guadiana. Cuenca oriental

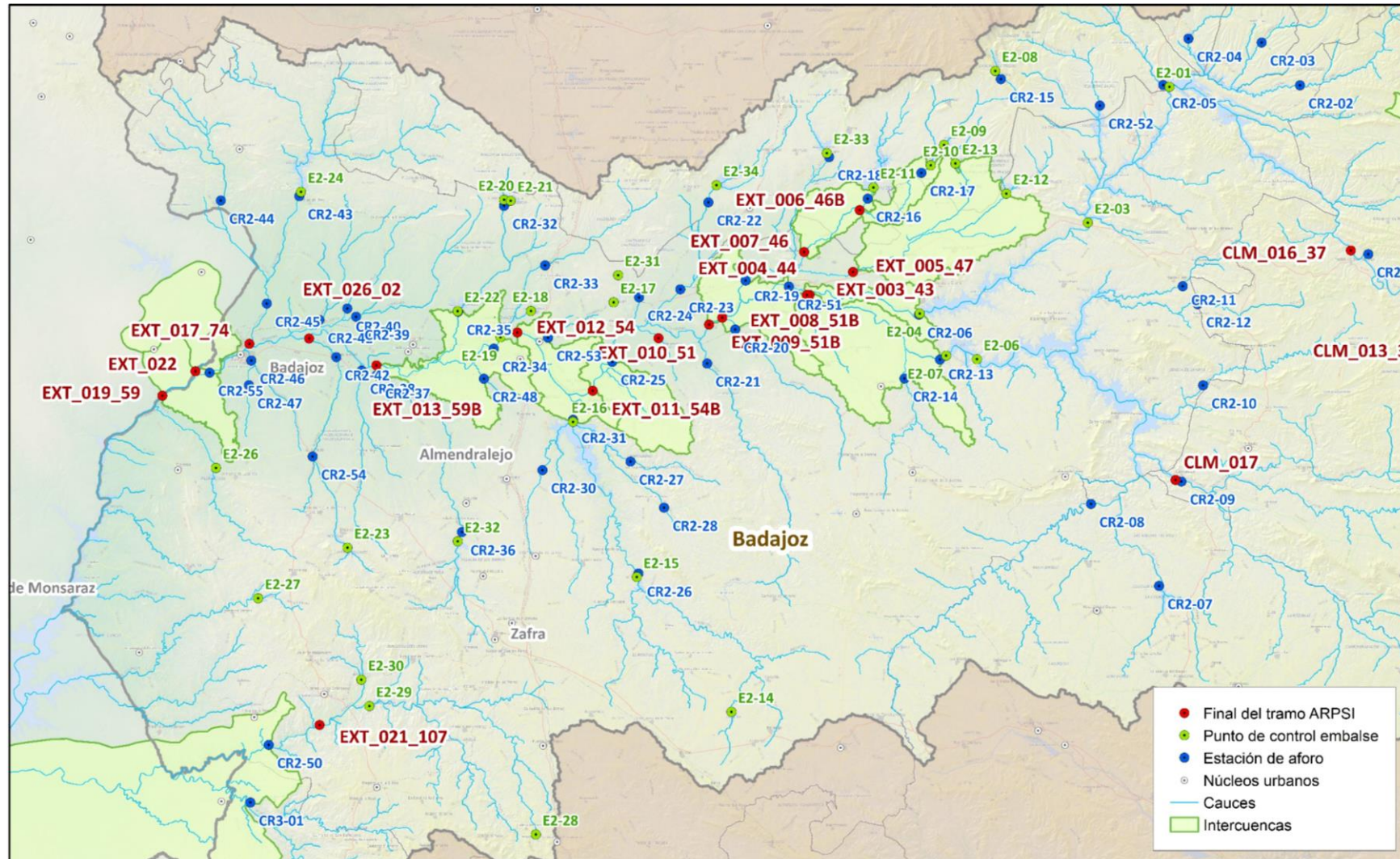


Figura 20. Tramos ARPSI y puntos de control del SAIH de la Demarcación Hidrográfica del Guadiana. Cuenca occidental

La situación inicial, previa a la borrasca, del volumen de embalse almacenado en la Demarcación era del 40%, de tal forma que el volumen disponible para almacenar los caudales de entrada a los embalses era del 60% de la capacidad total. De forma general, las precipitaciones se concentraron en la margen derecha del Guadiana en las cabeceras de los ríos que nacen en la sierra de Gaudalupe (Guadarranque, Gadalupejo y Rucas) y oeste de los Montes de Toledo (Bullaque y Estena), en la cuenca del río Tirteafuera y en la cabecera de la cuenca de los ríos Esteras, Guadalmez y Valdezogues (afluentes del río Zújar). Aunque todas los embalses incrementaron el volumen almacenado tras el episodio, los mayores corresponden a Torre de Abraham en el río Bullaque, La Serena en el río Zújar, Vicario, Cijara, García de Sola y Orellana en el río Guadiana y Sierra Brava en arroyo Pizarroso, afluente del río Rucas, consiguiendo con ello una importante reducción de los caudales de los cauces aguas abajo y del río Guadiana gracias a la acción conjunta de todas ellas.

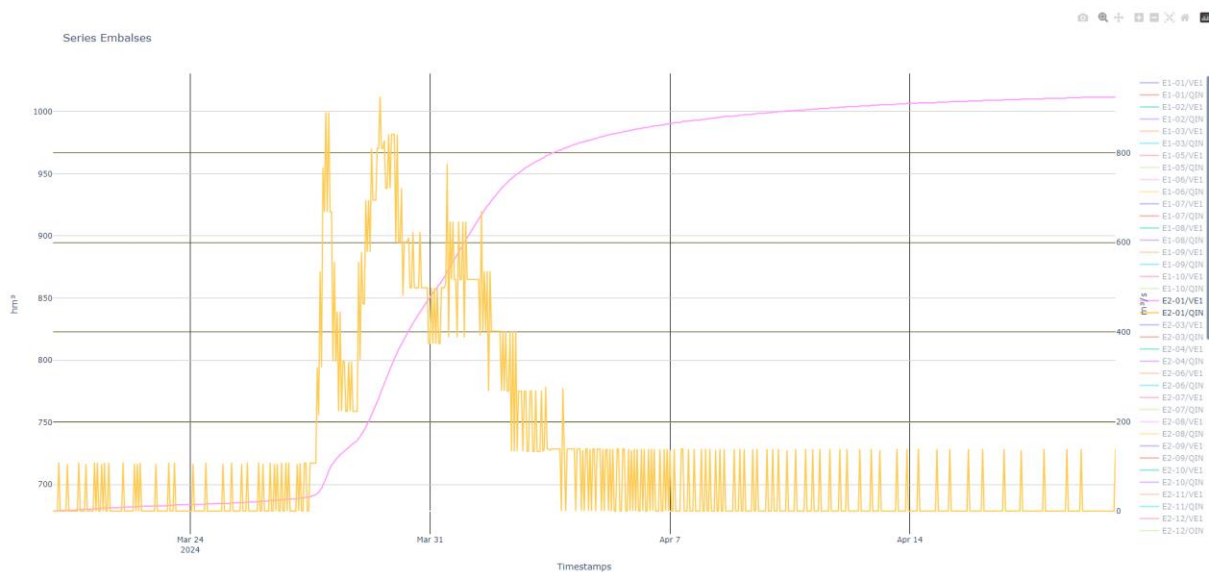


Figura 21. Serie de caudal de entrada y volumen de embalse registrado en el embalse de Cijara (E2-01) durante la borrasca Nelson. Fuente: SAIH de la C.H. del Guadiana

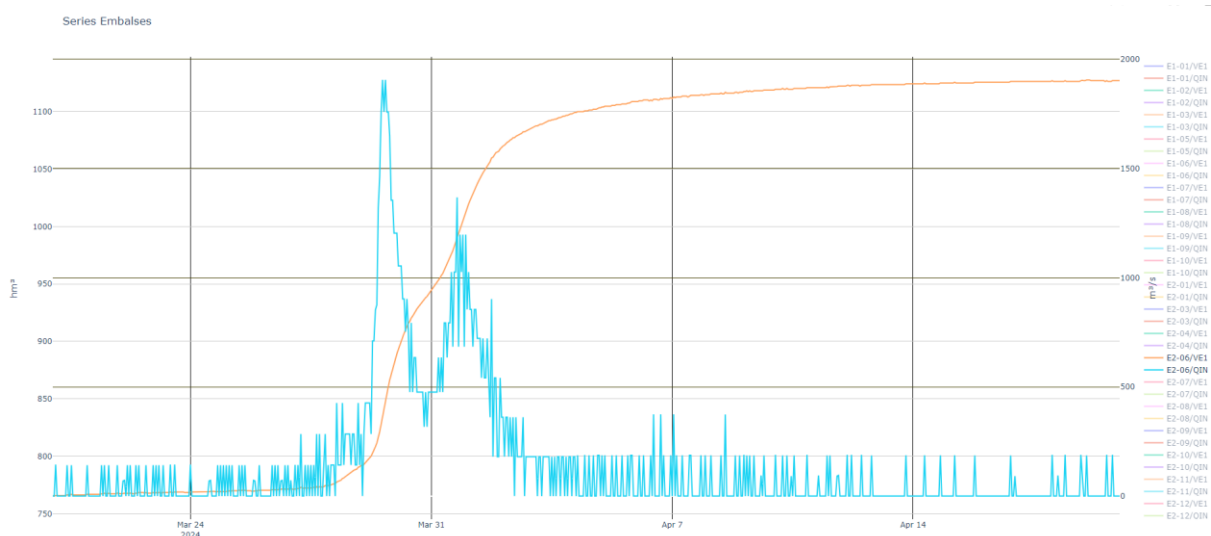


Figura 22. Serie de caudal de entrada y volumen de embalse registrado en el embalse de La Serena (E2-06) Fuente: SAIH de la C.H. del Guadiana

### 5.1.3. Caudales punta al final de cada tramo ARPSI

El equipo del SAIH de la C.H. del Guadiana ha aportado el trabajo realizado para analizar los efectos de la borrasca Nelson en varios puntos de control, en particular, los hidrogramas registrados y validados en embalses (caudales de entrada y salida) y estaciones de aforo (caudal circulante).

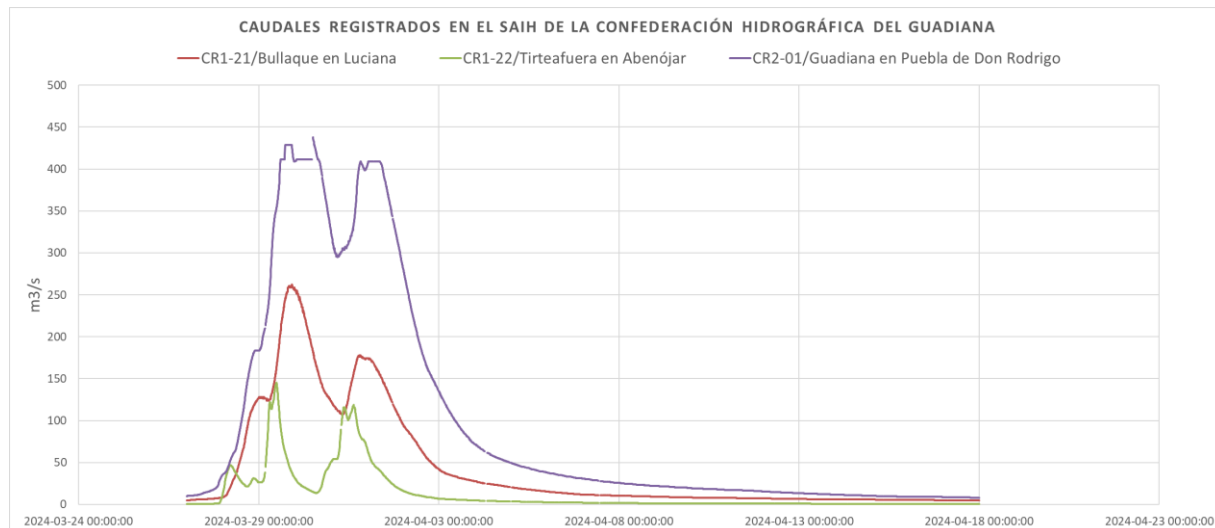


Figura 23. Hidrogramas registrados en las estaciones de aforo de los ríos Bullaque, Tirteafuera y Guadiana aguas abajo de su confluencia

Por otra parte, el equipo del SAIH ha elaborado un modelo hidrológico HEC-HMS del episodio Nelson en régimen natural (sin presas) desde la presa de Cíjara (E2-01) hasta el Azud de Badajoz, lo que ha permitido el traslado de los hidrogramas de entrada de los embalses hasta el Guadiana en Badajoz. Se trata de un modelo simplificado en el que se han incorporado las entradas de caudal de los principales embalses de este ámbito, pero no contempla el caudal asociado a la precipitación areal de las subcuencas.

A continuación, se muestran el esquema topológico de dicho modelo hidrológico y dos ejemplos de hidrogramas obtenidos como resultado. En el esquema topológico se ha incorporado la ubicación del punto final de los tramos ARPSI seleccionados como representativos del efecto laminador de los embalses de la Demarcación (puntos de color rojo).

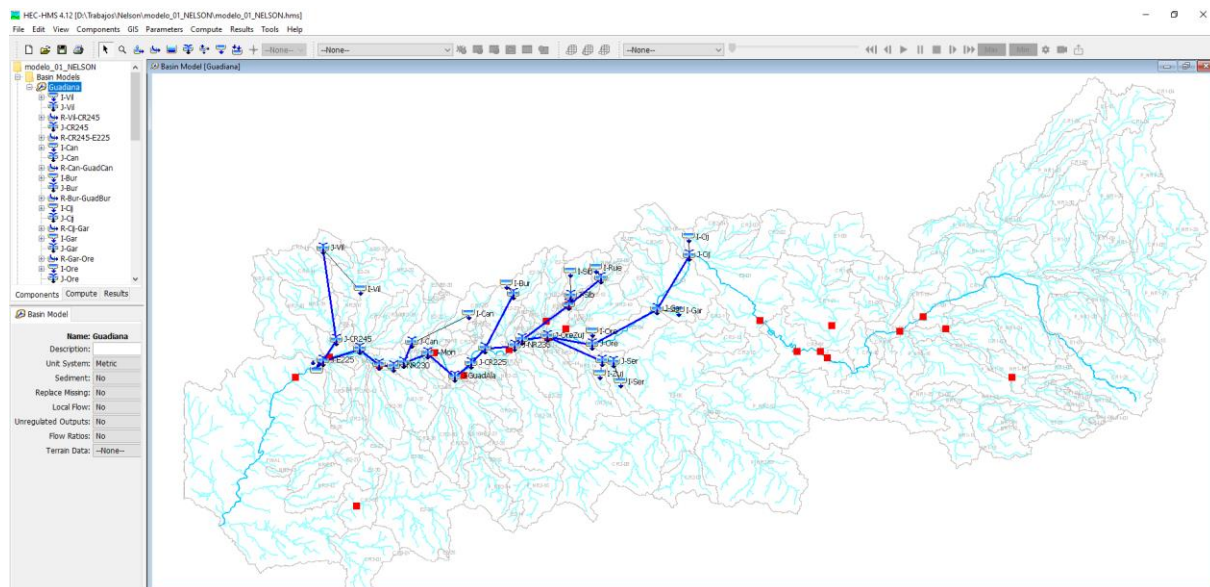


Figura 24. Esquema topológico del modelo hidrológico HEC-HMS elaborado por el equipo del SAIH del Guadiana. Fuente: SAIH de la C.H. del Guadiana





En la siguiente imagen se representan los hidrogramas obtenidos con el modelo hidrológico HEC HMS del equipo SAIH de la C.H. del Guadiana en los principales puntos del ámbito, donde se aprecia el efecto de la incorporación de los caudales procedentes de las cuencas de los ríos Zújar y Ruecas y la laminación del hidrograma en eje del río Guadiana. El modelo no determina los caudales en el eje del Guadiana sino que se limita a calcular el traslado de los hidrogramas de entrada a las presas al eje del Guadiana, aunque varios de los hidrogramas se han podido utilizar en la caracterización de los caudales en los puntos finales de los tramos ARPSI.

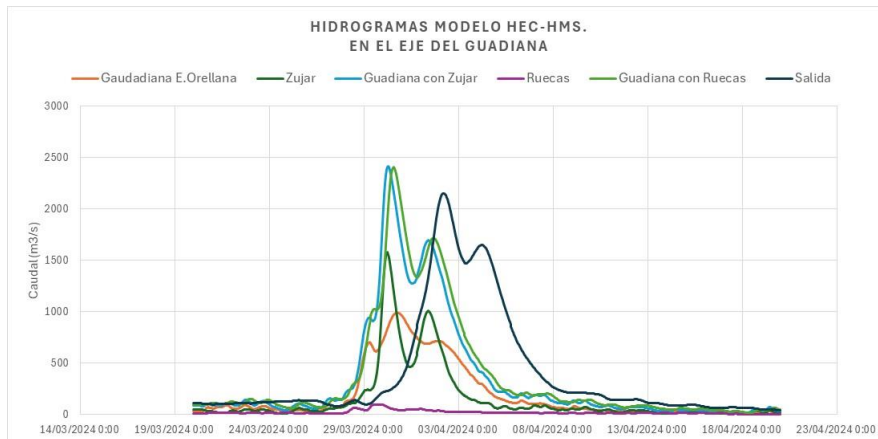


Figura 28. Hidrogramas calculados con el HEC-HMS en los principales puntos del ámbito del modelo hidrológico

De los hidrogramas, tanto registrados como calculados, se han utilizado los valores del caudal punta ya que en el cálculo de daños solo se considera el valor máximo del caudal.

Como se suele utilizar el concepto del periodo de retorno como referencia, se ha obtenido este valor tanto en régimen real registrado como en régimen natural restituido, es decir, en el escenario sin presas. Cada punto final de tramo ARPSI está caracterizado por los cuantiles obtenidos en el SNCZI (régimen real) y además se les pueden asociar los cuantiles que se pueden obtener de CAUMAX (régimen natural). En el caso de los tramos ARPSI situados en el Alto Guadiana, donde el CAUMAX no proporciona caudales, los caudales en régimen natural se han obtenido a través del método racional partiendo de las capas base del CAUMAX (precipitaciones, P0, intensidad, regiones, etc.) y el MDT y el ráster de direcciones de drenaje de drenaje de 25 m de resolución.

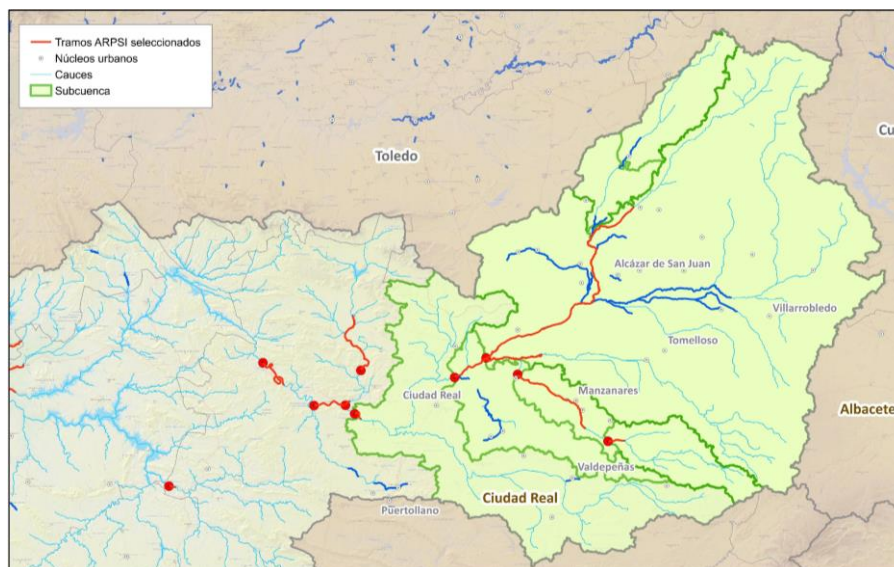


Figura 29. Subcuencas delimitadas para establecer los cuantiles en régimen natural en tramos ARPSI situados en el Alto Guadiana

La tabla que se muestra a continuación muestra de forma sintética el algoritmo utilizado para el cálculo de caudales en los 2 escenarios considerados (considerando el efecto de las presas o régimen real y sin considerarlo o régimen natural). Este cálculo es específico para el análisis de esta borrasca ya que las hipótesis y simplificaciones consideradas han dependido de los datos disponibles. En varios puntos era posible calcular los caudales de varias formas eligiéndose siempre aquella que proporcionaba consistencia en el conjunto de la Demarcación.

Código ARPSI	Nombre tramo ARPSI	Escenario con presas (real)	Escenario sin presas (natural)	Punto HEC-HMS del SAIH
ES040_CLM_007_25B	Azuer	Qe E1-02	Q CR1-02	
ES040_CLM_008_25	Azuer	Qe E1-03	Q CR1-02	
ES040_CLM_006_120	Gigüela	Qe E1-04	Q CR1-02	
ES040_CLM_006_126	Guadiana	Qe E1-05	Q CR1-02	
ES040_CLM_011_35B	Bullaque	Q CR1-21 + Qe E1-09 - Q intercuenca aguas abajo	Q CR1-21 - Q intercuenca aguas abajo	
ES040_CLM_012_35	Bullaque	Q CR1-21 + Qe E1-09	Q CR1-21	
ES040_CLM_010_32	Guadiana	Qe E1-06 + Qe E1-07 + Qe E1-08 + Qe-Qs E1-04 + Qe-Qs E1-05 + Q ARPSI CLM_006-126 + Q intercuenca	Qs E1-06 + Qs E1-08 + Q intercuenca	
ES040_CLM_013_37B	Guadiana	Qe E2-01 (E. Cijara) - Q CR1-22 (EA .Tirteafuera)	Q ARPSI CLM_010-32 + Q ARPSI CLM_012-35 + Q intercuenca	
ES040_CLM_016_37	Guadiana	Qin E2-01 (E. Cijara) = QHMS I-Cij	Q CR2-01	I-Cij
ES040_EXT_003_43	Guadiana	QHMS R-Ore-OreZuj + intercuenca	Qs E2-04 + Q intercuenca	R-Ore-OreZuj
ES040_EXT_004_44	Zújar	QHMS R-Zuj-OreZuj + intercuenca	Qs E2-07 + Q CR2-14 + Q intercuenca	R-Zuj-OreZuj
ES040_EXT_005_47	Gargáligas	Qe E2-12 + Qe E2-13 + Q Intercuenca	Qs E2-12 + Qs E2-13 + Q Intercuenca	
ES040_EXT_006_46B	Ruecas	Qe E2-08 + Qe E2-09 + Qe E2-10 + Q CR-17 (HMS da menos Q)	Q CR-17 + Q Intercuenca	R-Rue-SibRue
ES040_EXT_007_46	Ruecas	Qe E2-11 + Q ARPSI ES040_EXT_006_46B * 0,4 (no suman puntas) + Q intercuenca (HMS da menos Q)	Qs E2-11 + Q ARPSI ES040_EXT_006_46B + Q intercuenca	R-SibRue-GuadRue
ES040_EXT_009_51B	Guadiana	Q ARPSI ES040_EXT_003 + Q ARPSI ES040_EXT_004 + Q ARPSI ES040_EXT_005 + Q ARPSI ES040_EXT_007 + Q intercuenca (HMS da menos Q)	Q CR2-20 + Q CR2-51 + Q CR2-19 + Q intercuenca	J-NR235
ES040_EXT_011_54B	Guadiana	Q CR2-25 + Qe E2-34 + Q ARPSI ES040_EXT_009 + Q intercuenca (HMS da menos Q)	Q CR2-25 + Q intercuenca	J-CR225
ES040_EXT_012_54	Guadiana	Qe E2-16 + Q CR2-53 + Qe E2-17 + Qe E2-15 + Q ARPSI ES040_EXT_011 + Q intercuenca (HMS da menos Q)	Q CR2-34	J-Mon
ES040_EXT_013_59B	Guadiana	Qe-Qs E2-18 + Q CR2-33 + Qe-Qs E2-20 + Qe-Qs E2-21 + Qe-Qs E2-22 + Q ARPSI ES040_EXT_012 + Q intercuenca (HMS da menos Q)	Qs E2-22 + Q CR2-34	J-CR237

Código ARPSI	Nombre tramo ARPSI	Escenario con presas (real)	Escenario sin presas (natural)	Punto HEC-HMS del SAIH
ES040_EXT_017_74	Gévora	Q CR2-45 + Qe E2-24	Q CR2-45 + Qs E2-24 (0)	R-CR245-E225
ES040_EXT_019_59	Guadiana	Qe E2-32 + Q CR2-37 + Q CR2-38 + Q CR2-39 + Q CR2-40 + Q CR2-41 + Q CR2-42 + Q CR2-46 + Q ARPSI ES040_EXT_013 + Q ARPSI ES040_EXT_017 + Q intercuenca (HMS da menos Q)	Q CR2-55	J-E225

Tabla 3. Tramos ARPSI seleccionados y método de cálculo de los caudales en el punto final del tramo

Siguiendo el método de cálculo de la tabla anterior se han obtenido los caudales punta asociados al punto final de cada tramo ARPSI en los 2 escenarios. Como se suele utilizar el concepto del periodo de retorno como referencia, se ha obtenido este valor tanto en régimen real como en régimen natural restituído (el escenario sin presas). Cada punto final de tramo ARPSI está caracterizado por los cuantiles obtenidos en el SNCZI (régimen real) y además se les pueden asociar los cuantiles que se pueden obtener de CAUMAX (régimen natural). A partir de las curvas de los cuantiles de caudales máximos se puede establecer en dichos puntos finales de ARPSI un valor de referencia del periodo de retorno que le corresponde a la avenida Nelson en ambos 2 escenarios.

- El periodo de retorno del cada caudal en régimen real se ha obtenido mediante la curva de los cuantiles de caudales máximos que se obtuvieron para delimitar los mapas de peligrosidad del tramo ARPSI, que consideran el efecto laminador de las presas y que pueden ser consultados en el visor del SNCZI.
- El periodo de retorno del cada caudal restituído al régimen natural se ha obtenido mediante la curva de los cuantiles de caudales máximos en régimen natural calculada con la aplicación CAUMAX y el método Racional.

Finalmente, se ha calculado el periodo de retorno del caudal restituído al régimen natural referido a la curva de los cuantiles de caudales máximos del SNCZI. A este periodo de retorno se le ha denominado *periodo de retorno equivalente* al referirlo a la curva que no representa a su régimen (el caudal está en régimen natural y la curva en régimen real). Esto permite asociar los mapas de las zonas inundables y los datos de daños del SNCZI, aunque la frecuencia de ocurrencia no sea la que le estadísticamente corresponde.

La siguiente tabla muestra todos los resultados por ARPSI.

Código ARPSI	Nombre ARPSI	Q <sub>real</sub> (m <sup>3</sup> /s)	Q <sub>natural restituído</sub> (m <sup>3</sup> /s)	T <sub>real</sub> (años) SNCZI	T <sub>Q<sub>natural restituído</sub></sub> (años) CAUMAX - Racional	T <sub>equivalente</sub> Q <sub>natural restituído</sub> (años) SNCZI
ES040_CLM_007_25B	Azuer	0,13	6,72	0,1	2,1	0,9
ES040_CLM_008_25	Azuer	0,13	6,72	0,1	2,0	0,9
ES040_CLM_006_120	Gigüela	8,66	11,31	0,2	1,3	1,0
ES040_CLM_006_126	Guadiana	0,00	44,96	0,1	1,1	0,9
ES040_CLM_011_35B	Bullaque	137,22	399,00	24,1	49,4	140,7
ES040_CLM_012_35	Bullaque	262,21	523,99	45,6	16,7	145,6
ES040_CLM_010_32	Guadiana	95,04	307,85	0,7	15,6	2,4
ES040_CLM_013_37B	Guadiana	387,27	780,71	2,6	53,7	6,2

Código ARPSI	Nombre ARPSI	Q <sub>real</sub> (m <sup>3</sup> /s)	Q <sub>natural restituído</sub> (m <sup>3</sup> /s)	T Q <sub>real</sub> (años) SNCZI	T Q <sub>natural restituído</sub> (años) CAUMAX - Racional	T equivalente Q <sub>natural restituído</sub> (años) SNCZI
ES040_CLM_016_37	Guadiana	437,77	926,00	4,8	57,3	11,2
ES040_EXT_003_43	Guadiana	6,03	1.012,70	0,1	17,3	6,1
ES040_EXT_004_44	Zújar	47,11	1.588,18	0,4	20,9	81,3
ES040_EXT_005_47	Gargáligas	27,85	117,44	2,8	3,3	53,5
ES040_EXT_006_46B	Ruecas	51,20	185,00	7,3	9,2	86,1
ES040_EXT_007_46	Ruecas	68,93	245,30	8,2	14,6	95,9
ES040_EXT_009_51B	Guadiana	128,19	3.013,51	0,6	42,5	36,4
ES040_EXT_011_54B	Guadiana	241,73	3.287,74	1,1	42,5	52,8
ES040_EXT_012_54	Guadiana	215,39	3.507,37	1,0	35,5	50,1
ES040_EXT_013_59B	Guadiana	225,68	3.612,94	0,9	28,7	48,8
ES040_EXT_017_74	Gévora	81,23	164,99	1,7	3,0	5,2
ES040_EXT_019_59	Guadiana	258,28	3.813,42	0,5	19,3	50,1
ES040_EXT_021_107	Ardila	224,03	-	3,0	-	-

Tabla 4. Caudales reales registrados y caudales restituídos al régimen natural y sus periodos de retorno asociados a los tramos ARPSI seleccionados situados aguas abajo de presas que laminaron la borrasca Nelson de forma significativa

A continuación se explica como ejemplo el caso del tramo ARPSI ES040\_CLM\_012\_35 del Bullaque:

1. El periodo de retorno del caudal punta restituído al régimen natural (399,00 m<sup>3</sup>/s) se aproxima a 50 años (49,4 según la tabla anterior). Como está en régimen natural la referencia que se ha tomado es CAUMAX, también en régimen natural.
2. Para valorar la extensión de la zona inundable, daños y población afectada, los datos disponibles son los del SNCZI por lo que se ha identificado qué *periodo de retorno equivalente* corresponde a un caudal de 399,00 m<sup>3</sup>/s en este sistema de referencia. El resultado es 140,7 años.
3. Por tanto, la zona inundable que se hubiera podido presentar en este tramo del río Bullaque sin el efecto de la presa de Torre de Abraham sería un poco mayor que la de 100 años de periodo de retorno. El cambio de frecuencia de ocurrencia que produce la laminación de la presa es el correspondiente al cambio del periodo de retorno de 50 a 140 años. Todo esto es aplicable solo a Nelson u otra borrasca que responda a las mismas condiciones iniciales del embalse, de gestión de los órganos de desagüe, de la cuenca hasta el punto de cálculo y de la precipitación.

Como los daños y la población afectada van asociadas a los valores de los caudales determinados en el SNCZI por tramo ARPSI, estos forman el sistema de referencia que permite trasladar daños, población afectada y extensión correspondientes a los valores de caudales en los 2 escenarios analizados, aunque estadísticamente la que se deba aplicar sea la del CAUMAX para el escenario hipotético en el que no se considera el efecto de las presas.

Tras la comparación de los caudales obtenidos en el eje del río Guadiana con la aplicación CAUMAX (régimen natural) o con el método Racional con los valores del SNCZI, se evidenció que la referencia de CAUMAX para el cálculo del periodo de retorno equivalente no es aparentemente coherente con los cuantiles de caudales máximos del SNCZI (régimen real) en algunas subcuencas, siendo necesario un estudio hidrogeológico en profundidad más el análisis de las hipótesis de cálculo de ambas referencias para comprender el origen de la divergencia. La cuenca alta del Guadiana es una de las más complejas de España y, por su extensión se puede considerar una singularidad. Por este motivo, aunque se han obtenido como referencia, no se han tomado en consideración a la hora de sacar conclusiones.

Tras la obtención de los *periodos de retorno equivalentes*, no se han considerado los tramos ARPSI en los que se han establecido valores de caudal en régimen natural restituido cuyo periodo de retorno es inferior a 5 años, dado que la borrasca Nelson no hubiera tenido un impacto significativo. Este es el caso de los tramos ES040\_CLM\_007\_25B y ES040\_CLM\_008\_25, en el río Azuer, ES040\_CLM\_006\_120, en el río Gígüela y ES040\_CLM\_006\_126 y ES040\_CLM\_010\_32, en el río Guadiana, situados en el Alto Guadiana.

Adicionalmente se ha eliminado también el tramo ARPSI ES040\_EXT\_021\_107, en el río Ardila, ya que no ha sido posible restituir su caudal al régimen natural por no disponer de los hidrogramas de entrada a los embalses situados aguas arriba del tramo, Valungo y Brovales. Únicamente se dispone de registro de datos en el punto de control SAIH correspondiente a la estación de aforo CR2-50.

Por tanto, el número final de tramos ARPSI empleados para estimar los daños producidos por desbordamiento de cauces y daños evitados gracias a las presas durante la borrasca Nelson se reduce finalmente a 15.

Como ejemplo, en la siguiente imagen se muestra la extensión de las zonas inundables de 10, 100 y 500 años en el entorno de Badajoz. Para conocer el orden de magnitud de la inundación que hubiera producido los caudales punta restituidos al régimen natural en esta zona, se han comparado con los cuantiles de caudales máximos del SNCZI, obteniéndose que esta avenida es superior a la de 10 años de periodo de retorno, pero menor que la de 100. Interpolando se ha establecido que equivale a unos 50 años de periodo de retorno, luego la extensión hubiera alcanzado un ámbito entre la de extensión correspondiente a  $T_{10}$  y  $T_{100}$ .

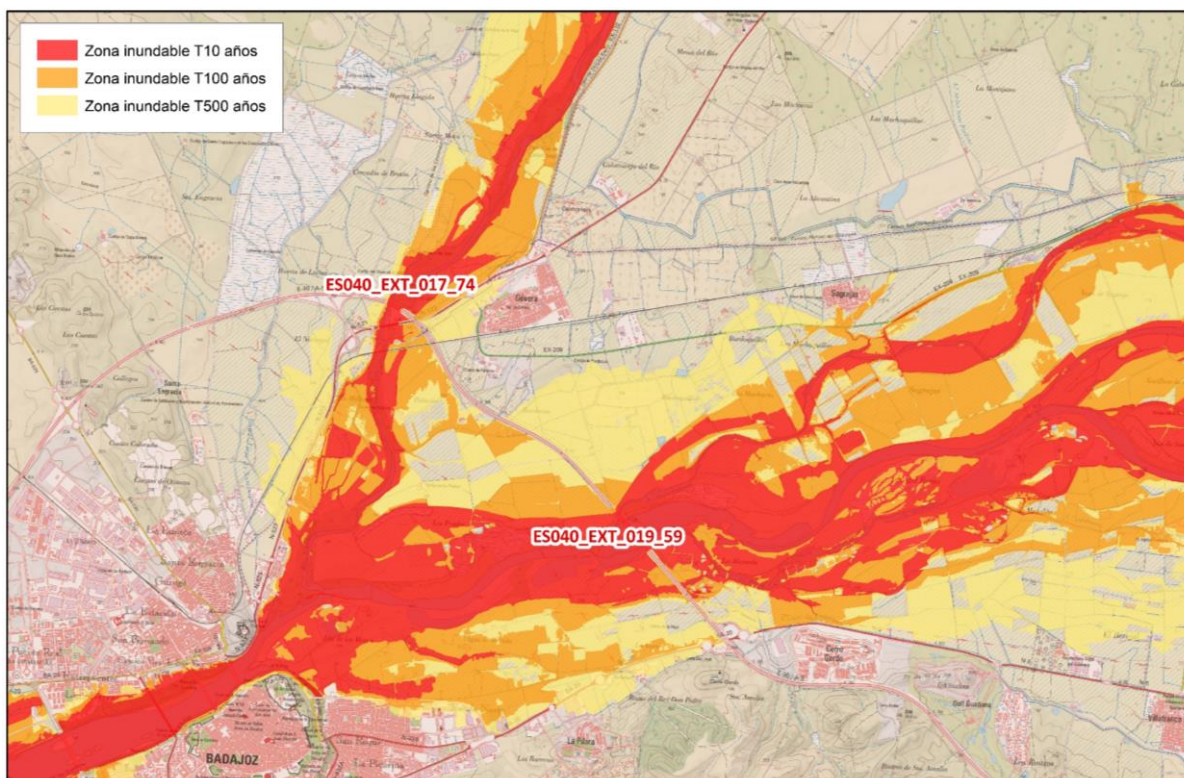


Figura 30. Zonas inundables correspondientes a T10, T100 y T500 del SNCZI. Detalle de los tramos ARPSI ES040\_CLM\_019\_59 y ES040\_CLM\_019\_59, Badajoz

En la imagen que se muestra a continuación pueden identificarse por colores los periodos de retorno asociados a cada tramo en régimen natural restituido, y que no se produjeron gracias al efecto de las presas.

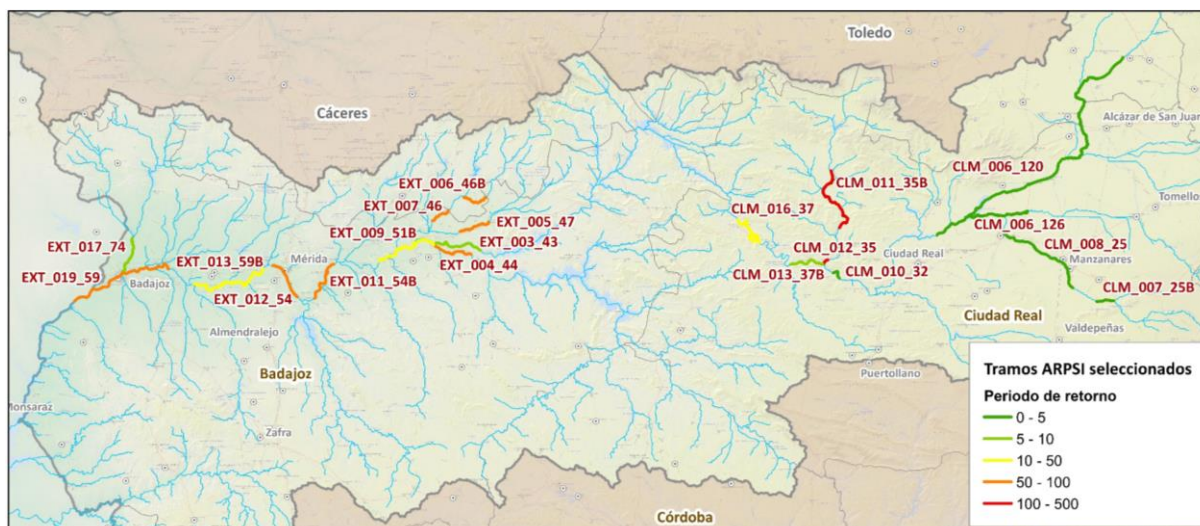


Figura 31. Periodo de retorno del caudal en régimen natural restituído por tramo ARPSI

Como puede apreciarse, al realizar la equivalencia con los datos del SNCZI, el Guadiana en su tramo alto no hubiera sufrido una avenida significativa, ya que los caudales obtenidos se sitúan en el rango de caudales del SNCZI comprendido entre 0 m<sup>3</sup>/s y los correspondientes al periodo de retorno de 5 años, mientras que los ríos Bullaque, Zújar y Rucas serían los que hubieran registrado avenidas más severas, junto con el eje del río Guadiana a su paso por Mérida y Badajoz ya que los caudales obtenidos se encuentran entre los correspondientes a un periodo de retorno entre 50 y 100 años (tramos naranjas) y entre 100 y 500 años (tramo rojo).

En el Alto Guadiana (tramos de Azuer, Cigüela y Guadiana), como se observa en la tabla 3, los periodos de retorno, tanto en régimen real como en régimen natural restituído, indican una magnitud muy pequeña de las avenidas ocurridas y registradas. Estas avenidas no debieron producir daños significativos por desbordamiento. En esta zona no se registraron precipitaciones significativas.

En la cuenca del río Bullaque, una de las zonas en las que se concentraron las precipitaciones, en el escenario en el que no se considera el efecto de las presas, podrían haberse producidos daños muy graves debido a que en la mayoría de estos tramos ARPSI se hubiera registrado un caudal equivalente de 145 años de periodo de retorno según el SNCZI. En el eje del Guadiana aguas abajo de la presa de Cijara el periodo de retorno de caudal que se hubiera producido es significativamente menor, en torno al equivalente de 50 años.

#### 5.1.4. Daños producidos por desbordamiento de cauces y daños evitados gracias a las presas durante la borrasca Nelson

Para realizar este cálculo de daños se han empleado los resultados de los mapas de riesgo por inundación del PGRI de la Demarcación Hidrográfica del Guadiana asociados a las zonas inundables de cada tramo ARPSI seleccionado, para los periodos de retorno de 10, 100 y 500 años. Estos mapas sirven, además, según la Directiva de Inundaciones (2007/60/CE), como “herramienta para establecer prioridades y la toma de decisiones adicionales de índole técnica, económica y política relativas a la gestión del riesgo de inundación”. Según lo que se recoge en la Directiva, los mapas de riesgo de inundación “mostrarán las consecuencias adversas potenciales asociadas a la inundación en los escenarios indicados”, en este contexto dichos escenarios corresponden a las inundaciones relativas a los periodos de retorno de 10, 100 y 500 años. Las consecuencias adversas potenciales o daños clasifican en base a los siguientes parámetros o categorías:

1. Mapa de riesgo a la población: número indicativo de habitantes que pueden verse afectados.
2. Mapa de riesgo a las actividades económicas: daños económicos en el área que puede verse afectada por la inundación, incluye daños a servicios e infraestructuras.

3. Mapa de riesgos en puntos de especial importancia que incluyen las actividades peligrosas como las instalaciones industriales a que se refiere el anejo I de la ley 16/2002, de 1 de julio, de Prevención y Control Integrado de la Contaminación que puedan ocasionar contaminación accidental en caso de inundación, así como las estaciones depuradoras de aguas residuales, los elementos significativos para Protección Civil, elementos considerados como Patrimonio cultural.
4. Mapa de áreas de importancia medioambiental, que recogen las zonas protegidas para la captación de aguas destinadas al consumo humano, masas de agua de uso recreativo y zonas para la protección de hábitats o especies que pueden resultar afectadas.

De todos los riesgos se han evaluado los daños a las actividades económicas y a la población que se vería afectada por las inundaciones provocadas por Nelson en los 2 escenarios estudiados, ya que estos riesgos se expresan de forma cuantitativa en el PGRI según el área inundada.

Toda la información se puede consultar en los mapas de riesgo de inundación de las ARPSI publicados en el visor del SNCZI. Los datos de los mapas de peligrosidad y riesgo de inundación de la Demarcación Hidrográfica del Guadiana asociados a cada tramo ARPSI se almacenan en una base de datos, que ha sido facilitada por la Subdirección General de Protección de las Aguas y Gestión de Riesgos para la realización de este trabajo. Esta información (capas de información geográfica y base de datos) ha sido analizada y contrastada, decidiendo como conclusión emplear los datos de caudales y riesgos de inundación almacenados en la citada base de datos.

También ha sido necesario calcular previamente la suma de los valores de los daños por periodo de retorno de los distintos usos del suelo y la población en cada sección censal afectada por tramo ARPSI. A partir de estos datos se han obtenido las curvas Daños/Q y Población afectada/Q de cada uno de los tramos ARPSI. Se ha analizado esta información en su conjunto, como el resto de los datos, para poder identificar singularidades, erratas, etc.

**El valor de los daños causados por Nelson se ha calculado por tramo ARPSI a partir de dichas curvas Daños/Q y Población afectada/Q, introduciendo en las curvas el valor del caudal punta real registrado durante la borrasca Nelson y el valor del caudal punta que se hubiera producido en el hipotético caso de que las presas no hubieran laminado los hidrogramas de entrada a los embalses, es decir el llamado caudal punta del hidrograma en régimen natural restituído. Se considera que la diferencia entre ambos escenarios es el valor de los daños evitados y la población protegida.**

Para que esta metodología sea consistente es necesario:

- Totalizar la población potencialmente afectada, por tramo ARPSI y periodo de retorno, ya que estos valores se encuentran desagregados por las secciones censales de cada término municipal afectadas por la zona inundable.
- Totalizar el riesgo a la actividad económica, por tramo ARPSI y periodo de retorno, de forma análoga al trabajo realizado con la población. Los mapas de riesgo a la actividad económica identifican los usos del suelo presentes en la zona inundable y los clasifica en tipologías. El SNCZI establece 20 tipos, ej. urbano concentrado, industrial disperso, agrícola-secano, etc. asignando un valor a cada uno por m<sup>2</sup>.
- Comprobar la consistencia de los datos obtenidos para cada tramo ARPSI: caudales, población afectada y daños a la actividad económica entre periodos de retorno. Y la consistencia de los datos entre tramos ARPSI situados en el mismo cauce.
- Añadir un valor de caudal de “daño 0” considerado como aquel que empieza a desbordar y causar daños en el tramo ARPSI. Se han asumido los caudales asociados al periodo de retorno de 5 años. A estos valores se le asigna el valor 0 de daños.



Las siguientes imágenes muestran un ejemplo de los cálculos realizados con los datos obtenidos en el punto final de un tramo ARPSI y para un evento genérico, no específicamente el de Nelson, para poder mostrar la metodología en su conjunto.

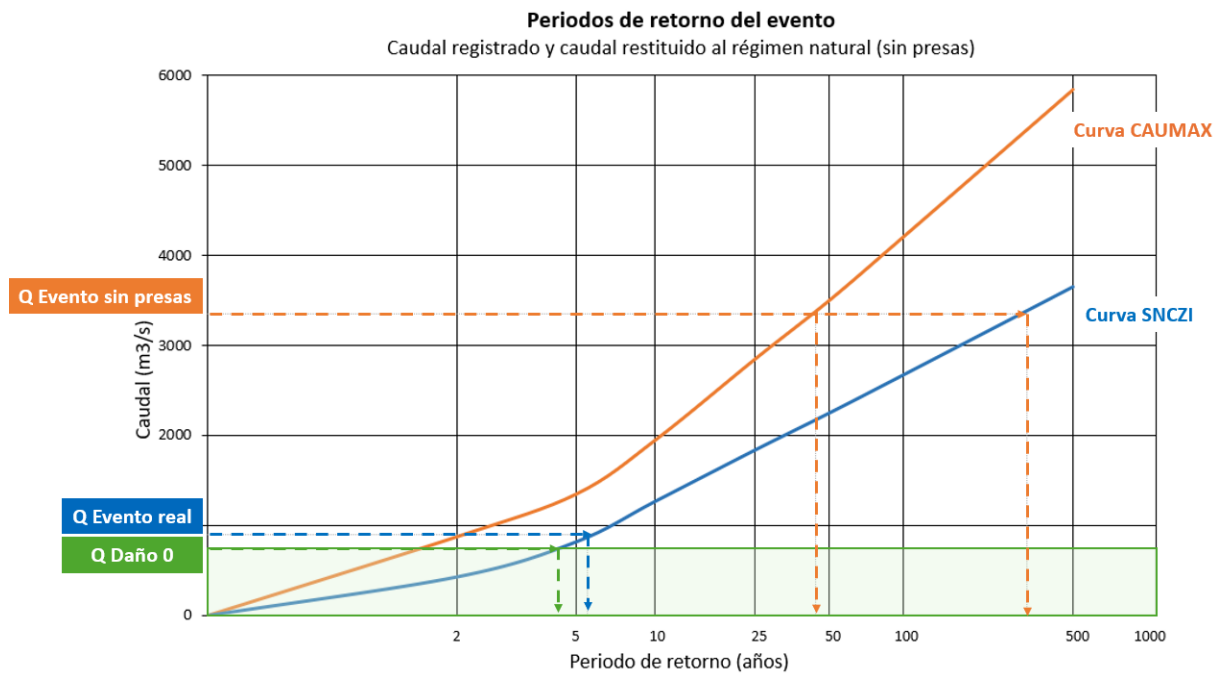


Figura 32. Periodos de retorno/caudal en un punto o sección de cauce

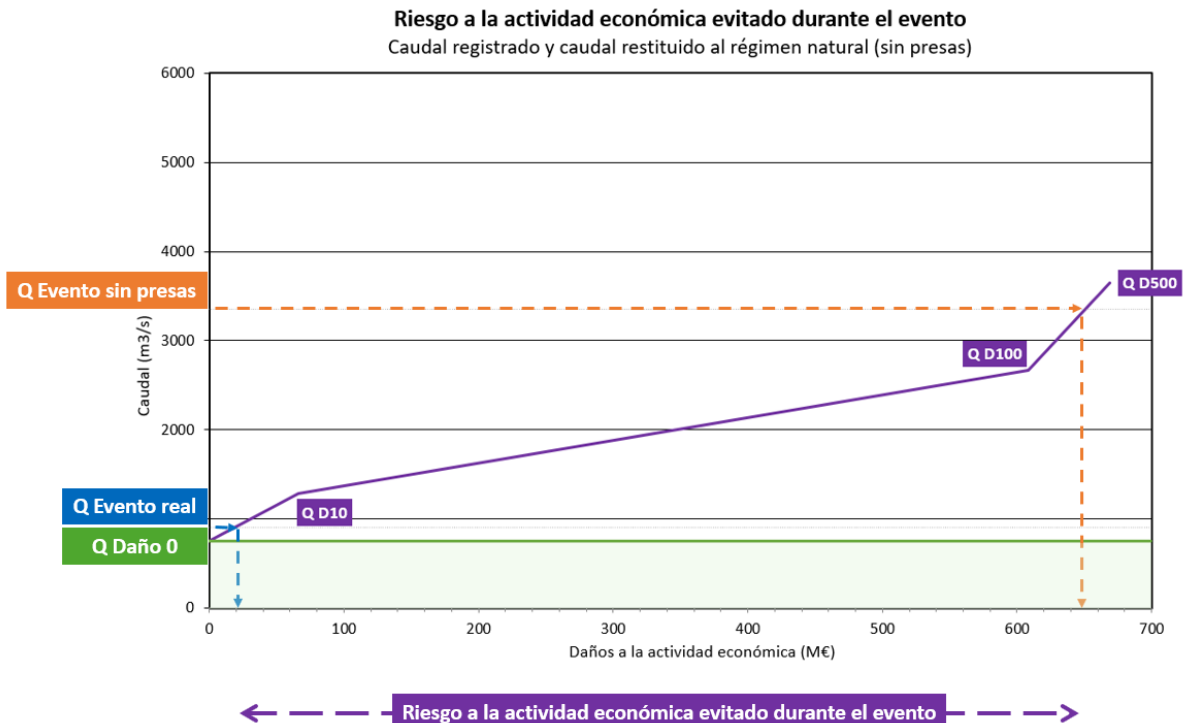


Figura 33. Daños evitados en el mismo punto o sección de cauce

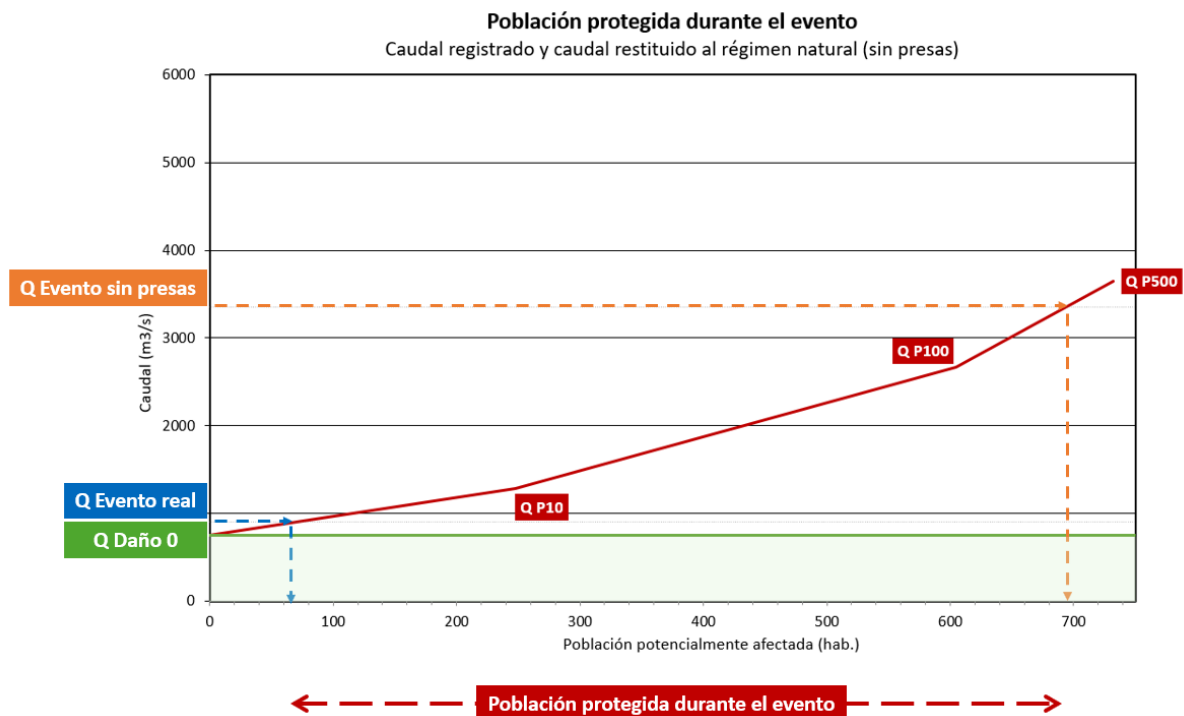


Figura 34. Población protegida en el mismo punto o sección de cauce

Interpolando a partir de los valores Daños/Q y Población afectada/Q se han obtenido los siguientes resultados por tramo ARPSI:

Código tramo ARPSI	Nombre tramo ARPSI	Daños Actividad Económica Q natural (€)	Daños Actividad Económica Q real (€)	Población Q natural (hab.)	Población Q real (hab.)
ES040_CLM_011_35B	Bullaque	24.964.154	4.696.648	121	64
ES040_CLM_012_35	Bullaque	7.009.029	4.165.725	2	1
ES040_CLM_013_37B	Guadiana	150.579	0	2	0
ES040_CLM_016_37	Guadiana	2.934.111	0	14	0
ES040_EXT_003_43	Guadiana	4.175.790	0	58	0
ES040_EXT_004_44	Zújar	66.049.079	0	258	0
ES040_EXT_005_47	Gargáligas	7.479.766	0	47	0
ES040_EXT_006_46B	Ruecas	4.984.214	0	38	0
ES040_EXT_007_46	Ruecas	9.388.971	0	63	0
ES040_EXT_009_51B	Guadiana	663.537.310	0	719	0
ES040_EXT_011_54B	Guadiana	250.502.465	0	509	0
ES040_EXT_012_54	Guadiana	138.088.806	0	3.526	0
ES040_EXT_013_59B	Guadiana	341.584.647	0	1.440	0
ES040_EXT_017_74	Gévora	0	0	0	0
ES040_EXT_019_59	Guadiana	691.091.765	0	6.586	0
<b>TOTAL</b>		<b>2.211.940.686</b>	<b>8.862.373</b>	<b>13.383</b>	<b>65</b>

Tabla 5. Daños causados por la borrasca Nelson a la actividad económica y población que podría haberse afectado

Los daños económicos y de la población afectada durante la tormenta Nelson, causados por el desbordamiento de los ríos situados aguas abajo de las presas analizadas, han sido prácticamente nulos, salvo alguna

referencia puntual en tierras agrícolas. Luego se aceptan los resultados para el escenario correspondiente a la situación real.

Las siguientes imágenes muestran los resultados de los daños evitados en las actividades económicas por el efecto de las presas calculados a partir de la diferencia entre los que se hubieran producido durante la borrasca Nelson en el escenario hipotético en el que no se hubieran construido las presas de la D.H. del Guadiana menos los daños obtenidos en el escenario real. De forma análoga se ha calculado la población protegida gracias a la disminución de caudales que producen las presas.

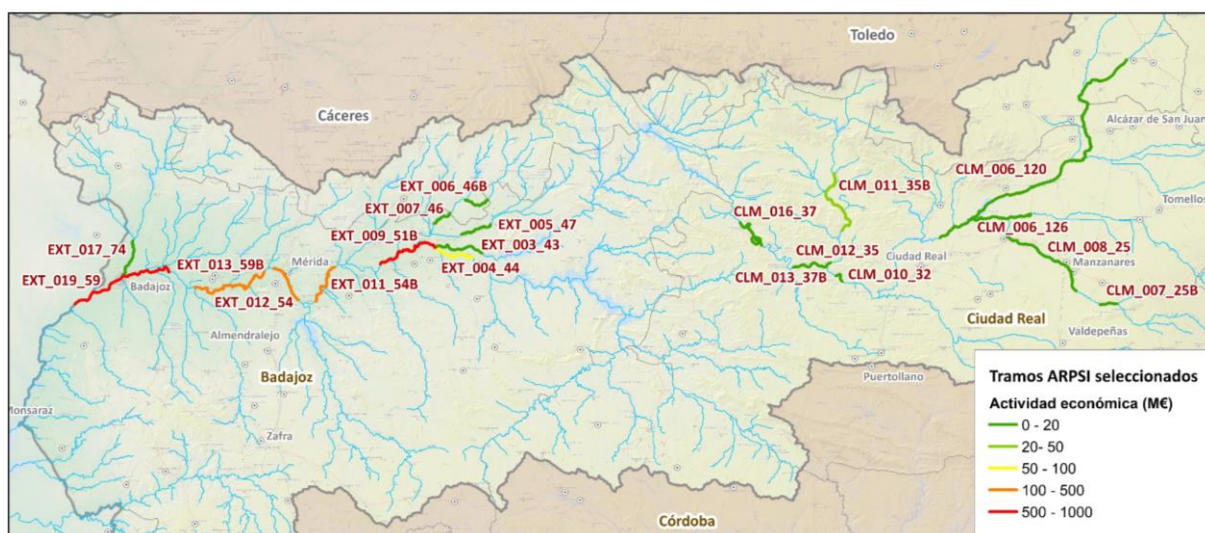


Figura 35. Daños evitados a las actividades económicas gracias a la reducción de caudales que produjeron las presas

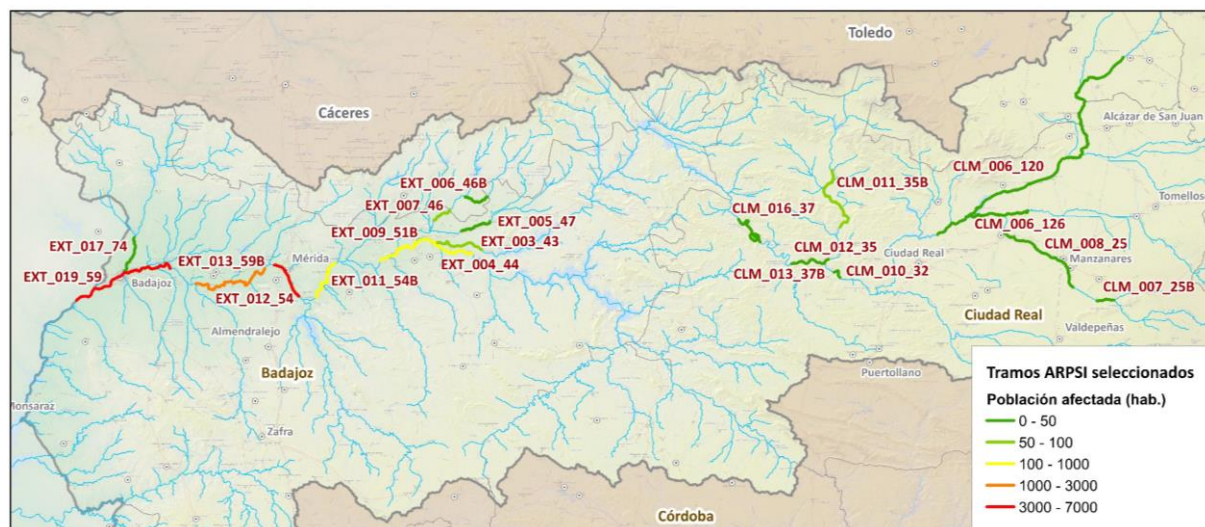


Figura 36. Población que hubiera sido afectada por el caudal en régimen natural por tramo ARPSI

A modo de ejemplo, en la siguiente imagen se muestra la actividad económica que podría haberse afectado con el caudal punta que hubiera circulado por el río Guadiana a su paso por Badajoz si no existiesen presas, que sería equivalente a unos 50 años de periodo de retorno, referido a los caudales del SNCZI. Se muestra a continuación el mapa de riesgo a correspondiente a 100 años de periodo de retorno, cuya extensión es mayor que la que se hubiera producido, pero permite identificar los usos del suelo en los que se hubieran causado daños en el escenario hipotético en el que no se considera el efecto de las presas.

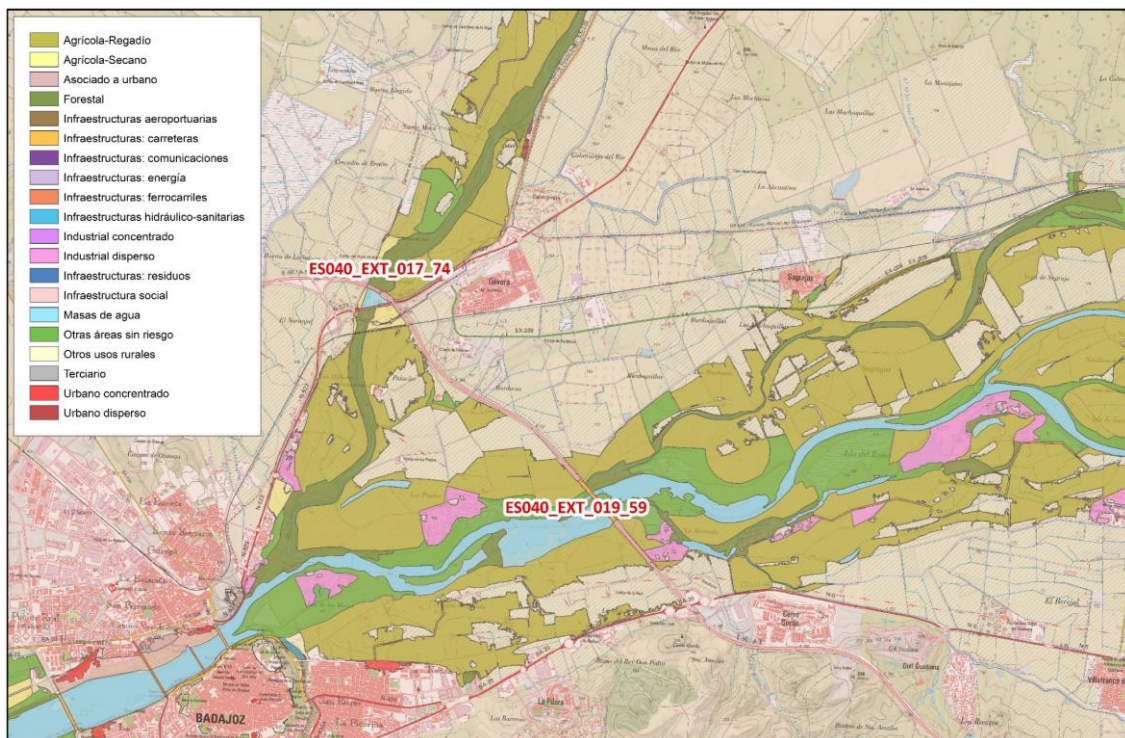


Figura 37. Daños a actividades económicas en la zona inundable correspondiente a T100 años. Detalle de los tramos ARPSI MG014-01 y MG014-04, Badajoz

En los tramos ARPSI seleccionados, los daños acumulados que hubiera podido generar la borrasca Nelson y que han sido evitados gracias a las presas son los siguientes:

	Nelson real	Nelson sin presas	Daños evitados
Daños actividad económica (€)	8.862.373	2.211.940.686	2.203.078.313
Población afectada (hab.)	65	13.383	13.318

Tabla 6. Daños producidos y evitados por la borrasca Nelson

En esos mismos tramos ARPSI, según los mapas de riesgo estudiado en el PGRI de la D.H. del Guadiana los daños a la actividad económica y la población afectada correspondientes a cada periodo de retorno se indican en la siguiente tabla.

	T10 años	T100 años	T500 años
Daños actividad económica (€)	1.757.794.483	2.886.435.946	4.016.000.898
Población afectada (hab.)	11.713	17.008	25.682

Tabla 7. Daños producidos por los caudales correspondientes a los periodos de retorno de 10, 100 y 500 años

Por otra parte, consultando en los mapas de riesgo los puntos de especial importancia (PEI), se han seleccionado aquellos situados en las zonas inundables de los tramos ARPSI en los que con la borrasca Nelson, en el escenario sin presas, hubiesen superado el periodo de retorno equivalente a 100 años, como es el caso de los tramos de los ríos Bullaque, Zújar y Rucas, o 10 años, como es el eje del Guadiana y el río Gargáligas. En este ámbito se han identificado los servicios, instalaciones, bienes, etc. que hubieran sido afectados y que se relacionan a continuación:

Tipo	Subtipo	Descripción	Código de Sub-tramo	N.º
EDAR	EDAR	Sistema de colectores sin depuradora, Madrigalejo	ES040_EXT_006	
		EDAR Mérida	ES040_EXT_012	
		EDAR Badajoz	ES040_EXT_019	
EDAR Total				3
Emisiones industriales	Emisiones industriales	EDAR Rincón de Caya (Badajoz)	ES040_EXT_019	
Emisiones industriales Total				1
Sanidad Total				1
Servicios básicos	Agua	Badajoz	ES040_EXT_019	
		Mérida	ES040_EXT_012	
		Sin EDAR en Madrigalejo	ES040_EXT_006	
Servicios básicos Total				3

Tabla 8. Daños evitados a puntos de especial importancia por los caudales correspondientes a 10 o 100 años de periodo de retorno, según el caso, en los tramos ARPSI seleccionados

## 6. CONSIDERACIONES FINALES

La valoración detallada de los daños que han evitado las principales presas de la D.H. del Guadiana durante la borrasca Nelson es un trabajo cuya realización excede del ámbito del presente informe, sin embargo, a partir de los hidrogramas facilitados por el SAIH y de la explotación de la base de datos que almacena la información calculada para la identificación y caracterización de los riesgos de inundación de los tramos ARPSI dentro de los trabajos elaborados para el PGRI de la Demarcación, es posible realizar un cálculo aproximado de los daños evitados.

Aun así, es necesario realizar ciertas consideraciones al trabajo realizado:

- Ha sido posible cuantificar los daños en los 2 escenarios contemplados, sin construir modelos matemáticos para caracterizar los hidrogramas, las zonas inundables y los daños, gracias a la disponibilidad de los resultados los datos PGRI y del SAIH de la Demarcación Hidrográfica del Guadiana. Los datos del PGRI, que se pueden consultar en los mapas de peligrosidad y riesgo del visor del SNCZI, han permitido realizar un cálculo aproximado y coherente con los resultados de dicho trabajo, que es el referente en este tipo de estudios.
- Los caudales obtenidos en el eje del río Guadiana con la aplicación CAUMAX (régimen natural) presentan divergencias respecto de los cuantiles de caudales máximos del SNCZI (régimen real) debido a la complejidad hidrológica de esta demarcación, por lo que, aunque se han obtenido como referencia, no se han tomado en consideración a la hora de sacar conclusiones.
- Inicialmente el agua embalsada en la Demarcación representa el 40,4% respecto de la capacidad total de los embalses, según el Boletín Hidrológico de la semana 13, que cerró el 26 de marzo. Por tanto, las presas disponían de un gran volumen de embalse libre.
- El volumen embalsado aumentó durante la borrasca del orden de 1.000 hm<sup>3</sup>. Los hidrogramas muestran entre 1 y 3 puntas. En el cálculo de daños de los PGRI, no se estudian borrascas de 7 días de duración por lo que la consideración de volúmenes de agua tan importantes como los interceptados por las presas y la secuencia encadenada de varias puntas requerirá trabajos de detalle que no se contemplan en los cálculos generales de los mapas de peligrosidad y riesgo de inundación. Por lo que los daños evitados teóricos pueden ser mayores que los calculados.

- No es posible sumar los daños que producen las distintas puntas por tramo ARPSI, ya que el valor residual de lo dañado no está estudiado.
- Los valores de referencia de las actividades económicas utilizados en la elaboración de los mapas de riesgo de los PGRI se obtienen aplicando precios medios a los usos del suelo según el Sistema de Información sobre Ocupación del Suelo de España (SIOSE, <https://www.siose.es/presentacion>). En otros ámbitos se disponen de varios ejemplos de análisis coste/beneficio de varias obras hidráulicas incluidas en el PGRI y PH de la Demarcación correspondiente, calculados en el trabajo de la DGA *“Elaboración de los estudios de coste-beneficio, viabilidad y priorización de las obras estructurales incluidas en los planes de gestión de riesgo de inundación y planes hidrológicos de cuenca”*. En dicho estudio el valor de los daños se calculó a partir de la información catastral y siguiendo la *“Guía metodológica para el análisis coste-beneficio de actuaciones estructurales de defensa frente a inundaciones”* del CEDEX y donde se pudo comparar con los valores del SNCZI, las diferencias obtenidas fueron lógicas.
- En la Demarcación Hidrográfica del Guadiana existen multitud de pequeñas presas, así como grandes presas de concesionario, que en su conjunto pueden reducir los caudales en ciertos tramos ARPSI situados aguas abajo de ellas. No se han podido valorar los daños evitados por ellas, debido a que no existe un punto de control específico del SAIH o datos de los caudales de entrada a los embalses. Hubiera sido necesario realizar modelos hidrológicos específicos que, por otro lado, no variarían el orden de magnitud de los resultados obtenidos ya que su capacidad de laminación no es comparable a la que poseen las presas controladas por el SAIH. En cuanto a riesgos, según el PGRI, el eje del río Guadiana y del río Azuer son los que concentran los mayores daños.
- Por último, hay que recordar que la longitud de los tramos ARPSI que es muy dispar, por lo que al analizar los resultados no están normalizados por kilómetro de cauce, sino que muestran los valores acumulados en toda la longitud de los mismos.