



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 GUADALQUIVIR



HOJA DE CONTROL DE CALIDAD

PROYECTO	PAPEL DE LAS PRESAS EN LA GESTIÓN DE LA BORRASCA NELSON. ANÁLISIS DE DAÑOS EVITADOS EN LA D.H. GUADALQUIVIR					
DOCUMENTO	INFORME					
IDENTIFICADOR	Informe Guadalquivir Nelson_V07.docx					
AUTOR	FIRMA	EMB				
	FECHA	31/05/24				
CHEQUEO	FIRMA	RGM	AVM	RGM		
	FECHA	03/06/24	06/06/24	07/06/24		
VERIFICACIÓN	FIRMA					
	FECHA					
DESTINATARIO	Dirección General del Agua					
						Junio 2024

ÍNDICE

MEMORIA

1. RESUMEN DEL TRABAJO REALIZADO Y CONCLUSIONES	1
2. ANTECEDENTES	4
2.1. Borrasca Nelson	4
2.1.1. Evolución de la borrasca	4
2.1.2. Avisos emitidos y principales observaciones de AEMET	5
2.1.3. Impacto por demarcaciones hidrográficas	6
2.2. Información recopilada	8
3. OBJETIVO DEL ESTUDIO Y SELECCIÓN ÁREA AFECTADA	9
4. ESQUEMA METODOLÓGICO	12
5. TAREAS REALIZADAS Y RESULTADOS	15
5.1.1. Identificación de los tramos ARPSI situados aguas abajo de presas	15
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 25 tramos ARPSI seleccionados	17
5.1.3. Caudales punta al final de cada tramo ARPSI	21
5.1.4. Daños producidos por desbordamiento de cauces y daños evitados gracias a las presas durante la borrasca Nelson	26
6. CONSIDERACIONES FINALES	35

Figuras

Figura 1. Distribución de los daños a la actividad económica y población protegida durante Nelson gracias al efecto de laminación de caudales que producen las presas	2
Figura 2. Estado de la escasez, meses de febrero y marzo. Fuente: Informes mensuales de Sequías de la Confederación Hidrográfica del Guadalquivir	3
Figura 3. 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	4
Figura 4. Fotogramas de la evolución de Nelson durante los días 26, 28, 29 de marzo y 1 de abril. Fuente: AEMET	5
Figura 5. Distribución anual del volumen embalsado en las DD. HH. del Guadalquivir, Guadiana, Tajo y Duero. Fuente: Boletín Hidrológico Digital del MITECO	6
Figura 6. 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.	7
Figura 7. Precipitación acumulada entre el 25 de marzo y el 1 de abril de 2024. Puntos de aviso hidrológico y umbral alcanzado. Fuente: Informe Episodio NELSON – Borrador, C.H. del Guadalquivir	8
Figura 8. Principales cauces y grandes presas de la Demarcación Hidrográfica del Guadalquivir	10

Figura 9. Principales cauces, presas y presas con punto de control SAIH de la Demarcación Hidrográfica del Guadalquivir	11
Figura 10. Esquema metodológico	13
Figura 11. Ejemplo de curvas de cuantiles de caudales máximos en un punto final de un tramo ARPSI según CAUMAX y según el SNCZI.	14
Figura 12. Ejemplo de curvas de Daños/Caudal y Población afectada/Caudal según el SNCZI en el mismo punto que la imagen anterior	14
Figura 13. Tramos ARPSI (2016) de la Demarcación Hidrográfica del Guadalquivir. Tramos inicialmente seleccionados situados aguas abajo de presas (65). El resto en color azul	15
Figura 14. Tramos ARPSI de la Demarcación Hidrográfica del Guadalquivir (65). Tramos inicialmente seleccionados situados aguas abajo de presas, con código.....	16
Figura 15. Tramos ARPSI y puntos de control del SAIH de la Demarcación Hidrográfica del Guadalquivir. Tramos inicialmente seleccionados situados aguas abajo de presas (65)	16
Figura 16. Tramos ARPSI y puntos de control del SAIH de la Demarcación Hidrográfica del Guadalquivir. Fuente: SAIH de la C.H. del Guadalquivir	18
Figura 17. Oscilación de niveles aguas abajo del punto de control H9. Fuente: SAIH del Guadalquivir	20
Figura 18. ARPSI seleccionadas y puntos de control del SAIH del Guadalquivir	21
Figura 19. Hidrograma registrado y restituido al régimen natural del río Guadalquivir en Villanueva de la Reina, estación de aforo A59. Fuente: SAIH de la C.H. del Guadalquivir	21
Figura 20. Hidrograma registrado y restituido al régimen natural del río Guadalquivir en Lora del Río, marco de control M47. Fuente SAIH: de la C.H. del Guadalquivir	22
Figura 21. Hidrograma registrado (desembalsado) durante el evento e hidrograma restituido de entrada al embalse. Presa de Guadalmellato. Fuente: SAIH de la C.H. del Guadalquivir	22
Figura 22. Zonas inundables correspondientes a T10, T100 y T500 del SNCZI. Detalle de los tramos ARPSI MG014-01 y MG014-04, Córdoba.....	25
Figura 23. Periodo de retorno del caudal en régimen natural restituido por tramo ARPSI.....	25
Figura 24. Hidrogramas del Guadalquivir por el punto I11 Fuente Palmera y del río Bembézar completo. Fuente de datos: SAIH del Guadalquivir	26
Figura 25. Periodos de retorno/caudal en un punto o sección de cauce.....	29
Figura 26. Daños evitados en el mismo punto o sección de cauce	30
Figura 27. Población protegida en el mismo punto o sección de cauce	30
Figura 28. Daños evitados a las actividades económicas gracias a la reducción de caudales que produjeron las presas.....	32
Figura 29. Población que hubiera sido afectada por el caudal en régimen natural por tramo ARPSI	32
Figura 30. Daños a actividades económicas en la zona inundable correspondiente a T500. Detalle de los tramos ARPSI MG014-01 y MG014-04, Córdoba	33

Tablas

Tabla 1. Tramos ARPSI seleccionados situados aguas abajo de presas que laminaron la borrasca Nelson de forma significativa.....	17
Tabla 2. Tramos ARPSI seleccionados situados aguas abajo de presas que laminaron la borrasca Nelson de forma significativa.....	20
Tabla 3. 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.....	24
Tabla 4. Caudales a partir de los cuales empiezan a producirse daños en las ARPSI.....	28
Tabla 5. Caudal de daño cero finalmente adoptado en cada tramo ARPSI.....	29
Tabla 6. Daños causados por la borrasca Nelson a la actividad económica y población que podría haberse afectado.....	31
Tabla 7. Daños producidos y evitados por la borrasca Nelson.....	33
Tabla 8. Daños producidos por los caudales correspondientes a los periodos de retorno de 10, 100 y 500 años.....	33
Tabla 9. Daños evitados a puntos de especial importancia por los caudales correspondientes a 100 años de periodo de retorno en los tramos ARPSI seleccionados.....	35
Tabla 10. Valor de daños alcanzados en Écija.....	36

MEMORIA

1. RESUMEN DEL TRABAJO REALIZADO Y CONCLUSIONES

La borrasca Nelson, cuyos efectos impactaron prácticamente en todo el país, comenzó el 27 de marzo de 2024 y acabó el 1 de abril aunque sus secuelas hidrológicas siguieron notándose en los días posteriores. En la Demarcación Hidrográfica del Guadalquivir dichos impactos se registraron principalmente en los cauces de la margen derecha del río Guadalquivir y en el propio río. Además, se produjeron otros fenómenos localizados. Las reservas de agua embalsada aumentaron 1.200 hm³ durante este episodio. En el momento de la llegada de Nelson, en su conjunto, los embalses se encontraban al 30 % de su capacidad de almacenamiento, habiéndose declarado en la Demarcación la situación de sequía.

El objetivo del presente estudio consiste en valorar los daños evitados y la población protegida durante este evento gracias a la reducción de caudales punta que produjo la laminación de las presas existentes.

Como resumen del problema de inundaciones en el ámbito del eje del Guadalquivir, se puede resaltar que hasta la construcción del desvío entre 1902 al 1947, el río se desbordó en 18 ocasiones en Sevilla. La crecida más importante del siglo XX fue la de febrero de 1963, donde se registró un caudal de 5.400 m³/s en Córdoba y 6.700 m³/s en Sevilla. La regulación de la cuenca, así como de todos sus afluentes, ha impedido que se vuelvan a alcanzar caudales de esa magnitud. Destacan las inundaciones de diciembre de 1996 y 1997, en las que en Sevilla se registraron 3.810 m³/s y 3.234 m³/s, respectivamente. Las últimas crecidas importantes han sido las ocurridas en el 2010: en febrero el caudal del Guadalquivir llegó a 2.400 m³/s en Córdoba y 3.174 m³/s en Sevilla y en diciembre el caudal del Genil superó los 1.000 m³/s y el del Guadalquivir registró 3.584 m³/s en Sevilla. Durante estas avenidas el río Guadalquivir no se desbordó a su paso por Sevilla. Las ciudades de Córdoba, Andújar, Montoro y Lora del Río fueron afectadas por las inundaciones en diciembre de 1996, diciembre de 1997 y febrero y diciembre de 2010.

En los días posteriores a la borrasca Nelson el equipo del Sistema Automático de Información Hidrológica (en adelante SAIH) del Guadalquivir validó los hidrogramas reales registrados en los puntos de control del SAIH y restituyó dichos hidrogramas al régimen natural, es decir, los que hubieran pasado por el río Guadalquivir y principales afluentes en un escenario hipotético en el que se considera que las presas de la Demarcación no hubieran sido construidas.

De todos los tramos de cauces dónde se originan áreas de riesgo potencial significativo por inundación (en adelante ARPSI), incluidos en el Plan de gestión de riesgos por inundación (en adelante PGRI) de la Demarcación Hidrográfica del Guadalquivir, se han identificado aquellos tramos que están situados aguas abajo de las presas. Posteriormente se han seleccionado aquellos donde el impacto de Nelson hubiera sido significativo gracias al análisis de los hidrogramas facilitados en los puntos de control por el SAIH. Con ayuda del equipo del SAIH se ha asignado un punto de control SAIH que caracterizara los hidrogramas en los puntos finales de cada tramo ARPSI de los 25 finalmente seleccionados. Cuando no ha sido posible asignar ningún punto de control, el equipo del SAIH ha calculado los hidrogramas en la situación real y también aquellos que se hubieran producido en régimen natural restituido, es decir, en el escenario hipotético en el que no se consideran las presas.

El hecho de que la principal área afectada por la lluvia fuera la margen derecha del río Guadalquivir, que es donde se sitúan la mayoría de las presas importantes de la Demarcación, produjo una disminución drástica de los caudales de su eje, sobre todo desde la presa de Mengíbar hasta la desembocadura del Genil.

Como resumen, el caudal punta que hubiera pasado por el río Guadalquivir entre Mengíbar y su desembocadura hubiera sido equivalente al de 100 y 400 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 los visores del Sistema Nacional de Cartografía de Zonas Inundables (en adelante SNCZI) (<https://sig.mapama.gob.es/snczi/>) y de la Confederación Hidrográfica del Guadalquivir (<https://idechg.chguadalquivir.es/nodo/Visualiza/map.html>). En el tramo bajo del Guadal-

quivir estos valores descienden a un rango situado entre los 19 y los 32 años de periodo de retorno. De los tramos ARPSI situados en la margen derecha, destacan las reducciones de caudal de los ríos Viar y Bem-bézar. En otros ríos afectados como Guadalimar, Jándula, Yeguas, Guadalmellato, Guadiato, Huesna, Bem-bézar, Viar, etc. donde existen presas importantes, sin embargo, no se han inventariado dentro del PGRI ningún tramo ARPSI, por lo que su efecto se valora directamente en el impacto al eje del Guadalquivir.

El periodo de retorno de los caudales reales registrados alcanzó valores situados entre 3,6 y 5,8 años, en el eje del río Guadalquivir desde Mogón, núcleo de población situado aguas abajo de la presa del Tranco de Beas, hasta la presa de la central de Alcalá del Río, según esta misma base comparativa de cuantiles.

A partir de los caudales máximos de los hidrogramas facilitados por el SAIH de la Confederación hidrográ-fica del Guadalquivir 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 que registraron los puntos de control del SAIH y el escenario hipotético que representa a un régimen natural restituído en el que no se han considerado las principales presas de la Demarcación.

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 Hidrográ-fica del Guadalquivir, se reparte entre los municipios de Córdoba, El Carpio, Lora del Río, Andújar, Villanueva del Río y Minas, Cantillana, Sevilla, La Rinconada, Alcalá del Río, Brenes, Villaverde del Río, Pedro Abad y Marmolejo. En cuanto a la población protegida, los municipios en los que se encuentra el 90% de los habitantes potencialmente afectados son Córdoba, Sevilla, Lora del Río, Cantillana, Villanueva del Río y Minas, La Rinconada, Alcalá del Río, Brenes, Villaverde del Río y Andújar.

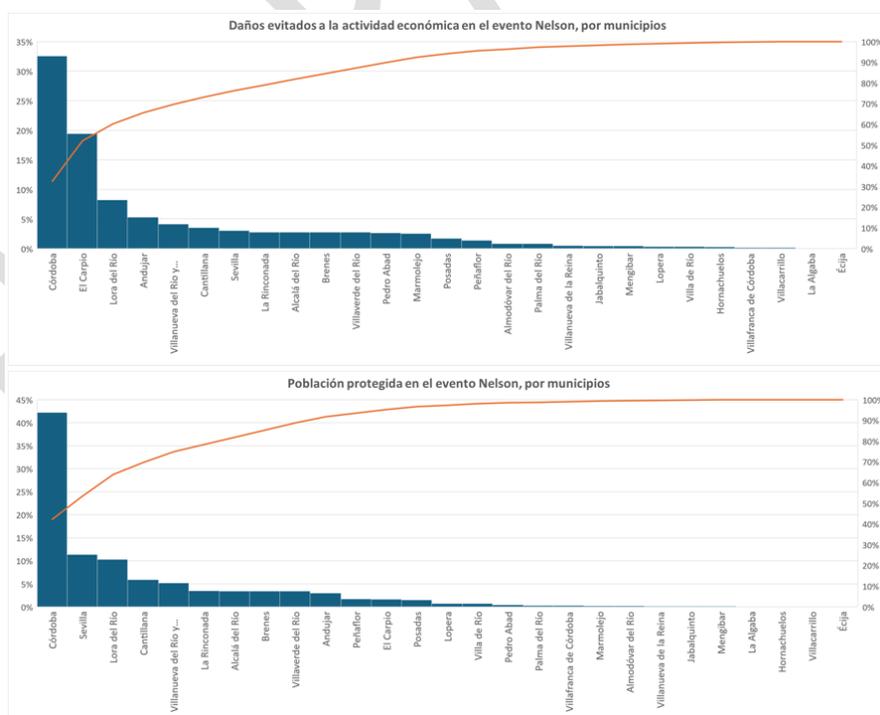


Figura 1. Distribución de los daños a la actividad económica y población protegida durante Nelson gracias al efecto de laminación de caudales que producen las presas.

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 restituído, 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 6.161 millones de euros y la población que ha sido protegida se estima en el entorno de 39.300 personas.

Como referencia, según los mapas de riesgo de inundación del PGRI de la Demarcación Hidrográfica del Guadalquivir, el valor de los daños en los 25 tramos ARPSI considerados asciende a más de 10.254 millones de euros para el periodo de retorno de 100 años. Donde más daños teóricos se acumulan según el PGRI es en el Bajo Guadalquivir y es precisamente en esta zona donde menos impactó Nelson. En el escenario hipotético estudiado sobre los daños que se hubieran producido durante Nelson, al caudal punta de la mayoría de los 25 tramos ARPSI analizados le corresponde un valor del periodo de retorno que supera el equivalente a 100 años, salvo en el Bajo Guadalquivir donde el valor del caudal punta se redujo considerablemente debido a que el río Genil prácticamente no aportó caudal y a que, al ser un episodio largo, en la mayoría de los afluentes desde el río Guadiato hacia aguas abajo del Guadalquivir la punta se produjo el día 29 de marzo, mientras que la mayor de las puntas que sufrió el río Guadalquivir se registró el día 1 de abril.

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 crítica. Según los Informes mensuales de Sequías de la Confederación Hidrográfica del Guadalquivir, en el mes de febrero de 2024 el índice del estado global de la escasez de la Demarcación Hidrográfica del Guadalquivir, que valora las reservas hídricas de los embalses, alcanzó el valor de 0,165. La situación global era de ALERTA. En el mes de marzo, tras la borrasca Nelson, el valor del índice pasó a 0,284, continuando en ALERTA. Se pasó de tener 7 Unidades Territoriales a 2 en EMERGENCIA.

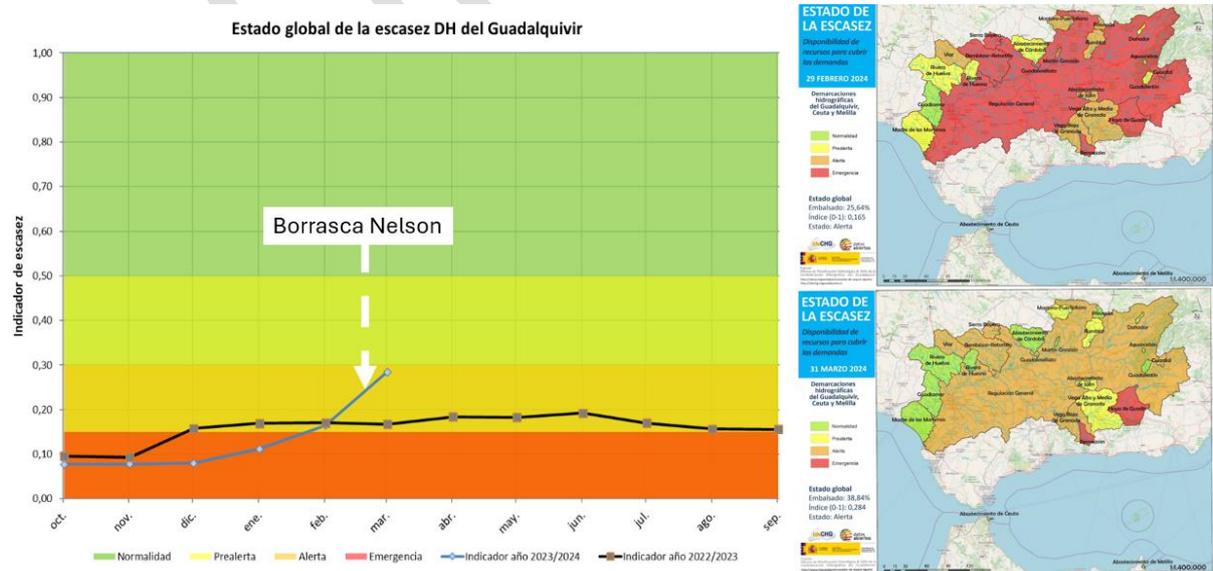


Figura 2. Estado de la escasez, meses de febrero y marzo. Fuente: Informes mensuales de Sequías de la Confederación Hidrográfica del Guadalquivir

Por último, conviene destacar que los daños evitados ascienden a más de 6.000 millones de euros, mientras que el valor patrimonial de las presas de la Demarcación Hidrográfica del Guadalquivir asciende a 3.700 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-presasembalses-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.

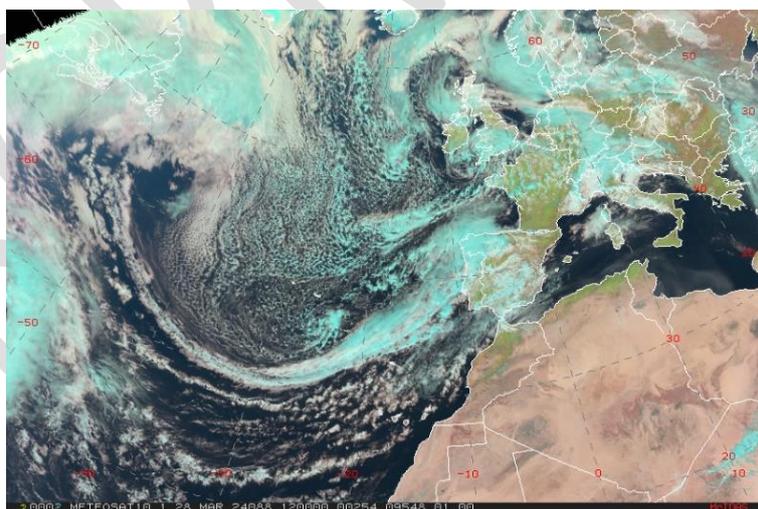


Figura 3. Borrasca Nelson localizada al sur de Irlanda las 12 UTC del día 28 de marzo de 2024. (Imagen RGB natural obtenida por el satélite Meteosat-11). Fuente: AEMET

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).

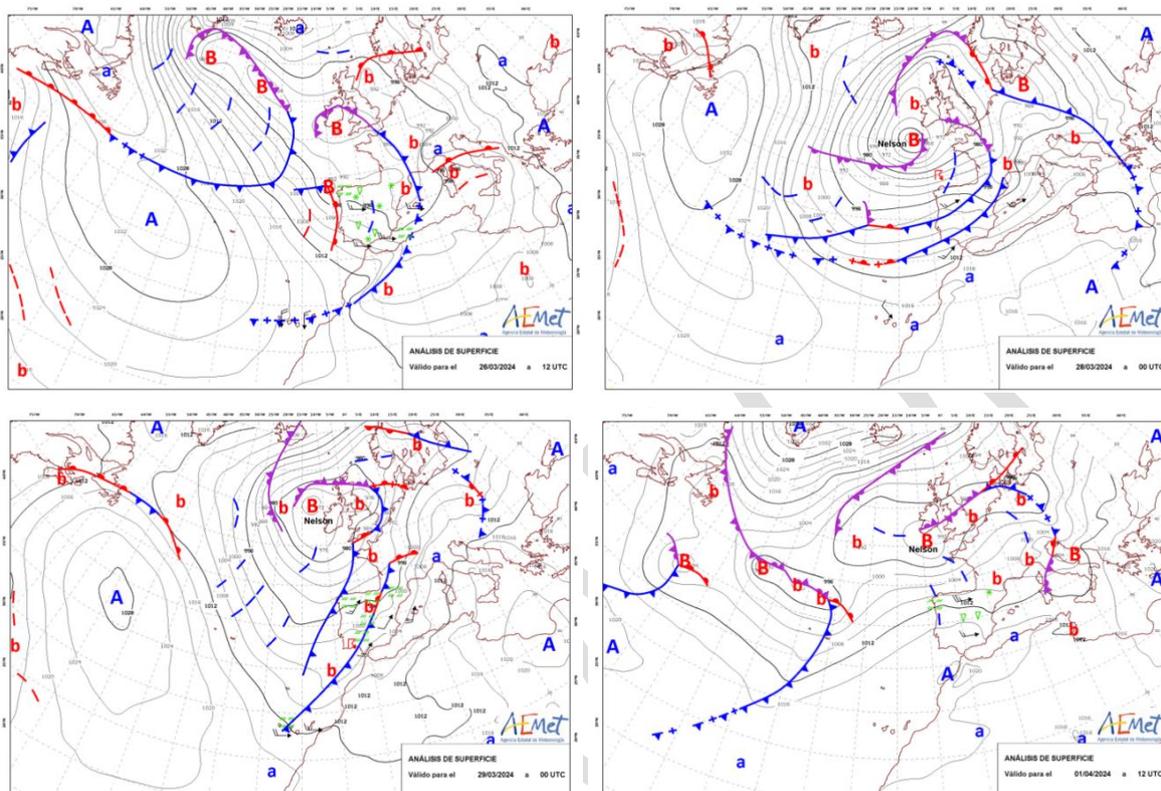


Figura 4. Fotogramas de la evolución de Nelson durante los días 26, 28, 29 de marzo y 1 de abril. Fuente: AEMET

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, los mayores incrementos debidos a la borrasca Nelson (semanas 13 y 14 de 2024) 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 aumento superó los 1.200 hm³, en el caso de la D.H. del Guadiana sobrepasó los 1.000 hm³ y en las DD.HH. del Tajo y del Duero registraron un aumento del volumen embalsado situado en el entorno de los 900 hm³ y 800 hm³, respectivamente.

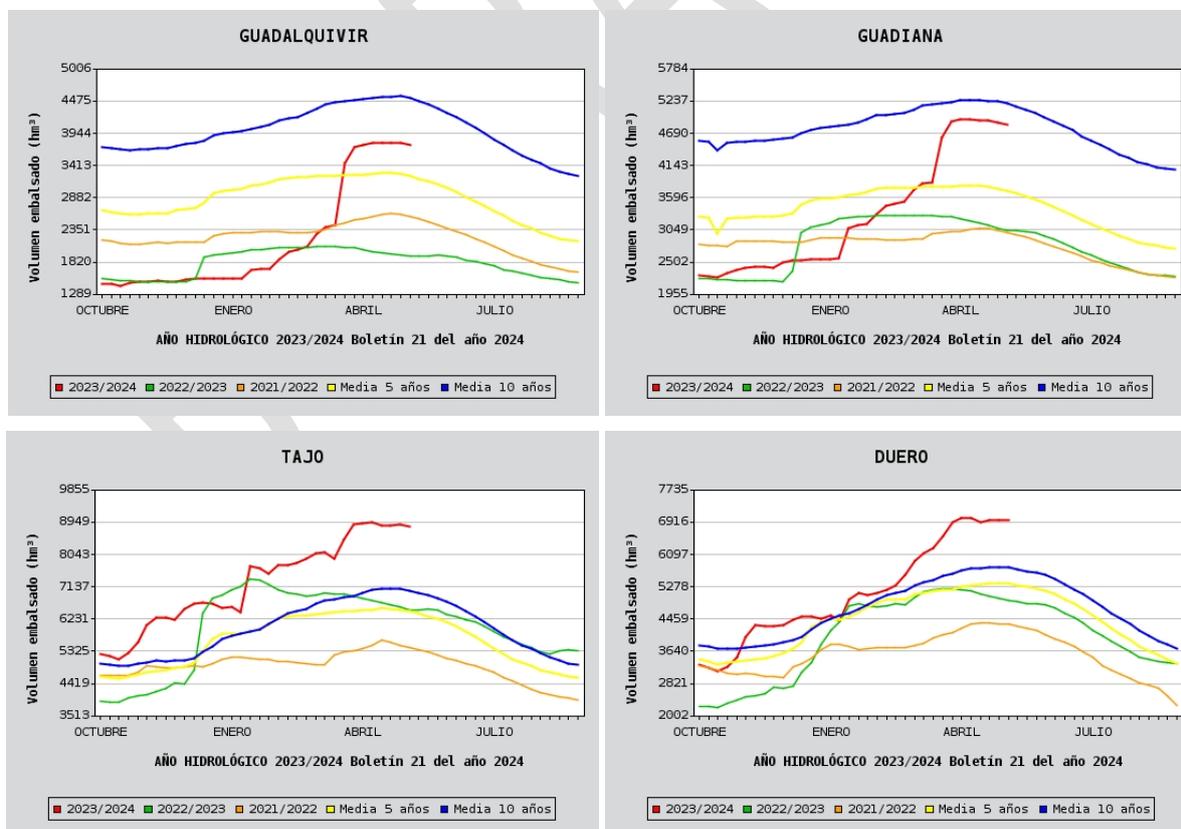


Figura 5. Distribución anual del volumen embalsado en las DD. HH. del Guadalquivir, Guadiana, Tajo y Duero. Fuente: Boletín Hidrológico Digital del MITECO

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.

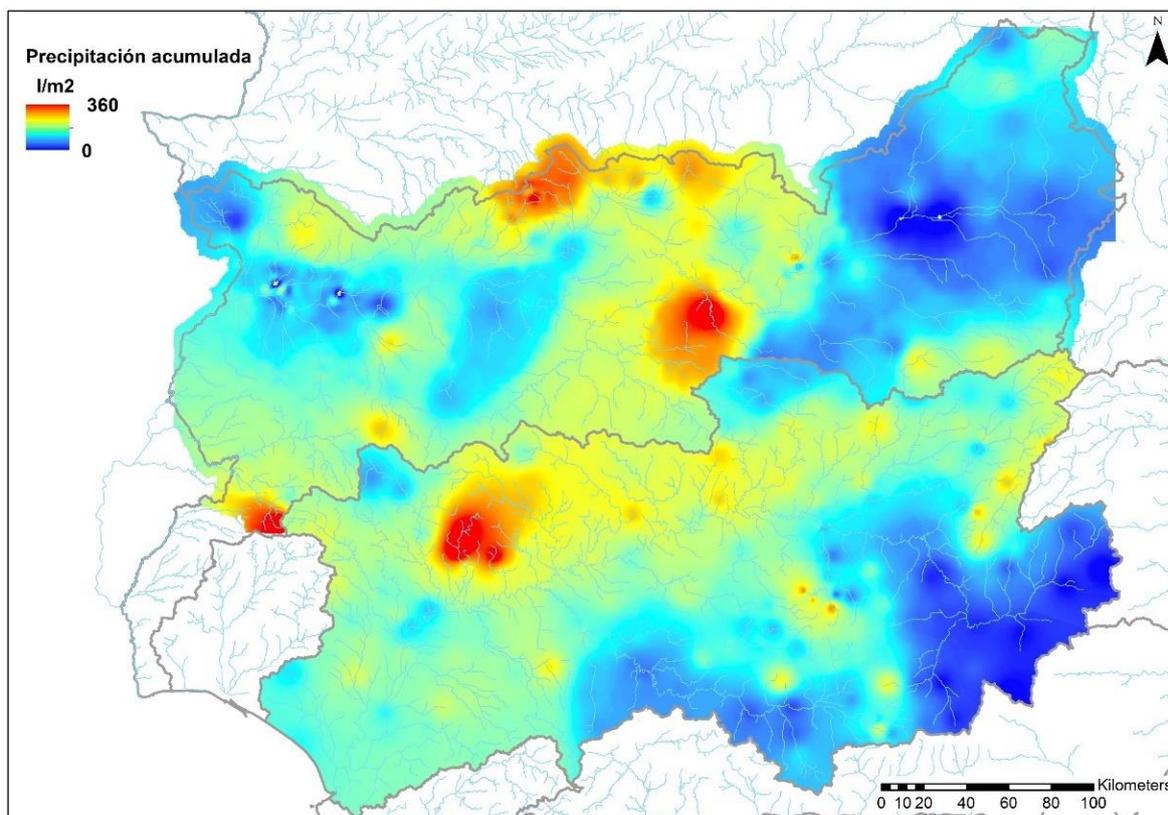


Figura 6. Distribución espacial de la lluvia acumulada en las DD. HH. del Guadalquivir y Guadiana. Elaborado a partir de datos ráster del SAIH de las CC.HH.

En este informe se ha evaluado de forma específica el impacto de los efectos de la borrasca Nelson en la Demarcación Hidrográfica del Guadalquivir.

El SAIH de la C.H. del Guadalquivir durante el episodio fue activando avisos hidrológicos a partir de los datos que se iban recibiendo desde los puntos de control del SAIH y de las previsiones de precipitación en las horas siguientes. En la siguiente imagen es posible observar los puntos de control en los que se activaron avisos hidrológicos durante el episodio y el umbral máximo alcanzado (amarillo – seguimiento, naranja – vigilancia y rojo – desbordamiento del cauce).

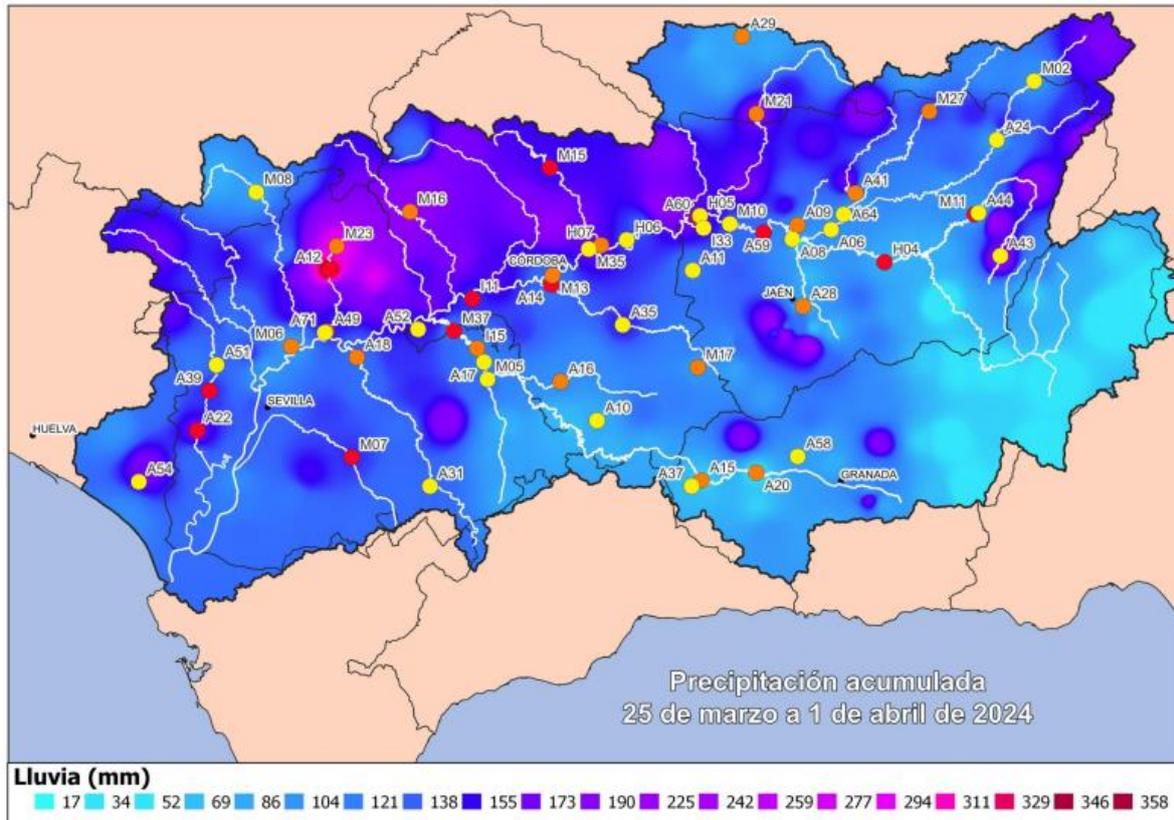


Figura 7. Precipitación acumulada entre el 25 de marzo y el 1 de abril de 2024. Puntos de aviso hidrológico y umbral alcanzado. Fuente: Informe Episodio NELSON – Borrador, C.H. del Guadalquivir

De forma general, las precipitaciones se concentraron en la margen derecha del Guadalquivir y en la Sierra de Cazorla. Los avisos hidrológicos en color rojo identifican aquellos puntos en los que se prevén desbordamientos que pueden causar daños. Durante Nelson, la gran mayoría de las activaciones de los avisos en rojo se ubicaron en el eje del Guadalquivir y en su margen derecha.

2.2. Información recopilada

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

- Datos facilitados por el SAIH de la Confederación Hidrográfica del Guadalquivir:
 - Mapa de precipitaciones acumuladas.
 - Mapa con las ARPSI estudiadas y los puntos de control del SAIH empleados para ello.
 - Hoja de cálculo con los hidrogramas horarios de los 49 principales embalses de la cuenca.
 - Hoja de cálculo con los caudales registrados en los principales puntos de control del tronco del río Guadalquivir y en un punto del río Genil (Écija) y los que se hubieran registrado en régimen natural.
 - Informe Episodio NELSON – Borrador.
 - Presentación episodio Nelson.
- 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 Guadalquivir.

- 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_geoetrs89.shp) y presas (egis_presa_geoetrs89.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 DEL ESTUDIO Y SELECCIÓN ÁREA AFECTADA

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 Guadalquivir como consecuencia de las inundaciones asociadas a los efectos de la borrasca Nelson en el escenario hipotético de que no existieran las presas que laminaron dichas inundaciones.

En el ámbito de la Demarcación Hidrográfica del Guadalquivir se ubican unas 205 presas, de ellas 168 están catalogadas como grandes presas de titularidad estatal o de concesionario y en 59 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 Guadalquivir.

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 analizado dos escenarios:

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

La diferencia entre los resultados que se han obtenido en ambos escenarios se considera que representan los daños evitados y la población protegida como consecuencia de la acción reductora de caudales punta que realizan las presas.

Para calcular los daños evitados por la laminación de las presas se han identificado los tramos ARPSI situados aguas abajo de estas, el caudal punta que llevó el cauce en el punto final de cada uno de los 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.

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 Guadalquivir 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).

A continuación 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 para 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 está calculado teniendo en cuenta las presas y el segundo en régimen natural.

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.

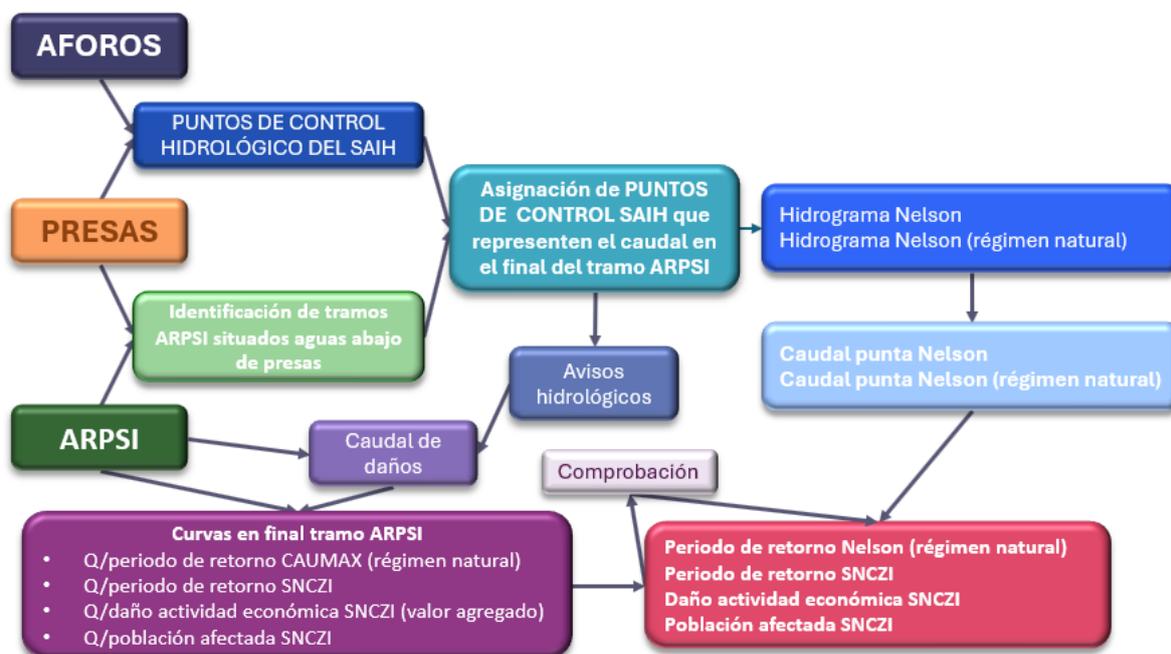


Figura 10. Esquema metodológico

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 Guadalquivir (aforos).
 - Escenario real. Los datos facilitados corresponden a los hidrogramas observados o registrados en los puntos de control de SAIH, validados por el equipo técnico de la Demarcación Hidrográfica del Guadalquivir.
 - Escenario en régimen natural restituido. Estos hidrogramas de las avenidas teóricas que hubieran ocurrido en el caso de que las presas no hubieran laminado y almacenado parte de los caudales entrantes han sido calculados por el equipo técnico de la Demarcación Hidrográfica del Guadalquivir.
- Inventario de presas del MITECO.
- Datos del PGRI de la D.H. del Guadalquivir 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 Guadalquivir.
 - Los cuantiles de caudales máximos diarios por tramo ARPSI, calculados por la Confederación Hidrográfica del Guadalquivir dentro de los contratos para la elaboración de los mapas de peligrosidad por inundación asociados al PGRI de la Demarcación Hidrográfica del Guadalquivir. Los tramos ARPSI tienen asignado un juego de caudal 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.
 - Los cuantiles de los caudales máximos en régimen natural restituidos de CAUMAX, en particular, los correspondientes a los mismos puntos finales de cada tramo ARPSI.

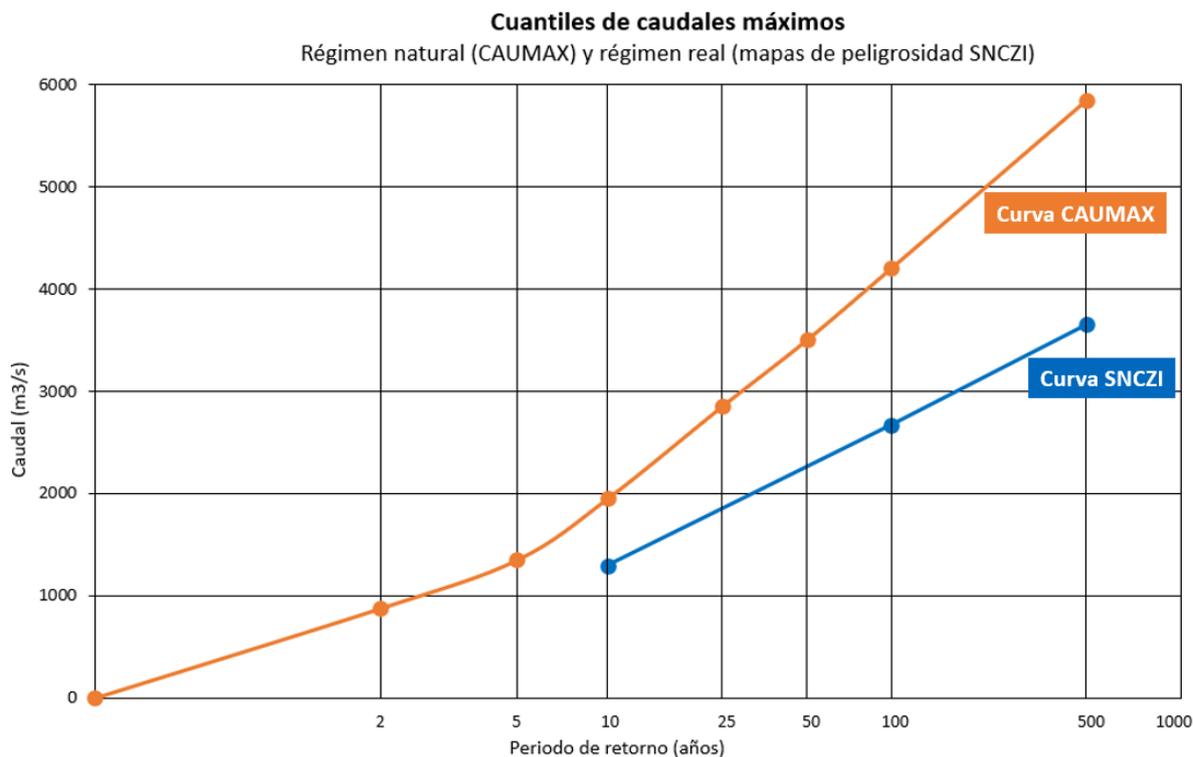


Figura 11. Ejemplo de curvas de cuantiles de caudales máximos en un punto final de un tramo ARPSI según CAUMAX y según el SNCZI.

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

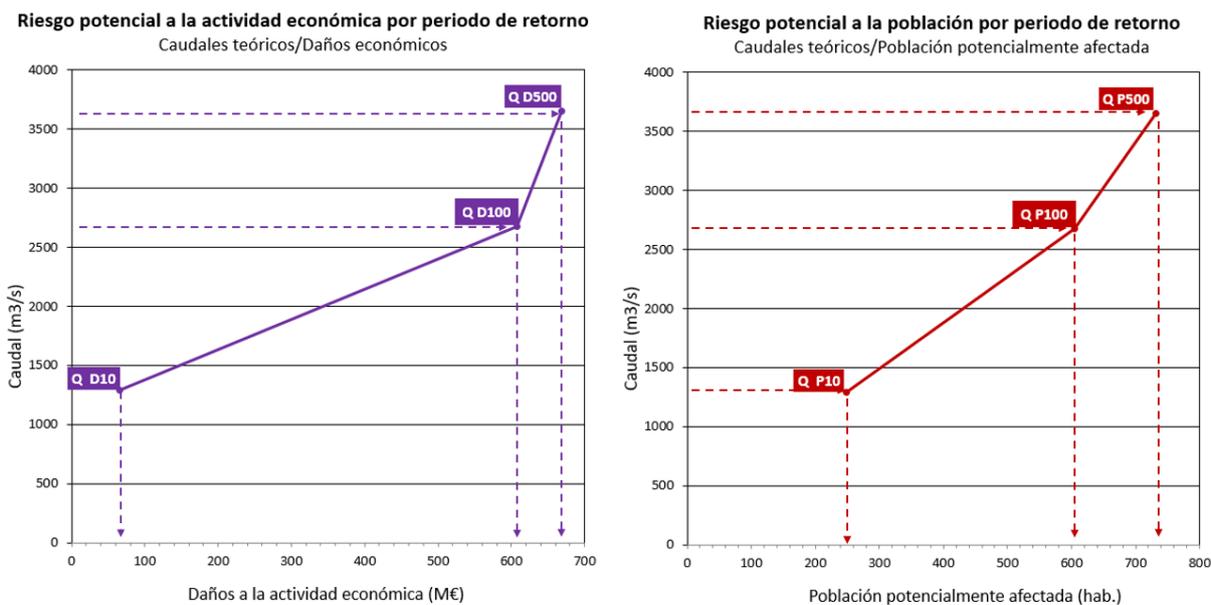


Figura 12. Ejemplo de curvas de Daños/Caudal y Población afectada/Caudal según el SNCZI en el mismo punto que la imagen anterior

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 Guadalquivir: SAIHGualqCompleto.shp, elaborado a partir de la información de la web del SAIH de la Confederación Hidrográfica del Guadalquivir.
- Tramos ARPSI: ARPSIS_2C_Visor_20220624.shp, disponible en la página web del MITECO. En total se han identificado 216 tramos ARPSI en la D.H. del Guadalquivir.

De los 216 tramos ARPSI incluidos en el PGRI (2º ciclo) de la Demarcación Hidrográfica del Guadalquivir, se han identificado inicialmente 65 tramos situados aguas abajo de las presas. La primera de las siguientes imágenes muestra la situación de todos los tramos ARPSI de la Demarcación (216), la segunda muestra la selección de tramos ARPSI situados aguas abajo de las presas (65), el código del tramo y su punto de desagüe (punto final) y en la tercera imagen se pueden apreciar estos 65 tramos ARPSI junto con los puntos de control del SAIH.

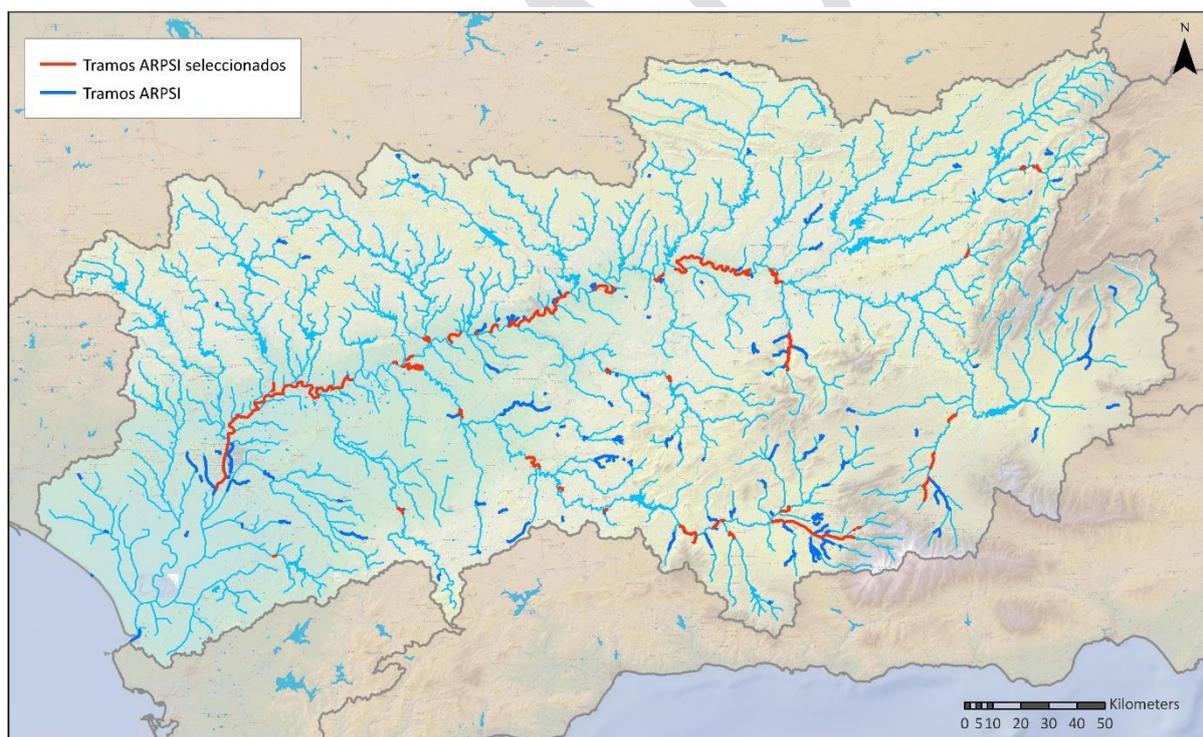


Figura 13. Tramos ARPSI (2016) de la Demarcación Hidrográfica del Guadalquivir. Tramos inicialmente seleccionados situados aguas abajo de presas (65). El resto en color azul



Figura 14. Tramos ARPSI de la Demarcación Hidrográfica del Guadalquivir (65). Tramos inicialmente seleccionados situados aguas abajo de presas, con código

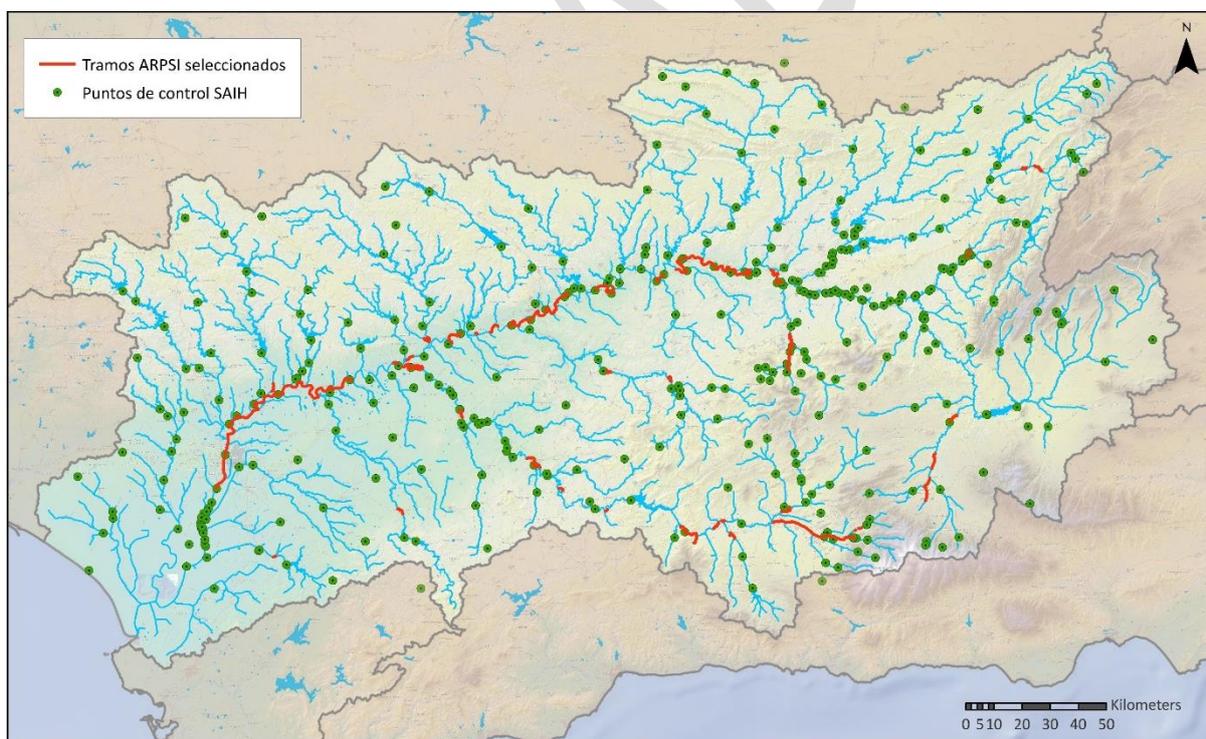


Figura 15. Tramos ARPSI y puntos de control del SAIH de la Demarcación Hidrográfica del Guadalquivir. Tramos inicialmente seleccionados situados aguas abajo de presas (65)

Tras la revisión de esta información, el equipo del SAIH del Guadalquivir ha seleccionado aquellos tramos ARPSI situados aguas abajo de presas en los que se produjeron reducciones en los caudales de forma significativa, debido a su situación y al nivel de embalse o embalses situados aguas arriba del tramo.

Los tramos ARPSI seleccionados finalmente son los 25 que se recogen en la siguiente tabla:

Código tramo ARPSI	Nombre tramo ARPSI	Longitud (km)
ES050_APSFR_AG014_01	Río Guadalquivir en Mogón	3,61
ES050_APSFR_AG054_01	Río Guadalquivir en Mengibar	10,74
ES050_APSFR_AG067_01	Villanueva de la Reina	5,28
ES050_APSFR_AG068_01	Río Guadalquivir	7,11
ES050_APSFR_AG069_01	Río Guadalquivir en Andújar	12,94
ES050_APSFR_AG069_02	Guadalquivir aguas arriba Presa Marmolejo	11,59
ES050_APSFR_MG008_02	Río Guadalquivir en Marmolejo	1,79
ES050_APSFR_MG008_01	Río Guadalquivir Poblado de San Julián	10,65
ES050_APSFR_MG005_01	Río Guadalquivir	5,19
ES050_APSFR_MG037_01	Río Guadalquivir	5,39
ES050_APSFR_MG037_02	Río Guadalquivir en San Antonio	5,22
ES050_APSFR_MG023_01	Río Guadalquivir	1,73
ES050_APSFR_MG014_01	Río Guadalquivir	15,79
ES050_APSFR_MG014_04	Río Guadalquivir en Córdoba	12,77
ES050_APSFR_MG015_01	Río Guadalquivir a su paso por Córdoba, aguas abajo	9,26
ES050_APSFR_MG010_06	Río Guadalquivir en Los Mochos y Encinarejo	5,66
ES050_APSFR_MG047_02	Río Guadalquivir II	1,66
ES050_APSFR_MG047_01	Río Guadalquivir	8,63
ES050_APSFR_MG070_01	Bembézar	6,06
ES050_APSFR_MG001_02	Río Guadalquivir	3,61
ES050_APSFR_BG015_01	Cantillana	4,02
ES050_APSFR_MG044_01	Río Genil	4,52
ES050_APSFR_BG004_01	Río Guadalquivir	70,48
ES050_APSFR_BG004_03	Guadalquivir en Rinconada	7,52
ES050_APSFR_BG013_01	Río Guadalquivir entre Alcalá del Río y La Puebla	24,38

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

El tramo ARPSI con código ES050_APSFR_BG013-01 ha sido añadido posteriormente como se justifica en los puntos siguientes.

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 25 tramos ARPSI seleccionados

Para caracterizar en los 25 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 efec-

to de las presas y embalses en la reducción de los caudales punta, se han utilizado los hidrogramas registrados en los puntos de control del SAIH. Este trabajo de asignación de un punto de control a los puntos finales de cada tramo ARPSI ha sido realizado por el equipo del SAIH de la Demarcación Hidrográfica del Guadalquivir con apoyo del equipo INPROES-HGM de forma iterativa a partir de la primera propuesta de 65 tramos ARPSI hasta llegar a los 25 tramos finalmente analizados.

En estos 25 se incluyen únicamente 24 tramos ARPSI en los que impactó Nelson de forma significativa, más el tramo de Écija (ES050_APSFR_MG044_01) debido a la pequeña magnitud de los caudales punta de los hidrogramas y precipitación caída en la cuenca. Para conocer 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.

La siguiente imagen facilitada por el SAIH muestra los 25 tramos ARPSI seleccionados y el punto de control SAIH que caracteriza aproximadamente el caudal de cada tramo en su punto final.

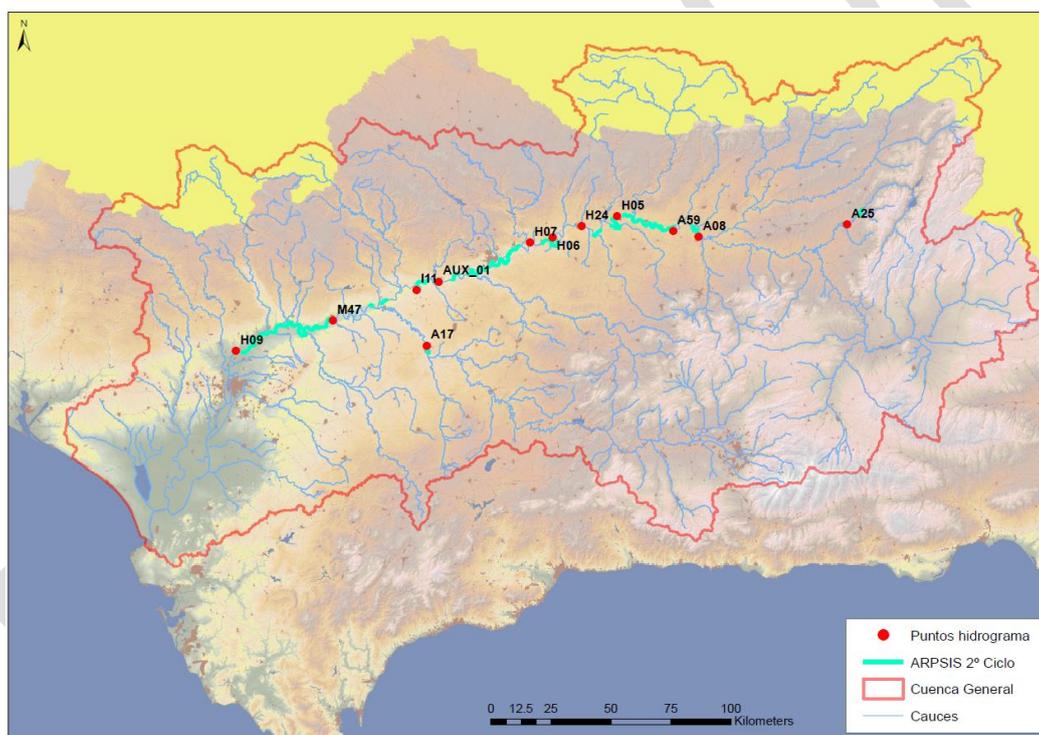


Figura 16. Tramos ARPSI y puntos de control del SAIH de la Demarcación Hidrográfica del Guadalquivir.
Fuente: SAIH de la C.H. del Guadalquivir

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 es el siguiente:

Código ARPSI	Nombre tramo ARPSI	Punto de control SAIH	Nombre Punto de control SAIH	Observaciones SAIH	Observaciones
AG014-01	Río Guadalquivir en Mogón	A25	Río Guadalquivir en Santo Tomé		
AG054-01	Río Guadalquivir en Mengíbar	A08	Río Guadalquivir en Mengíbar		

Código ARPSI	Nombre tramo ARPSI	Punto de control SAIH	Nombre Punto de control SAIH	Observaciones SAIH	Observaciones
AG067-01	Villanueva de la Reina	A59	Río Guadalquivir en Villanueva de la Reina		
AG068-01	Río Guadalquivir	A59	Río Guadalquivir en Villanueva de la Reina		
AG069-01	Río Guadalquivir en Andújar	A59	Río Guadalquivir en Villanueva de la Reina		
AG069-02	Guadalquivir aguas arriba Presa Marmolejo	H05	Marmolejo	Aguas abajo de confluencia con río Jándula	
MG008-02	Río Guadalquivir en Marmolejo	H05	Marmolejo	Aguas abajo de confluencia con río Jándula	
MG008-01	Río Guadalquivir Poblado de San Julián	H05	Marmolejo	Aguas abajo de confluencia con río Jándula	
MG005-01	Río Guadalquivir	H24	La Isabela	Aguas abajo de confluencia con río Yeguas y con río Salado de Porcuna	
MG037-01	Río Guadalquivir	H06	El Carpio		
MG037-02	Río Guadalquivir en San Antonio	H06	El Carpio		
MG023-01	Río Guadalquivir	H06	El Carpio		
MG014-01	Río Guadalquivir	Guad_Aux_01			Punto auxiliar calculado por la CHG. Se decide asignar este punto tras el análisis de los resultados en él y en H7, así como la diferencia de valores máximos en ambos
MG014-04	Río Guadalquivir en Córdoba	Guad_Aux_01			Punto auxiliar calculado por la CHG. Se decide asignar este punto tras el análisis de los resultados en él y en H7, así como la diferencia de valores máximos en ambos
MG015-01	Río Guadalquivir a su paso por Córdoba, aguas abajo	Guad_Aux_01		Incluye aportación de río Guadajoz	Punto auxiliar calculado por la CHG.
MG010-06	Río Guadalquivir en Los Mochos y Encinarejo	Guad_Aux_01		Incluye aportación de río Guadajoz	Punto auxiliar calculado por la CHG.

Código ARPSI	Nombre tramo ARPSI	Punto de control SAIH	Nombre Punto de control SAIH	Observaciones SAIH	Observaciones
MG047-02	Río Guadalquivir II	Guad_Aux_01		Incluye aportación de río Guadajoz	Punto auxiliar calculado por la CHG.
MG047-01	Río Guadalquivir	I11	I11 Fuente Palmera		
MG070-01	Bembézar	Guad_Aux_03			Punto auxiliar calculado por la CHG.
MG001-02	Río Guadalquivir	I11 + Guad_Aux_03	I11 Fuente Palmera		Modificado. Añadido el caudal del Bembézar para considerar en el punto de aguas abajo del ARPSI.
MG044-01	Río Genil	A17	Río Genil en Écija	Río Genil aguas abajo de Écija	
BG015-01	Cantillana	Guad_Aux_02			Punto auxiliar calculado por la CHG.
BG004-01	Río Guadalquivir	M47	Alcalá del Río	Incluye aportación río Corbones y de Siete Arroyos	
BG004-03	Guadalquivir en Rinconada	H09	Alcalá del Río	Incluye aportación río Corbones y de Siete Arroyos	
BG013-01	Río Guadalquivir entre Alcalá del Río y La Puebla del Río	H09	Alcalá del Río	Incluye aportación río Corbones y Siete arroyos	Añadido por INPROES-HGM. En este punto, debido a la marea el control se realiza por nivel por lo que se ha asignado H9.

Tabla 2. Tramos ARPSI seleccionados situados aguas abajo de presas que laminaron la borrasca Nelson de forma significativa

El tramo denominado ES050_APSFR_BG013-01, fue añadido al final del análisis. Este punto, como los situados aguas abajo de Alcalá del Río en el eje del Guadalquivir, se controla únicamente mediante niveles debido a la influencia de la marea, por lo que se ha asignado el caudal de entrada del punto H9, Central Hidroeléctrica de Alcalá del Río. La siguiente imagen muestra la oscilación de nivel que se produce aguas abajo de dicha central debida a la marea.

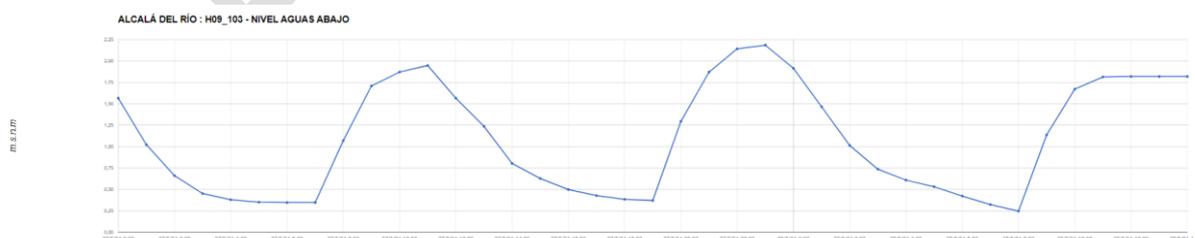


Figura 17. Oscilación de niveles aguas abajo del punto de control H9. Fuente: SAIH del Guadalquivir

La siguiente imagen muestra los 25 tramos ARPSI seleccionados junto con los puntos de control del SAIH que caracterizan los hidrogramas de dichos tramos.

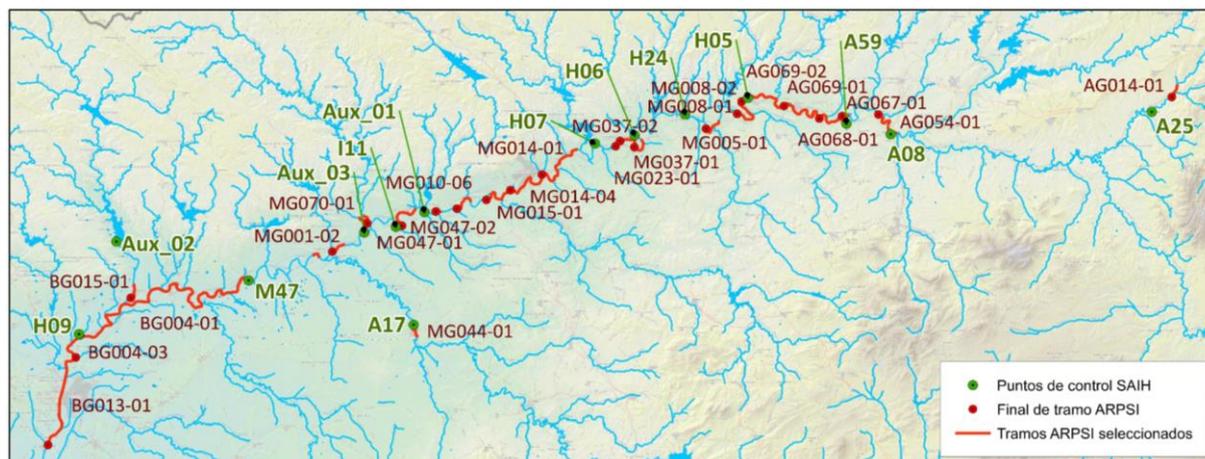


Figura 18. ARPSI seleccionadas y puntos de control del SAIH del Guadalquivir

La situación inicial, previa a la borrasca, del nivel de embalse de la mayoría de las presas de la Demarcación era muy baja, de tal forma que el volumen disponible para almacenar los caudales de entrada a los embalses era, en el conjunto de la Demarcación, del 70% de la capacidad total de embalse. El área de la margen derecha fue donde se registraron las mayores precipitaciones en la zona y se ubican la mayoría de las grandes presas de regulación, precisamente porque Sierra Morena induce a la generación de aportaciones. Aunque todas las presas incrementaron el volumen embalsado tras el episodio, las presas de la margen derecha almacenaron gran parte del volumen de precipitación que entró en los embalses reduciendo los caudales de los cauces aguas abajo y del río Guadalquivir gracias a la acción conjunta de todas ellas. De esta reducción de caudales se beneficiaron todas las poblaciones, actividades económicas, servicios, infraestructuras, etc. situadas en la vega del río Guadalquivir, que es donde se han localizado la mayor parte de los tramos ARPSI de la Demarcación y, sobre todo, la muchos de los más importantes.

5.1.3. Caudales punta al final de cada tramo ARPSI

El equipo del SAIH de la C.H. del Guadalquivir ha facilitado el trabajo realizado para analizar los efectos de la borrasca Nelson en varios puntos de control. En particular, han aportado los hidrogramas registrados y validados junto a los caudales restituidos al régimen natural en todos los puntos de control elegidos como representativos del punto final de cada tramo ARPSI seleccionado. A continuación, se muestran 2 ejemplos.

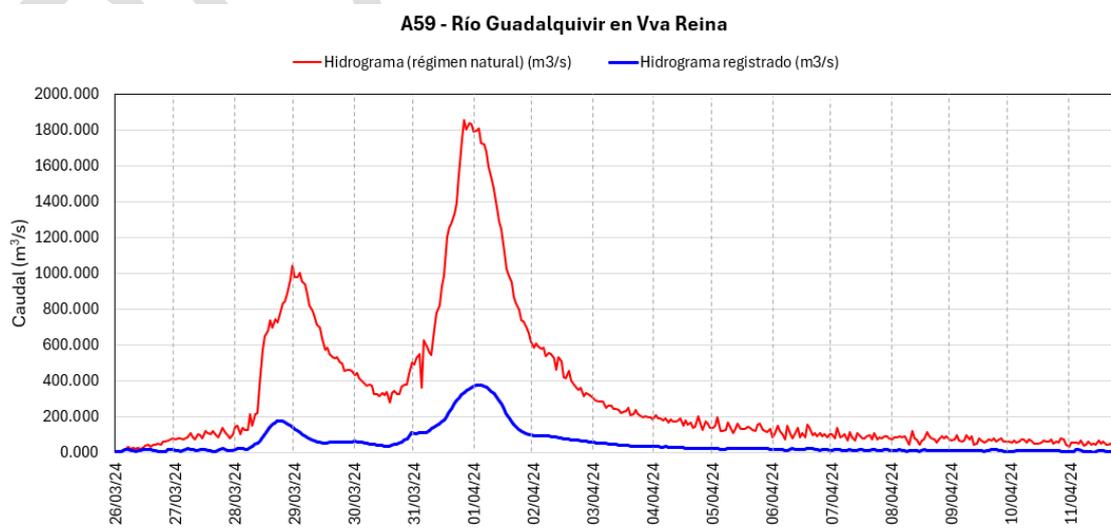


Figura 19. Hidrograma registrado y restituido al régimen natural del río Guadalquivir en Villanueva de la Reina, estación de aforo A59. Fuente: SAIH de la C.H. del Guadalquivir

M47 - Río Guadalquivir en Lora del Río

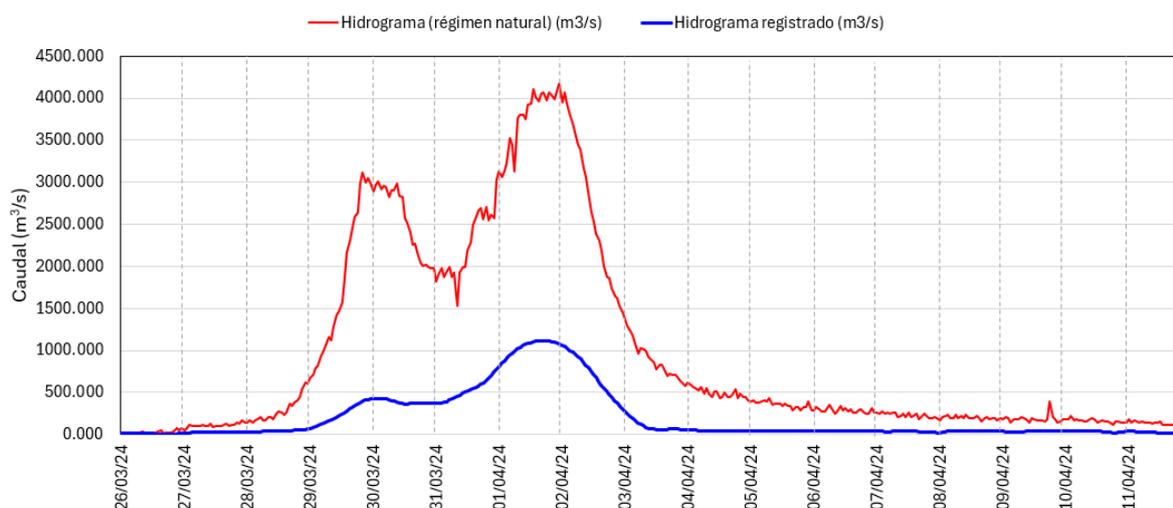


Figura 20. Hidrograma registrado y restituído al régimen natural del río Guadalquivir en Lora del Río, marco de control M47. Fuente SAIH: de la C.H. del Guadalquivir

Además, también ha facilitado los hidrogramas de entrada a los embalses y salida por las presas. En la siguiente imagen se muestra como ejemplo los hidrogramas de la presa del Guadalmellato.

E29 - Guadalmellato: Aportación (m3/s)

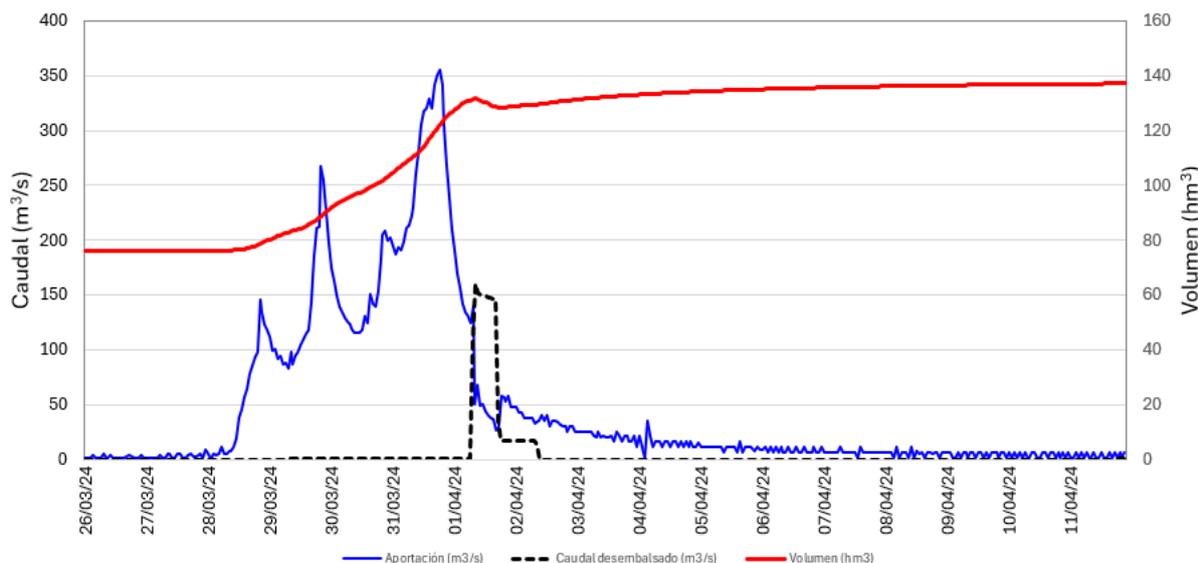


Figura 21. Hidrograma registrado (desembalsado) durante el evento e hidrograma restituído de entrada al embalse. Presa de Guadalmellato. Fuente: SAIH de la C.H. del Guadalquivir

De estos hidrogramas se han utilizado los valores del caudal punta en régimen real registrado y en régimen natural restituído de los puntos de control SAIH asociados a cada tramo APRSI seleccionado, 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 restituído, 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). A partir de las curvas de los cuantiles de caudales máximos se puede establecer en cada punto final de AR-

PSI un valor de referencia del periodo de retorno que le corresponde a la avenida Nelson en los 2 escenarios.

La siguiente tabla muestra los caudales punta asociados al punto final de cada tramo ARPSI en los 2 escenarios y los periodos de retorno correspondientes a los 2 caudales punta referidos a la curva de los caudales máximos que se obtuvo para delimitar los mapas de peligrosidad de cada tramo ARPSI, y que pueden ser consultados en el visor del SNCZI, y referidos a la curva de los cuantiles de caudales máximos en régimen natural obtenida en el mismo punto mediante la aplicación CAUMAX. En la última columna se incluyen los periodos de retornos de los caudales en régimen natural restituído pero referidos a la curva del SNCZI. Esta equivalencia se realiza porque permite utilizar los resultados de las zonas inundables y los datos del SNCZI.

Código ARPSI	Nombre ARPSI	Punto de control SAIH	Q real (m ³ /s)	Q natural restituído (m ³ /s)	T Q real (años) SNCZI	T Q natural restituído (años) CAUMAX	T equivalente Q natural restituído (años) SNCZI
AG014-01	Río Guadalquivir en Mogón	A25	142,02	272,10	3,7	4,5	7,1
AG054-01	Río Guadalquivir en Mengíbar	A08	281,12	1.540,95	5,8	12,5	185
AG067-01	Villanueva de la Reina	A59	378,35	1.855,35	4,8	18,7	154
AG068-01	Río Guadalquivir	A59	378,35	1.855,35	4,8	18,4	154
AG069-01	Río Guadalquivir en Andújar	A59	378,35	1.855,35	4,8	18,1	147
AG069-02	Guadalquivir aguas arriba Presa Marmolejo	H05	389,38	2.589,82	3,7	35,7	315
MG008-02	Río Guadalquivir en Marmolejo	H05	389,38	2.589,82	3,7	35,7	315
MG008-01	Río Guadalquivir Poblado de San Julián	H05	389,38	2.589,82	3,7	31,7	313
MG005-01	Río Guadalquivir	H24	415,14	2.763,71	3,6	30,6	288
MG037-01	Río Guadalquivir	H06	636,35	3.270,47	4,8	53,8	394
MG037-02	Río Guadalquivir en San Antonio	H06	636,35	3.270,47	4,8	53,5	394
MG023-01	Río Guadalquivir	H06	636,35	3.270,47	4,8	53,4	394
MG014-01	Río Guadalquivir	Guad_Aux_01	788,94	3.306,78	5,3	43,1	277
MG014-04	Río Guadalquivir en Córdoba	Guad_Aux_01	788,94	3.306,78	5,3	42,4	270
MG015-01	Río Guadalquivir a su paso por Córdoba, aguas abajo	Guad_Aux_01	788,94	3.306,78	4,6	27,0	123

Código ARPSI	Nombre ARPSI	Punto de control SAIH	Q real (m ³ /s)	Q natural restituído (m ³ /s)	T Q real (años) SNCZI	T Q natural restituído (años) CAUMAX	T equivalente Q natural restituído (años) SNCZI
MG010-06	Río Guadalquivir en Los Mochos y Encinarejo	Guad_Aux_01	788,94	3.306,78	4,6	26,2	100
MG047-02	Río Guadalquivir II	Guad_Aux_01	788,94	3.306,78	4,6	25,3	100
MG047-01	Río Guadalquivir	I11	1.108,70	3.659,95	5,8	33,1	133
MG070-01	Bembézar	Guad_Aux_03	37,49	893,56	0,5	13,2	20
MG001-02	Río Guadalquivir	I11 + Guad_Aux_03	1.121,86	3.797,08	5,3	27,3	95
MG044-01	Río Genil	A17	248,82	475,92	4,3	0,4	8,2
BG015-01	Cantillana	Guad_Aux_02	0,00	644,05	0,0	9,9	361
BG004-01	Río Guadalquivir	M47	1.118,10	4.175,32	3,3	5,7	32
BG004-03	Guadalquivir en Rinconada	H09	1.099,65	4.316,09	2,8	6,2	19
BG013-01	Río Guadalquivir entre Alcalá del Río y La Puebla del Río	H09	1.099,65	4.316,09	3,1	4,3	28

Tabla 3. 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

En la siguiente imagen se muestra las extensiones de las zonas inundables de 10, 100 y 500 años en el entorno de Córdoba. Los caudales punta restituídos al régimen natural en esta zona hubieran producido una inundación superior a 40 años de periodo de retorno, según CAUMAX. Para conocer el orden de su magnitud, se han comparado estos valores con el SNCZI obteniéndose que esta avenida es superior a la de 100 años de periodo de retorno, pero menor que la de 500. Interpolando se ha establecido que equivale a unos 270 años de periodo de retorno.

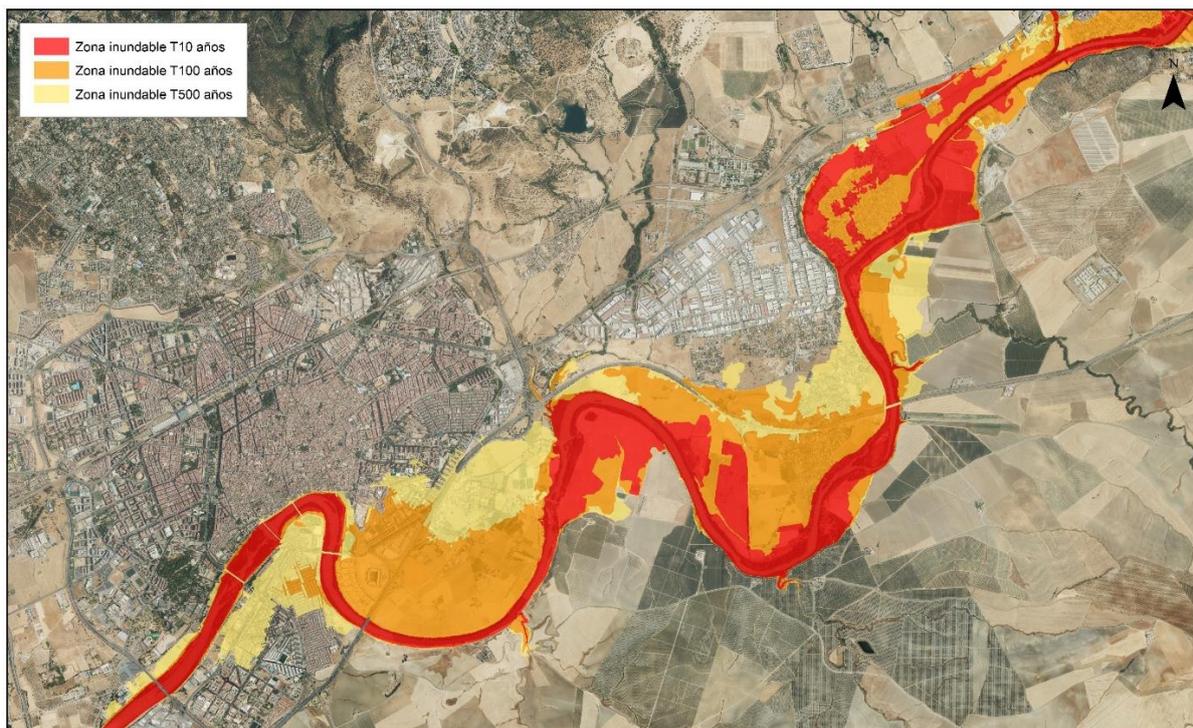


Figura 22. Zonas inundables correspondientes a T10, T100 y T500 del SNCZI. Detalle de los tramos ARPSI MG014-01 y MG014-04, Córdoba

En la siguiente imagen pueden identificarse por colores los periodos de retorno asociados a cada tramo en régimen natural restituído, y que no se produjeron gracias al efecto de las presas. Como puede apreciarse, al realizar la equivalencia con los datos del SNCZI, el Guadalquivir en su tramo alto y medio hubiera sufrido una avenida severa, con graves consecuencias.



Figura 23. Periodo de retorno del caudal en régimen natural restituído por tramo ARPSI.

En el Alto y Medio Guadalquivir, como se observa en la tabla 3, los periodos de retorno en régimen real indican una magnitud pequeña de las avenidas ocurridas y registradas. Estas avenidas no debieron producir daños significativos por desbordamiento, salvo en alguna zona localizada, dado que se sitúan entre 0 y 5,8 años de periodo de retorno. En el escenario en el que no se considera el efecto de laminación de los hidrogramas que producen las presas, podrían haberse producidos daños muy graves debido a que en la mayoría de estos tramos ARPSI se hubiera registrado un caudal superior al equivalente a 100 años de periodo de retorno según el SNCZI.

En el Bajo Guadalquivir el periodo de retorno de caudal que se hubiera producido es significativamente menor, en torno al equivalente de 20 – 30 años, gracias a que en la cuenca del río Genil el impacto de la borrasca Nelson fue pequeño y a que no se sumaron la máxima punta del Guadalquivir con las máximas puntas de los afluentes de la margen derecha. En el río Guadalquivir, aguas arriba del río Guadiato, la punta se produjo el día 1 de abril mientras que en los afluentes, desde el río Guadiato hasta el Agrio, se registraron mayoritariamente el día 29 de marzo. La siguiente imagen muestra como ejemplo los hidrogramas del río Guadalquivir en el punto de control SAIH I11 Fuente Palomera y del río Bembézar completo.

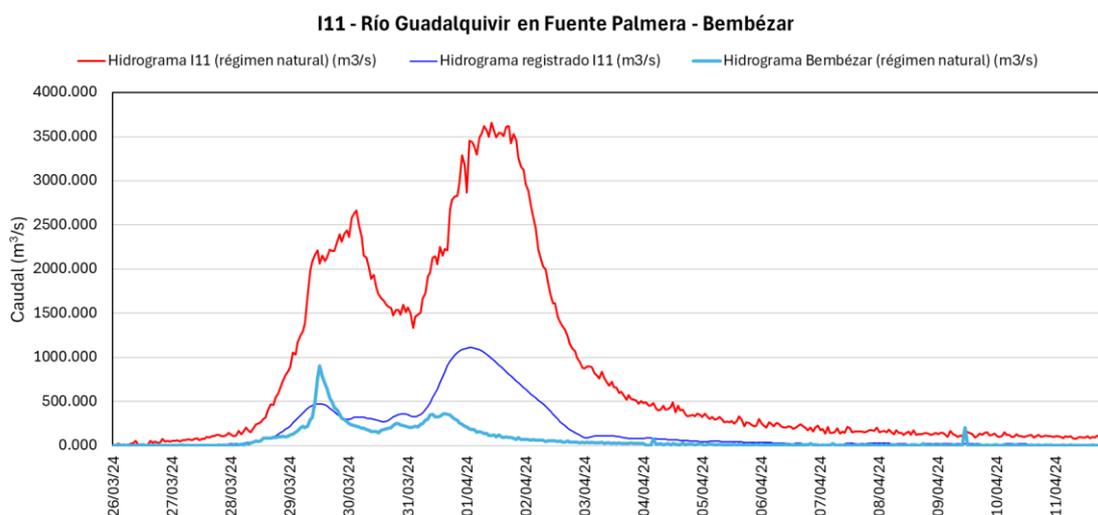


Figura 24. Hidrogramas del Guadalquivir por el punto I11 Fuente Palmera y del río Bembézar completo. Fuente de datos: SAIH del Guadalquivir

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 C.H. del Guadalquivir 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 D.H. del Guadalquivir 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 no 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. al que se le asigna un valor por m².
- 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 inicialmente los caudales asociados al DPH (datos obtenidos del visor del SNCZI), salvo en aquellos tramos en los que se dispone de valores contrastados con eventos reales en los que se han producido daños, como es el caso del valor asociado al punto SAIH A25, donde se ha introducido el caudal de desbordamiento en el núcleo de población de Mogón. A estos valores se le asigna el valor 0 de daños.

Punto de control	Q “daño 0” (m ³ /s)
A25	150-165

Punto de control	Q "daño 0" (m ³ /s)
A08	872
A59	939
H05	1.107
H24	1.262
H06	1.292
H07	1.370
Guad_Aux_01	1.530
I11	1.663
M47	2.332
H09	3.300
A17	805

Tabla 4. Caudales a partir de los cuales empiezan a producirse daños en las ARPSI

Estos valores han sido contrastados con los mapas de peligrosidad y riesgo de inundación, siendo modificados en función de los resultados de estos mapas debido a la necesidad de ajustar lo máximo posible al valor de la capacidad del encauzamiento, ya que este proporciona un mejor valor del caudal de daños frente a los valores de la MCO en cuencas muy reguladas, como son todas las que en este punto se están analizando. En particular se han analizado otros caudales correspondientes a 5, 7 y 10 años de periodo de retorno y los daños que se producen en cada tramo para el periodo de retorno de 10 años. En la siguiente tabla se relacionan los tramos ARPSI y el caudal a partir del cual comienzan a producirse daños.

Código tramo ARPSI	Q "daño 0" (m ³ /s)
AG014-01	165,00
AG054-01	480,80
AG067-01	787,70
AG068-01	787,70
AG069-01	794,00
AG069-02	950,00
MG008-02	1.040,10
MG008-01	1.041,90
MG005-01	1.163,20
MG037-01	1.289,00
MG037-02	1.298,00
MG023-01	1.296,00
MG014-01	1.387,00
MG014-04	1.403,00
MG015-01	1.600,00

Código tramo ARPSI	Q "daño 0" (m ³ /s)
MG010-06	1.541,00
MG047-02	1.537,00
MG047-01	1.663,00
MG070-01	645,00
MG001-02	1.785,00
MG044-01	583,00
BG015-01	198,50
BG004-01	3.300,00
BG004-03	3.321,00
BG013-01	3.300,00

Tabla 5. Caudal de daño cero finalmente adoptado en cada tramo ARPSI

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.

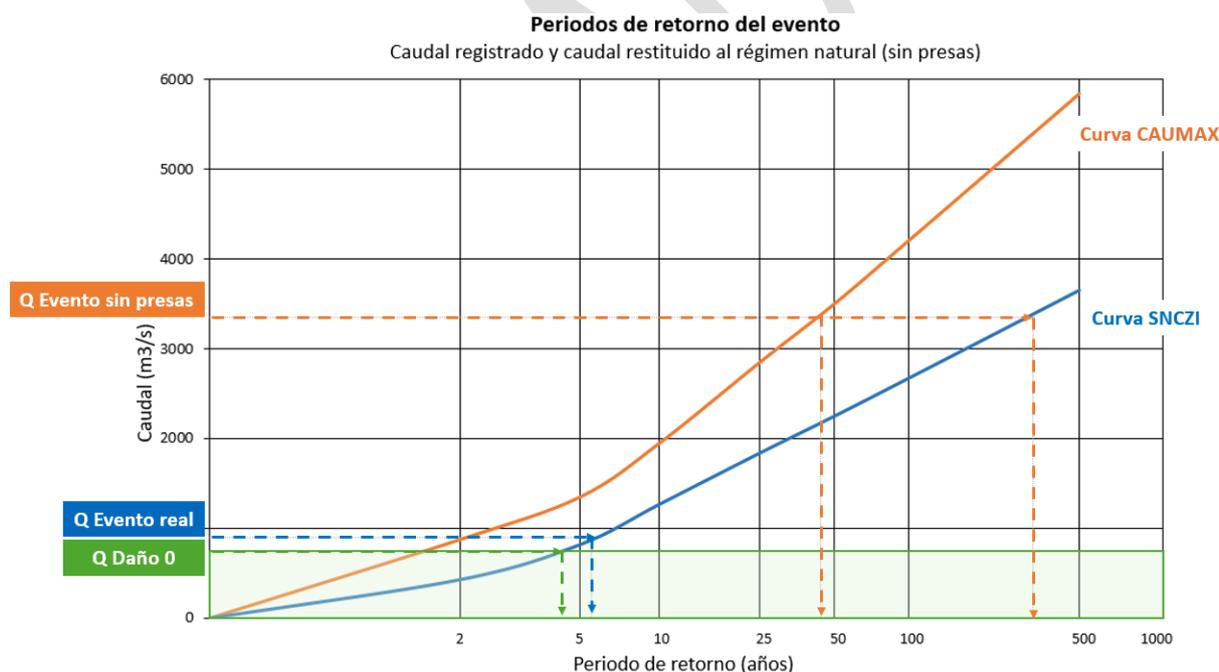


Figura 25. Periodos de retorno/caudal en un punto o sección de cauce

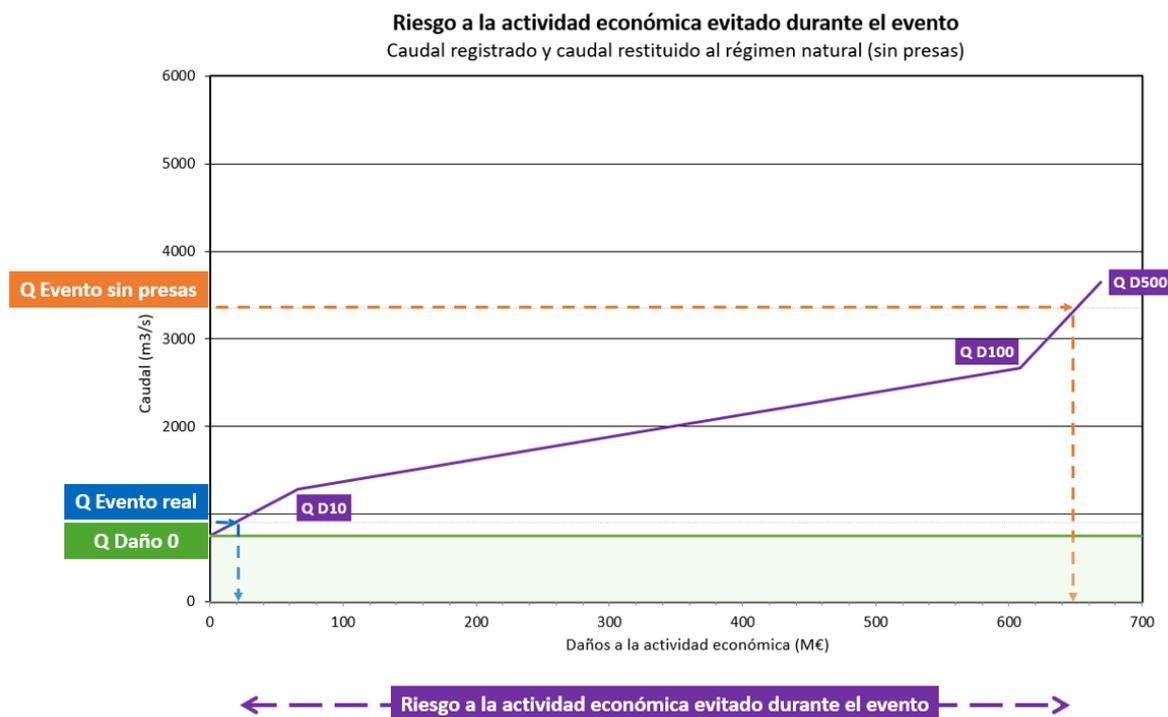


Figura 26. Daños evitados en el mismo punto o sección de cauce

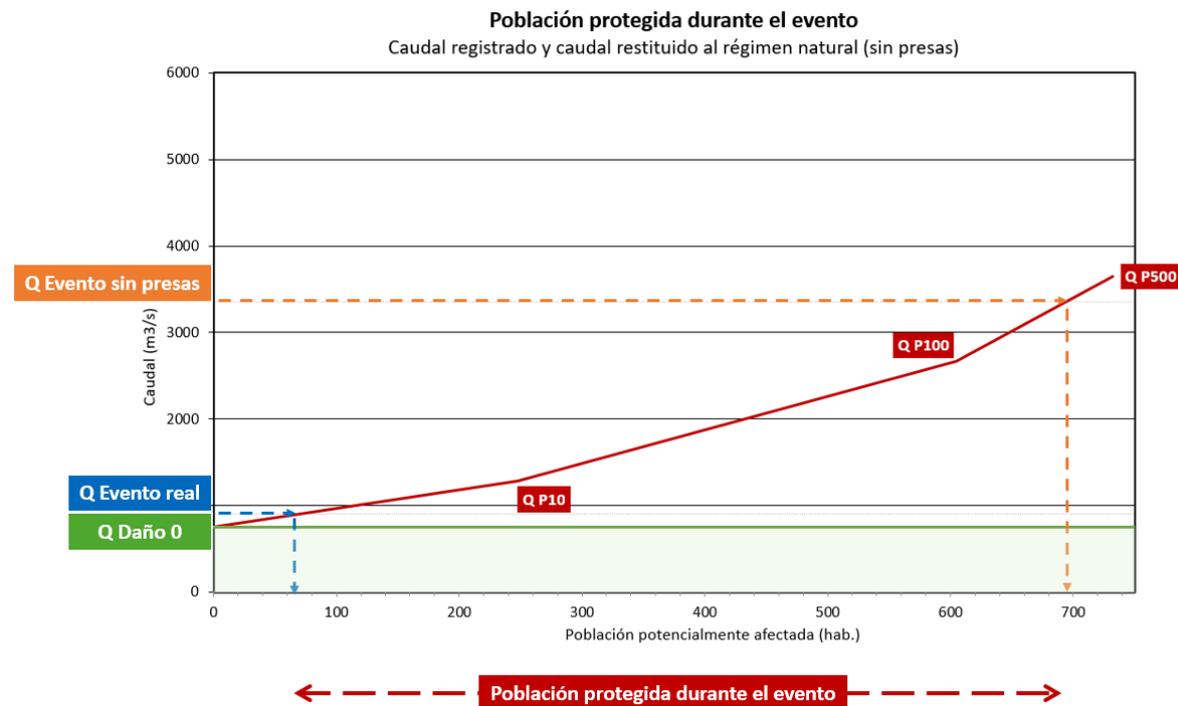


Figura 27. Población protegida en el mismo punto o sección de cauce

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.)
AG014-01	Río Guadalquivir en Mogón	9.657.137	0	1	0
AG054-01	Río Guadalquivir en Mengíbar	56.522.056	0	109	0
AG067-01	Villanueva de la Reina	19.830.803	0	34	0
AG068-01	Río Guadalquivir	23.525.818	0	74	0
AG069-01	Río Guadalquivir en Andújar	252.085.726	0	1.088	0
AG069-02	Guadalquivir aguas arriba Presa Marmolejo	122.494.990	0	128	0
MG008-02	Río Guadalquivir en Marmolejo	29.191.422	0	2	0
MG008-01	Río Guadalquivir Poblado de San Julián	65.916.098	0	31	0
MG005-01	Río Guadalquivir	41.359.967	0	551	0
MG037-01	Río Guadalquivir	653.032.477	0	698	0
MG037-02	Río Guadalquivir en San Antonio	707.626.997	0	130	0
MG023-01	Río Guadalquivir	11.797.243	0	104	0
MG014-01	Río Guadalquivir	1.085.491.837	0	1.438	0
MG014-04	Río Guadalquivir en Córdoba	642.418.097	0	14.742	0
MG015-01	Río Guadalquivir a su paso por Córdoba, aguas abajo	269.328.615	0	374	0
MG010-06	Río Guadalquivir en Los Mochos y Encinarejo	15.263.612	0	70	0
MG047-02	Río Guadalquivir II	45.342.961	0	46	0
MG047-01	Río Guadalquivir	105.872.430	0	584	0
MG070-01	Bembézar	19.095.801	0	11	0
MG001-02	Río Guadalquivir	52.334.949	0	107	0
MG044-01	Río Genil	0	0	0	0
BG015-01	Cantillana	49.711.479	0	971	0
BG004-01	Río Guadalquivir	1.694.420.415	0	13.532	0
BG004-03	Guadalquivir en Rinconada	1.345.611	0	43	0
BG013-01	Río Guadalquivir entre Alcalá del Río y La Puebla del Río	186.873.930	0	4.458	0
TOTAL		6.160.540.471	0	39.326	0

Tabla 6. 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 al-

guna referencia puntual en la que la componente pluvial fue importante. Luego se aceptan los resultados para el escenario correspondiente a la situación real.

Los tramos ARPSI del Bajo Guadalquivir se han calculado de forma especial. El periodo de retorno equivalente del caudal máximo en régimen natural restituído que se hubiera producido durante la borrasca Nelson en el escenario sin presas se sitúa en el entorno de 20 años. Para realizar el cálculo de daños se requiere interpolar entre los daños correspondientes a 10 y 100 años de periodo de retorno que se calcularon para el PGRI. Este rango es muy amplio y para acotarlo habría que conocer el caudal de desbordamiento del cauce. En estos casos el valor de la MCO no se puede aplicar ya que se calcula en régimen natural y, al ser esta cuenca del río Guadalquivir una cuenca muy regulada, los caudales de la MCO pueden ser mayores a T10 del SNCZI. En el caso de los 3 tramos ARPSI del Bajo Guadalquivir según el PGRI en estos tramos ya se producen pequeños daños para T10.

En estos casos se han asignado los valores de los daños correspondientes al periodo de retorno de 10 años del PGRI, aunque el caudal punta en el escenario hipotético tras la restitución al régimen natural era equivalente a periodos de retorno superiores a 10 años. De esta forma se evita mayorar los daños.

Las siguientes imágenes muestran los resultados de los daños que se hubieran producido en las actividades económicas debido a la borrasca Nelson en el escenario hipotético en el que no se hubieran construido las presas de la D.H. del Guadalquivir y los resultados de la población que podría haber sido afectada en el mismo escenario. En este caso concreto estos valores son iguales a los daños evitados y a la población protegida.



Figura 28. Daños evitados a las actividades económicas gracias a la reducción de caudales que produjeron las presas

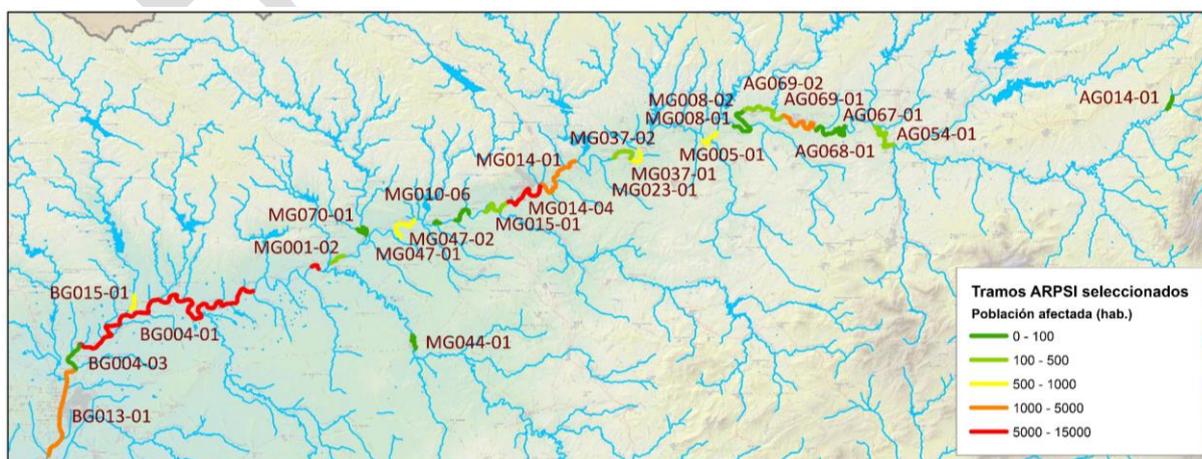


Figura 29. Población que hubiera sido afectada por el caudal en régimen natural por tramo ARPSI

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 Guadalquivir en Córdoba si no existiesen presas, que sería equivalente a unos 270 años de periodo de retorno, referido a los caudales del SNCZI. Se muestra a continuación el mapa de riesgo a correspondiente a 500 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.

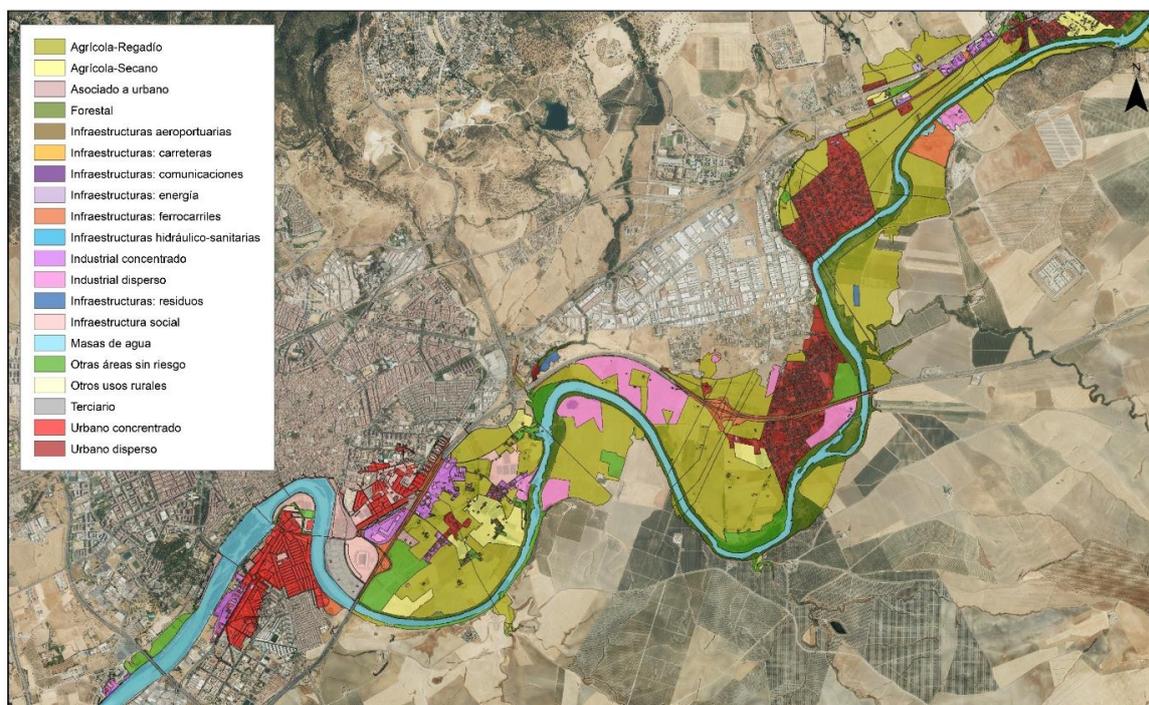


Figura 30. Daños a actividades económicas en la zona inundable correspondiente a T500. Detalle de los tramos ARPSI MG014-01 y MG014-04, Córdoba

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 (€)	0	6.160.540.471	6.160.540.471
Población afectada (hab.)	0	39.326	39.326

Tabla 7. 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 Guadalquivir los daños a la actividad económica y la población afectada correspondientes a cada periodo de retorno se indican en la siguiente tabla.

	T10	T100	T500
Daños actividad económica (€)	2.510.207.720	10.254.146.039	13.779.749.759
Población afectada (hab.)	24.689	120.779	485.499

Tabla 8. Daños producidos por los caudales correspondientes a los periodos de retorno de 10, 100 y 500 años

Cabe añadir que los 3 tramos ARPSI finales del Guadalquivir (BG004-01, BG004-03 y BG013-01), para un periodo de retorno de 100 años suman 6.000 millones de euros en daños a la actividad económica. En estos 3 tramos ARPSI se recuerda que se han minorado los valores adoptando los correspondientes a T10 que suman 1.900 millones de euros en esos mismos 3 tramos ARPSI.

Por otra parte, consultando en los mapas de riesgo a los puntos de especial importancia (PEI) afectados por la avenida de 100 años de periodo de retorno, 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. 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
Concurrencia pública destacada	Instalación deportiva	Campo de fútbol Enrique Pena	MG014_04	
		Complejo polideportivo Villa del Río	MG005_01	
		Estadio municipal	MG037_01	
Concurrencia pública destacada Total				3
EDAR	EDAR	La Golondrina	MG015_01	
		Palma del Río	MG001_02	
		Sin datos	AG069_01	
EDAR Total				3
Educación	Educación infantil	Escuela infantil "Los Duendecillos"	MG014_01	
	Escuela	Colegio privado Nuestra Señora de las Mercedes	MG014_04	
Educación Total				2
Emisiones industriales	Emisiones industriales	Deoleo, S.A. (Fábrica de Ándujar)	AG069_01	
		EDAR de la Golondrina	MG015_01	
		Fábrica de bebidas refrescantes (Refrescos Iberia, S.L.)	MG014_01	
		Granja "El Arenal"	MG047_02	
		Productos alimenticios Gallo, S.L.	MG037_01	
		Refinería andaluza, S.A.	MG014_01	
		Sin datos	AG069_01	
		Sin datos	MG001_02	
Emisiones industriales Total				8
Patrimonio cultural	Conjunto histórico	Molino de Carbonell	MG014_04	
		Molino de Casillas	MG014_04	
		Molino de Lope García (Azuda)	MG014_01	
		Molino de Martos	MG014_04	
		Molinos de la Albolafia, de Enmedio, de Pápalo	MG014_04	
		Puente de Hierro	MG001_02	
		Santuario de Nuestra Señora de la Fuensanta	MG014_04	
		Triunfos de San Rafael: Puente Romano	MG014_04	
	Espacios naturales protegidos	Sotos de la Albolafia	MG014_04	
Patrimonio cultural Total				9
Servicios básicos	Agua	Estación de bombeo de San Rafael de Navallana	MG014_01	

Tipo	Subtipo	Descripción	Código de Sub-tramo	N.º
	Energía	Central eléctrica termosolar el Carpio 1	MG037_02	
		Central eléctrica termosolar el Carpio 2	MG037_01	
Servicios básicos Total				3

Tabla 9. Daños evitados a puntos de especial importancia por los caudales correspondientes a 100 años de periodo de retorno 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 Guadalquivir 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 Guadalquivir. 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 trabajos.
- Inicialmente el agua embalsada en la Demarcación era del 30,3% respecto de la capacidad de los embalses, según el Boletín Hidrológico de la semana 13, que cerró el 26 de marzo. Luego las presas disponían de un gran volumen de embalse libre.
- El volumen embalsado aumentó durante la borrasca del orden de 1.200 hm³. 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 los volúmenes de agua tan importantes como los interceptados por las presas y la secuencia encadenada de varias puntas son 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 este ámbito se disponen de varios ejemplos de análisis coste/beneficio de varias obras hidráulicas incluidas en el PGRI y PH de la Demarcación, llevado a cabo 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. De todos los análisis realizados en este trabajo, solo hay un caso contrastado y un periodo de retorno que se puedan comparar por similitud de caudales y modelo hidráulico y es el ámbito correspondiente al ARPSI MG044-01 y

MG056-01, Écija, aunque el ámbito del estudio de coste/beneficio es algo mayor, ya que se amplió un poco tanto aguas arriba y como aguas abajo de los límites en el río Genil estudiados en el PGRI. Los valores alcanzados son:

Actuación	T500 (€)
Análisis coste/beneficio	837.233.971
PGRI	909.225.150

Tabla 10. Valor de daños alcanzados en Écija

La diferencia al alza no llega al 8% respecto del valor del PGRI, perfectamente admisible en trabajos de planificación.

- En la Demarcación Hidrográfica del Guadalquivir existen multitud de pequeñas presas, 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. 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 Guadalquivir y del río Genil son los que concentran los mayores daños.
- Por último, hay que recordar que la longitud de los tramos ARPSI que su 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.