



*Estudio y diseño de una conducción verde para el encauzamiento de los caudales de crecida desbordados del río Segura al humedal de El Hondo de Elche. (T.T. M.M. de Formentera del Segura, Daya Nueva, Daya Vieja y San Fulgencio, Alicante).*



Trabajo Fin de Grado  
Grado en Ingeniería Civil

**Estudio y diseño de una conducción verde para el encauzamiento de los caudales de crecida desbordados del río Segura al humedal de El Hondo de Elche. (T.T. M.M. de Formentera del Segura, Daya Nueva, Daya Vieja y San Fulgencio, Alicante).**

**DOCUMENTO I DE III  
TOMO I MEMORIA**

---

Autor:  
Boscarol Orive, Samuele

Fecha: Septiembre, 2021  
Tutor: Dr. D. Juan Bautista Marco Segura  
Cotutor: D. Miguel Ángel Eguíbar Galán



## **AGRADECIMIENTOS**

En primer lugar, quiero agradecer al Doctor Juan Bautista Marco por su excelente dirección en este trabajo y su gran disposición siempre a la hora de enseñar y formar. Por su paciencia y apoyo, y por haberme transmitido su cariño hacia la hidráulica.

Además, me gustaría agradecer también al profesor Miguel Ángel Eguíbar por su sentido del humor, su forma de ver las cosas y su cercanía y tacto con los alumnos como yo, que ha hecho más agradable este trabajo.

A mis padres, por quererme como me quieren y demostrármelo día a día. Porque cada vez que me he caído me han ayudado a levantarme. Sin su apoyo incondicional no habría llegado hasta aquí.

A mi hermana Sofía, que me aguanta, que no es poco, y me ayuda a desconectar cuando estoy agobiado con todo.

A mi abuelo Alberto, que me ha transmitido su pasión por la ciencia y gracias a él hoy pienso como pienso.

A mis amigos de la carrera, que empezaron siendo compañeros y hoy en día son familia. Por haber estado siempre que los he necesitado. Por tranquilizarme y ayudarme constantemente, sobre todo en este último periodo en el que veía el final de la carrera tan cerca y que de no ser por ellos quizás hoy no estaría redactando este trabajo.

Gracias de corazón a todos.



## RESUMEN

El plan de defensas contra las crecidas del río Segura, redactado en 1987 por la Confederación Hidrográfica, constaba de 12 presas y el encauzamiento integral del río, desde Murcia hasta su desembocadura. Así como las presas han funcionado adecuadamente, logrando un nivel suficiente de protección en Murcia, la crecida del 12 de septiembre de 2019 ha demostrado notables deficiencias en el encauzamiento.

El encauzamiento del río Segura es un canal telescópico de capacidad irregular y que decrece hacia aguas abajo. En particular, el tramo aguas abajo del puente de la autopista AP-7 tiene una capacidad del 50% de la capacidad hidráulica aguas arriba. Si la capacidad del cauce aguas arriba es de 500-540 m<sup>3</sup>/s, aguas abajo no es posible superar los 340 m<sup>3</sup>/s. El encauzamiento actual es un canal trapecial en tierras, cuya línea de agua se sitúa entre 2 y 3 m por encima del llano de inundación. No tiene sentido incrementar la capacidad en base a seguir elevando la línea de agua, más y más sobre el terreno. Cuando se supera la capacidad, el río rompe las motas de contención por lugares inesperados y se desborda con fuerza arrasándolo todo como quedó demostrado en 2019.

La solución que se propone es localizar el punto de desbordamiento y generar un cauce extraordinario ambientalmente integrado, un corredor verde que sirva además de infraestructura ambiental. Su trazado, llevaría los caudales de desbordamiento, desde el punto en que se reduce la capacidad del cauce del río en Formentera del Segura, hasta los humedales del entorno del Parque Natural de El Hondo de Elche.

El trabajo comprenderá el diseño completo en planta, alzado y perfil de las actuaciones. Se realizará el diseño y cálculo hidráulico de los tramos.

Se diseñará la resolución de los cruces con cuatro carreteras (una de ellas junto a otro canal), incluyendo el trazado y geometría de los puentes. No se incluye el cálculo estructural de los puentes, ni los firmes.



# ÍNDICE

<b>AGRADECIMIENTOS</b> .....	<b>2</b>
<b>RESUMEN</b> .....	<b>3</b>
<b>ÍNDICE</b> .....	<b>4</b>
<b>ÍNDICE DE FIGURAS</b> .....	<b>6</b>
<b>1. INTRODUCCIÓN</b> .....	<b>7</b>
1.1. OBJETIVO Y ALCANCE DEL ESTUDIO.....	7
<b>2. ESTADO DEL ARTE</b> .....	<b>8</b>
2.1. DEMARCACIÓN HIDROGRÁFICA DEL SEGURA.....	8
2.1.1. Confederación Hidrográfica del Segura.....	9
2.1.2. Cuenca Hidrográfica del Segura.....	10
2.1.2.1. Características del río Segura.....	10
2.1.2.1.1. Curso bajo del río Segura.....	10
2.1.2.2. Marco físico.....	11
2.1.2.2.1. Climatología.....	11
2.1.2.2.2. Morfología de la cuenca.....	15
2.1.2.2.3. Litología.....	16
2.2. MARCO LEGAL.....	17
2.2.1. Directiva Marco del Agua.....	17
2.2.1.1. Transposición Directiva Marco del Agua.....	20
2.2.2. Directiva 2007/60 de Evaluación y Gestión de Riesgos de Inundación.....	21
2.2.3. Estrategia Nacional de Restauración de Ríos.....	22
2.2.3.1. Objetivos de la Estrategia Nacional de Restauración de Ríos.....	22
2.2.3.2. Soporte y diagnóstico.....	23
2.2.4. Dominio Público Hidráulico.....	24
2.2.4.1. Legislación relativa al Dominio Público Hidráulico.....	26
2.3. INUNDACIONES EN LA VEGA BAJA DEL SEGURA.....	26
2.3.1. Cronología de inundaciones en la Cuenca del Segura.....	26
2.3.2. Análisis climatológico.....	29
2.3.2.1. AEMET: Importancia de los sistemas de predicción y vigilancia.....	29
2.3.2.2. Riada de Santa María (DANA del 11 al 17 de septiembre de 2019).....	30
2.3.2.3. Análisis del fenómeno meteorológico.....	32
<b>3. DISEÑO DEL MODELO PROPUESTO</b> .....	<b>34</b>
3.1. SITUACIÓN EN PLANTA.....	34
3.1.1. Localización.....	34
3.1.2. Antecedentes.....	37
3.1.3. Características del encauzamiento e interferencias con las infraestructuras.....	37
3.1.4. Propuesta de diseño en planta.....	38



<b>3.2. MODELADO HEC-RAS.....</b>	<b>38</b>
<b>3.2.1. Diseño de la propuesta (secciones).....</b>	<b>38</b>
<b>3.2.2. Condiciones de contorno.....</b>	<b>39</b>
<b>3.3. DISEÑO HIDRÁULICO DEL ALIVIADERO EN FORMA DE TECLAS DE PIANO.....</b>	<b>39</b>
<b>3.3.1. Meandro.....</b>	<b>39</b>
<b>3.3.2. Descripción del aliviadero.....</b>	<b>40</b>
<b>3.3.3. Diseño del aliviadero.....</b>	<b>40</b>
<b>4. OBJETIVOS DE DESARROLLO SOSTENIBLE.....</b>	<b>41</b>
<b>5. CONCLUSIONES.....</b>	<b>43</b>
<b>6. REFERENCIAS.....</b>	<b>44</b>

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1. Localización Cuenca Hidrográfica del Segura (Fuente: CHS, 2021).....</b>	<b>8</b>
<b>Figura 2. Comunidades Autónomas comprendidas en la Cuenca Hidrográfica del Segura (Fuente: EVALUACIÓN AMBIENTAL ESTRATÉGICA DE LOS PLANES DE CUENCA, CHS, 2020).....</b>	<b>9</b>
<b>Figura 3. Zonas inundables en el curso bajo del Segura a periodo de retorno 100 años (Fuente: CHS, 2021).....</b>	<b>11</b>
<b>Figura 4. Distribución temporal de la precipitación total anual (mm/mes) en la Cuenca Hidrográfica del Segura (Fuente: CHS, 2018).....</b>	<b>12</b>
<b>Figura 5. Distribución espacial de la precipitación total anual (mm) en la Cuenca Hidrográfica del Segura (Fuente: CHS, 2018).....</b>	<b>12</b>
<b>Figura 6. Distribución espacial de la temperatura promedio anual (Cº) en la Cuenca Hidrográfica del Segura (Fuente: CHS, 2018).....</b>	<b>14</b>
<b>Figura 7. Mapa de clasificación climática según el índice de humedad o de aridez de la UNESCO en la cuenca hidrográfica del Segura. (Fuente: CHS, 2018).....</b>	<b>15</b>
<b>Figura 8. Litología de la Cuenca Hidrográfica del Segura (Fuente: PROPUESTA DE PROYECTO DE PLAN HIDROLÓGICO DE LA DEMARCACIÓN HIDROGRÁFICA DEL SEGURA, REVISIÓN PARA EL TERCER CICLO: 2022-2027, 2021).....</b>	<b>17</b>
<b>Figura 9. Demarcaciones Hidrográficas del territorio español (Fuente: Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico, 2021).....</b>	<b>19</b>
<b>Figura 10. Ejemplo de terrenos inundados (Fuente: Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico, 2021).....</b>	<b>21</b>
<b>Figura 11. Presiones e impactos en los ríos consideradas para la formación de las Mesas de Trabajo (Fuente: Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico, 2021).....</b>	<b>23</b>
<b>Figura 12. Partes que configuran el Dominio Público Hidráulico (Fuente: Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico, 2021).....</b>	<b>25</b>
<b>Figura 13. Alertas durante la DANA de septiembre de 2019 (Fuente: AEMET, 2019).....</b>	<b>30</b>
<b>Figura 14. Rotura de mota en el municipio de El Raal (Fuente: Atresmedia, 2019).....</b>	<b>31</b>
<b>Figura 15. Antes y después de la DANA en el municipio de Orihuela (Fuente: Satélite Sentinel, 2019).....</b>	<b>32</b>
<b>Figura 16. Precipitación acumulada en la Confederaciones Hidrográficas del Segura y del Júcar durante la DANA de 2019 (Fuente: AEMET, 2019).....</b>	<b>34</b>
<b>Figura 17. Localización del modelo propuesto I (Fuente: Google Earth, elaboración propia).....</b>	<b>35</b>
<b>Figura 18. Localización del modelo propuesto II (Fuente: Google Earth, elaboración propia).....</b>	<b>35</b>
<b>Figura 19. Localización del modelo propuesto III (Fuente: Google Earth, elaboración propia).....</b>	<b>36</b>
<b>Figura 20. Localización del modelo propuesto IV (Fuente: Google Earth, elaboración propia).....</b>	<b>36</b>
<b>Figura 21. Localización del modelo propuesto V (Fuente: Google Earth, elaboración propia).....</b>	<b>37</b>



## 1. INTRODUCCIÓN

El río Segura, es un río conocido por sus esporádicas pero grandes crecidas y sus consecuentes inundaciones, sobre todo en su curso bajo (zona de la Vega Baja, al sur de la provincia de Alicante).

Ante estas grandes crecidas se elaboró un plan de defensa en el año 1987 en el cual se modificaba y ampliaba el cauce y se situaban una serie de presas a lo largo del río. Las presas sí que resultaron efectivas, pero como ha quedado demostrado en reiteradas ocasiones con las crecidas y sobre todo en la última de septiembre de 2019, el cauce resulta ser insuficiente en determinados puntos en los cuales desborda.

Para evitar otra posible inundación con pérdidas millonarias y catastróficas como ocurrió la anterior vez, se está elaborando un nuevo plan de defensa que comprende realizar nuevas estructuras, o en su defecto, modificar las ya existentes de forma que la capacidad del río aumente en caso de crecida para evitar así futuros desbordamientos.

### 1.1. OBJETIVO Y ALCANCE DEL ESTUDIO

El objeto de este proyecto es conjunto, es conseguir aumentar la capacidad portadora ampliando el cauce actual por el que pasa el río Segura en la localidad de Rojales (donde se produce un estrechamiento del mismo); y previamente, antes de llegar a dicha localidad y pasada la autovía AP-7, derivar parte de ese agua cuando el río va en crecida a un canal de derivación que comienza a partir del meandro justo aguas abajo de la autovía.

Dicho canal de derivación de agua, en el cual nos centraremos a lo largo del proyecto, llevará el agua que excede del cauce original desde el punto de desbordamiento, en el cual se elaborará un aliviadero en forma de teclas de piano, hasta la futura ampliación de los humedales del entorno del Parque Natural de El Hondo de Elche. Este canal de derivación de agua, en caso de avenida, será una defensa de nueva construcción de 6.680 m de longitud ambientalmente integrada, siendo un canal trapecial simple aguas arriba, y continuando aguas abajo como un corredor verde de sección trapecial compuesta que sirva además de infraestructura ambiental, con una capacidad máxima de 150 m<sup>3</sup>/s que entrará en funcionamiento cuando el cauce original del río supere los 350 m<sup>3</sup>/s para así aumentar su capacidad en conjunto hasta los 500 m<sup>3</sup>/s en ese tramo, que es la capacidad que posee el río Segura en tramos anteriores aguas arriba.

El alcance de este proyecto tiene como objeto de estudio únicamente la parte que corresponde al aliviadero en forma de teclas de piano y al canal de derivación, sin tener en cuenta la ampliación del cauce original; aunque el objetivo final es dotar al río de la capacidad necesaria con todas las obras de defensa actuando al mismo tiempo para evitar que en una futura avenida el río vuelva a desbordar en el mismo tramo y provoque otra futura inundación en el término municipal de Rojales y alrededores.

## 2. ESTADO DEL ARTE

### 2.1. DEMARCACIÓN HIDROGRÁFICA DEL SEGURA

La Demarcación Hidrográfica del Segura se encuentra en España situada al Sureste de la península ibérica, posee un área de 20.234 km<sup>2</sup> de los cuales 19.025 km<sup>2</sup> son continentales, comprende las Comunidades Autónomas de Región de Murcia, Castilla la Mancha, Andalucía y Comunidad Valenciana, y abarca 132 municipios de los cuales 103 con núcleo de población principal dentro de la demarcación y en los que reside una población de dos millones de habitantes.

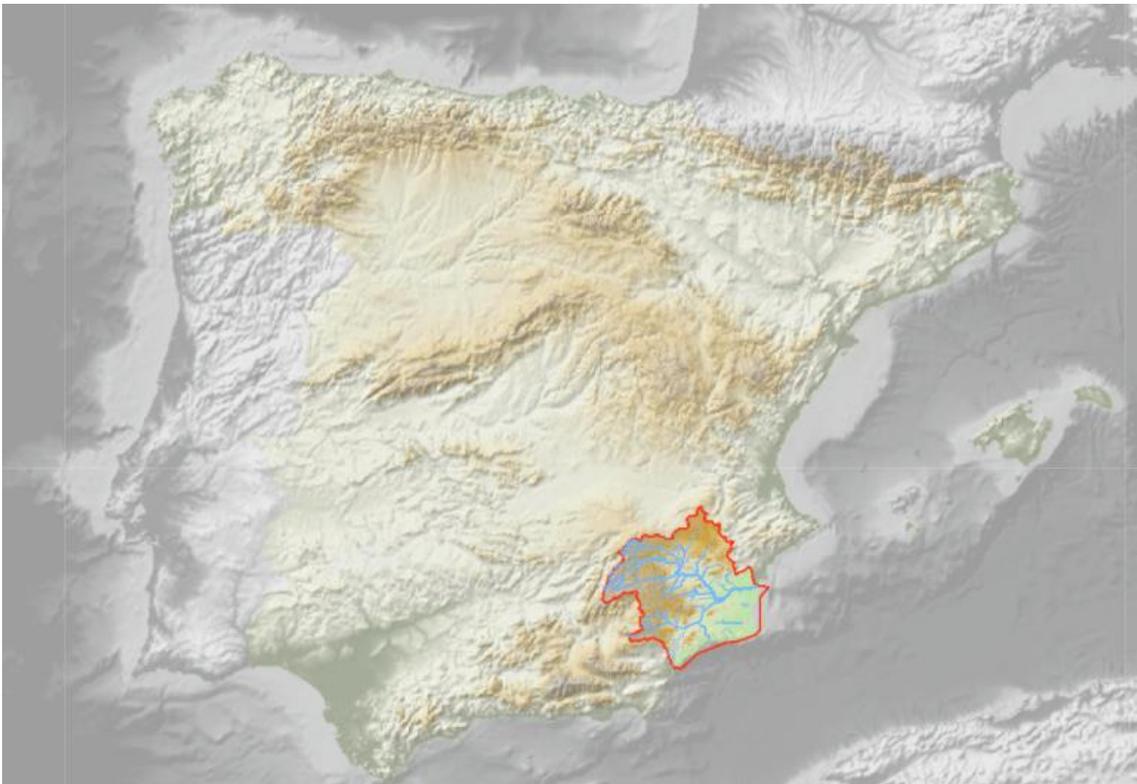


Figura 1. Localización Cuenca Hidrográfica del Segura (Fuente: CHS, 2021).



Figura 2. Comunidades Autónomas comprendidas en la Cuenca Hidrográfica del Segura (Fuente: EVALUACIÓN AMBIENTAL ESTRATÉGICA DE LOS PLANES DE CUENCA, CHS, 2020).

### 2.1.1. Confederación Hidrográfica del Segura

La Confederación Hidrográfica del Segura (CHS) es el organismo de gestión, regulador y mantenedor de las aguas, riegos y acciones de la Cuenca del Segura y de los afluentes del río homónimo. Fue creada el 4 de diciembre de 1927 y tiene su sede en la ciudad de Murcia.

El organismo de cuenca Confederación Hidrográfica del Segura, es un organismo autónomo de los previstos en el artículo 84.1.a) de la Ley 40/2015, de 1 de octubre, de Régimen Jurídico del Sector Público, adscritos, a efectos administrativos, al Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico; cuyas funciones básicas son las que se muestran a continuación:

1. La elaboración del plan hidrológico de cuenca, así como su seguimiento y revisión.
2. La administración y control del dominio público hidráulico.
3. La administración y control de los aprovechamientos de interés general o que afecten a más de una Comunidad Autónoma.
4. El proyecto, la construcción y explotación de las obras realizadas con cargo a los fondos propios del organismo, y las que les sean encomendadas por el Estado.
5. Las que se deriven de los convenios con Comunidades Autónomas, Corporaciones Locales y otras entidades públicas o privadas, o de los suscritos con los particulares.

## **2.1.2. Cuenca Hidrográfica del Segura**

### **2.1.2.1. Características del río Segura**

El río Segura nace en la sierra de Segura a 5 kilómetros de Pontón Bajo, en una pequeña aldea llamada Fuente Segura, en el municipio de Santiago-Pontones (Jaén) a 1.610 m de altura. Discurre por las provincias de Jaén, Albacete, Murcia y Alicante y se trata de un río de vertiente mediterránea que desemboca en Guardamar del Segura (Alicante), tras un recorrido de 366 km.

Es uno de los ríos con mayor aprovechamiento hidrológico, conocido también por su irregularidad causante de grandes inundaciones alternadas con periodos largos de sequía, y en las últimas décadas tristemente famoso por los graves problemas de contaminación de sus aguas, sobre todo en el curso bajo, aunque de forma reciente se ha apreciado una considerable mejora tras importantes inversiones en depuración y recuperación.

El río Segura posee veintitrés afluentes, sus dos principales son el río Mundo por la margen izquierda y el río Guadalentín por la margen derecha.

#### **2.1.2.1.1. Curso bajo del río Segura**

En su curso bajo, a su entrada por la provincia de Alicante, el río Segura atraviesa una llanura casi total provocada por la gran cantidad de depósitos fluviales y los trabajos agrícolas, apenas tiene pendiente media del 0,5 por mil. Esta llanura es la Vega Baja, en la cual destaca la llamativa posición excéntrica del río en dicha vega, causada por un fenómeno de subsidencia y el empuje de los depósitos acumulados por las ramblas de su izquierda, rechazado hacia su derecha, por lo que el Segura se adosa a los relieves meridionales con curso ondulado y cambiante por el estrangulamiento de meandros y costa artificial en los mismos para favorecer el desagüe de las avenidas. En gran parte está canalizado para evitar inundaciones, aun así el lecho es considerado insuficiente.

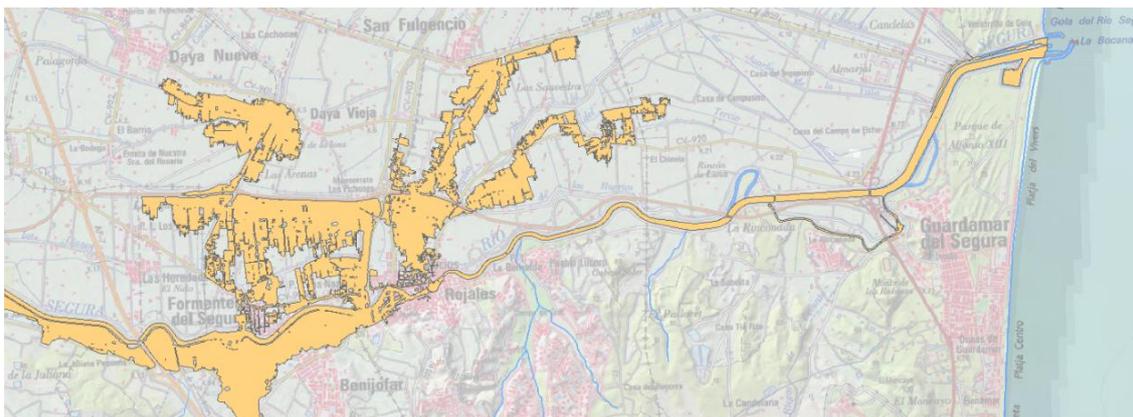


Figura 3. Zonas inundables en el curso bajo del Segura a periodo de retorno 100 años (Fuente: CHS, 2021).

## 2.1.2.2. Marco físico

### 2.1.2.2.1. Climatología

La Cuenca del Segura se encuentra inmersa dentro del clima mediterráneo, y en líneas generales recoge todas las características de éste. Aún así, la propia orografía de la cuenca afecta al clima y podemos diferenciar dos climas tipo en función de la altitud y de la proximidad a la costa:

- Clima Termomediterráneo (temperatura media entre 17°C y 19°C). El clima termomediterráneo en la Península Ibérica ocupa una posición más o menos costera correspondiente a las zonas de Murcia y Andalucía, aunque se puede adentrar en territorios algo continentales alejados del litoral, es decir, del carácter homogeneizador y de la templanza que representa el clima marítimo.
- Clima Mesomediterráneo (temperatura media entre 13°C y 17°C, con medias mínimas en el mes más frío que se sitúan entre -1°C y 5°C, y medias máximas en el mes más frío que se sitúan entre 8°C y 14°C). Es el más extendido dentro de la Península Ibérica. La variabilidad interanual que se muestra errática, temporal y espacialmente, es también un rasgo característico en las precipitaciones. En consecuencia, se registra un clima muy cambiante, con sequía estival, propia del clima mediterráneo, y en contraposición, ocasionales sucesiones de frentes atlánticos, cálidos y fríos, que pueden producir grandes episodios de avenidas e inundaciones.

### Precipitación:

En la Cuenca Hidrográfica del Segura, según datos de SIMPA, la precipitación total media anual se encuentra en torno a los 376 mm (serie 1940/41-2017/18) y a 364 mm (serie 1980/81-2017/18). La distribución intraanual y espacial de esta precipitación se caracteriza por la heterogeneidad, habiendo meses bastante lluviosos (fundamentalmente los meses de otoño y primavera) y meses secos (verano).

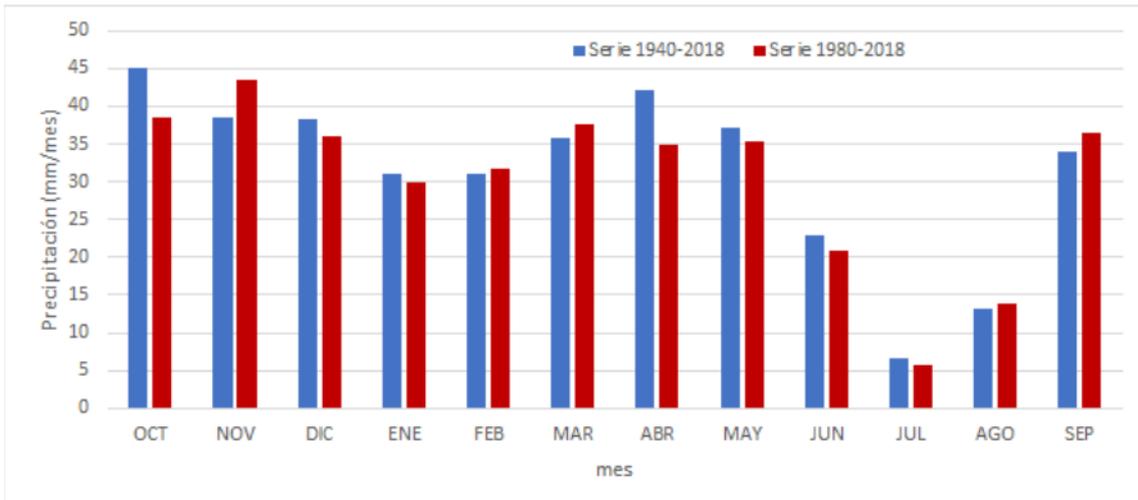


Figura 4. Distribución temporal de la precipitación total anual (mm/mes) en la Cuenca Hidrográfica del Segura (Fuente: CHS, 2018).

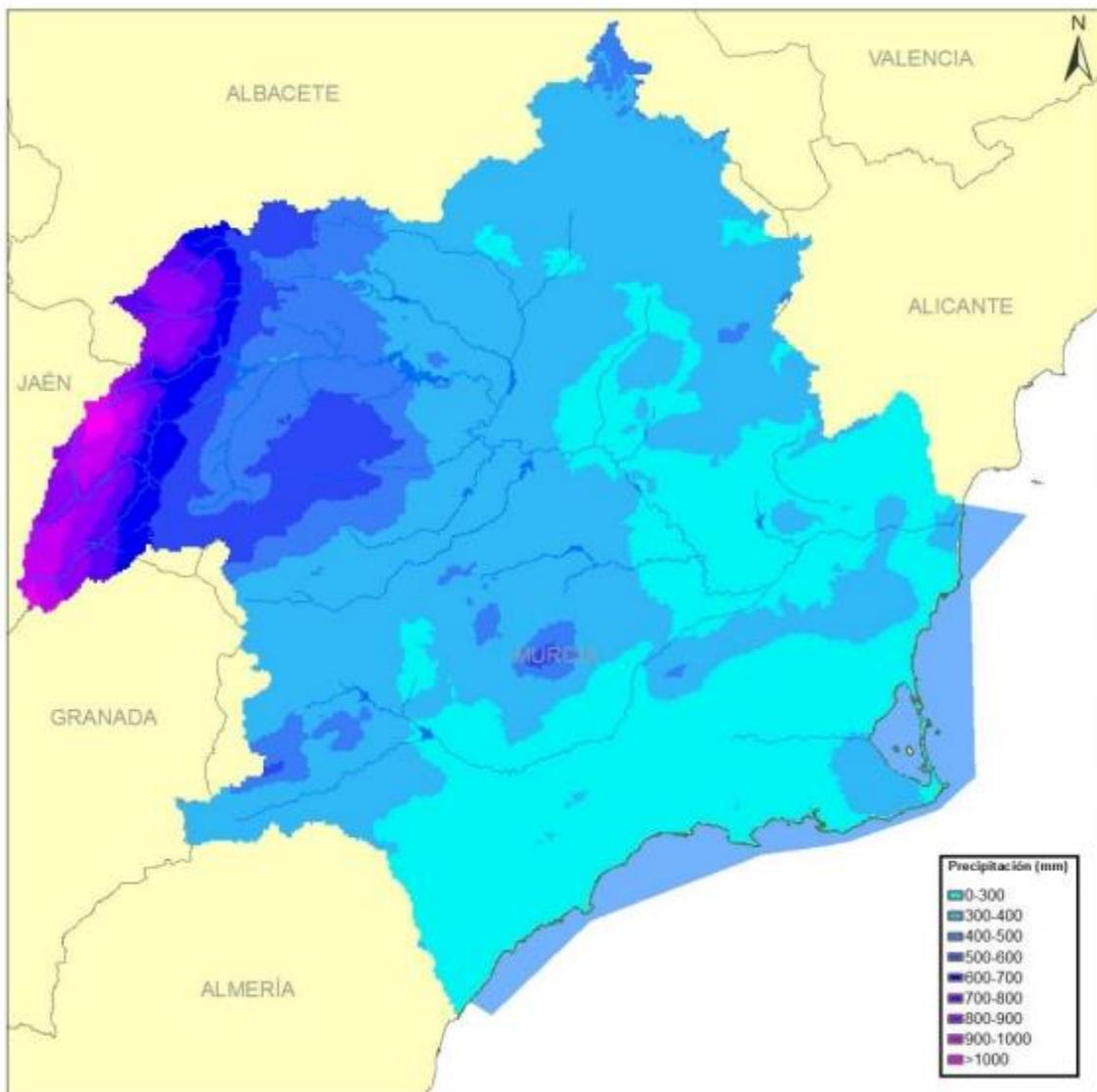


Figura 5. Distribución espacial de la precipitación total anual (mm) en la Cuenca Hidrográfica del Segura (Fuente: CHS, 2018).



## Temperatura

Al igual que ocurre con el régimen pluviométrico, el térmico, está también muy influenciado por la orografía. Como valores extremos, se citan los 10°C de media anual que se presenta en la Sierra de Segura y los 18°C de temperatura media anual en algunas áreas costeras.

El régimen anual de temperaturas presenta un mínimo invernal en los meses de diciembre y enero, siendo más frecuente que los valores más bajos sean en este último. Los máximos anuales corresponden a los meses de julio y agosto, aunque, por término general, el primero es algo más caluroso.

Las máximas absolutas, dada la situación de la Demarcación en el Sureste peninsular, corresponden con la aparición de los vientos del Norte de África. Con estas condiciones las temperaturas alcanzan valores próximos a los 40°C llegando, en situaciones extremas, a los 45°C.

De los grupos establecidos por Papadakis, la Cuenca Hidrográfica del Segura se identifica con el denominado mediterráneo y los subtipos mediterráneo templado, mediterráneo continental, mediterráneo subtropical y mediterráneo semiárido subtropical. Dentro del primer subtipo queda incluida prácticamente la mitad de la cuenca. El clima mediterráneo continental ocupa dos zonas bien diferenciadas y próximas. El tipo climático mediterráneo subtropical es el segundo en cuanto a extensión, abarcando desde los límites de los anteriores hasta el litoral, exceptuando una franja que corresponde al clima mediterráneo semiárido subtropical.

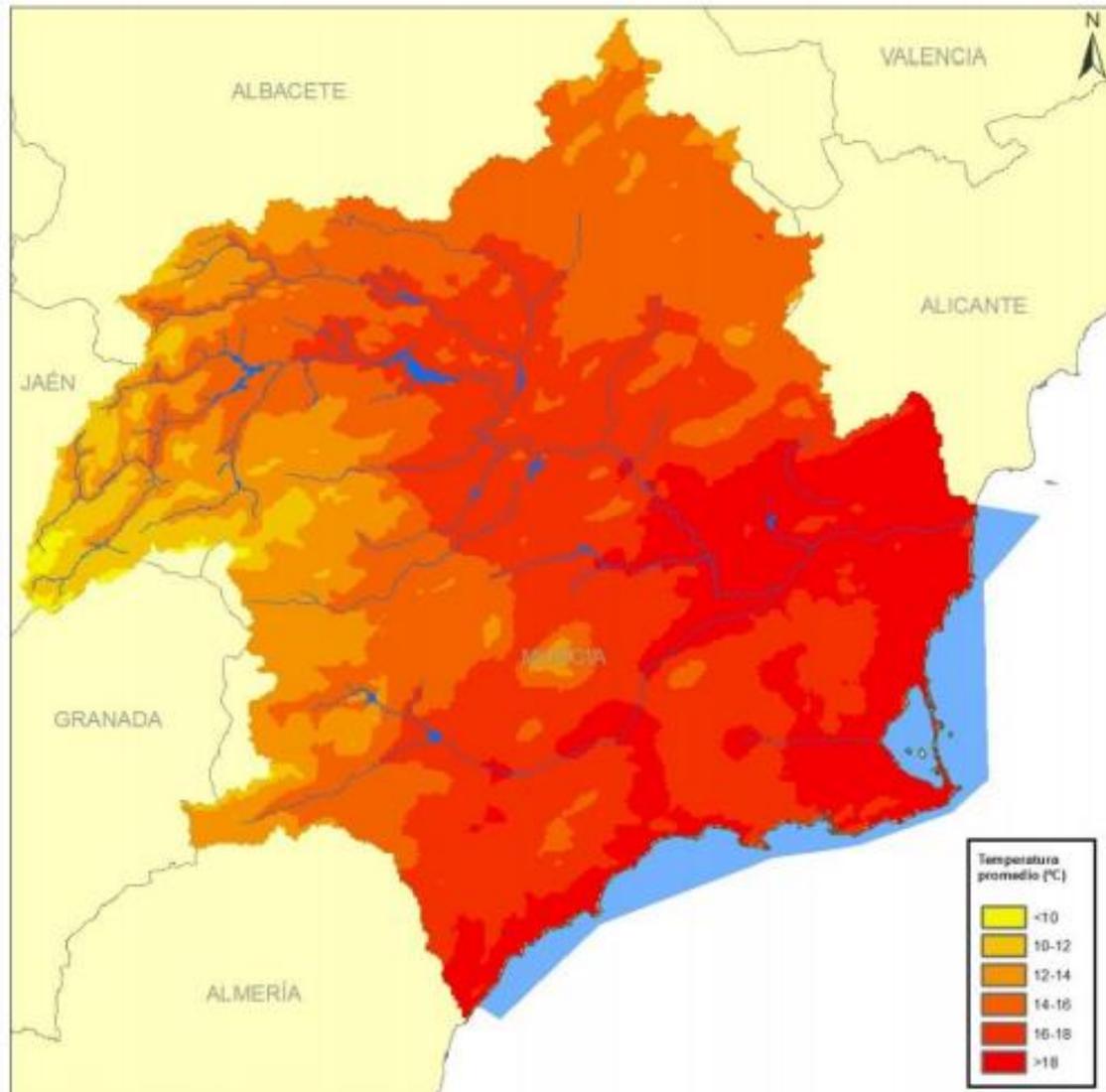


Figura 6. Distribución espacial de la temperatura promedio anual (C°) en la Cuenca Hidrográfica del Segura (Fuente: CHS, 2018).

### Aridez

Según el índice de humedad o índice de aridez definido (UNESCO, 1979) como el cociente entre la precipitación y la evapotranspiración potencial anual según Penman, existen regiones áridas, semiáridas, subhúmedas y húmedas. Como se aprecia en el mapa de clasificación climática, en la Cuenca Hidrográfica del Segura encontramos la zona del nacimiento del río Mundo y del Segura como zona húmeda, quedando el resto de la cuenca como zona semiárida e, incluso, como zona árida en las zonas costeras de la cuenca.

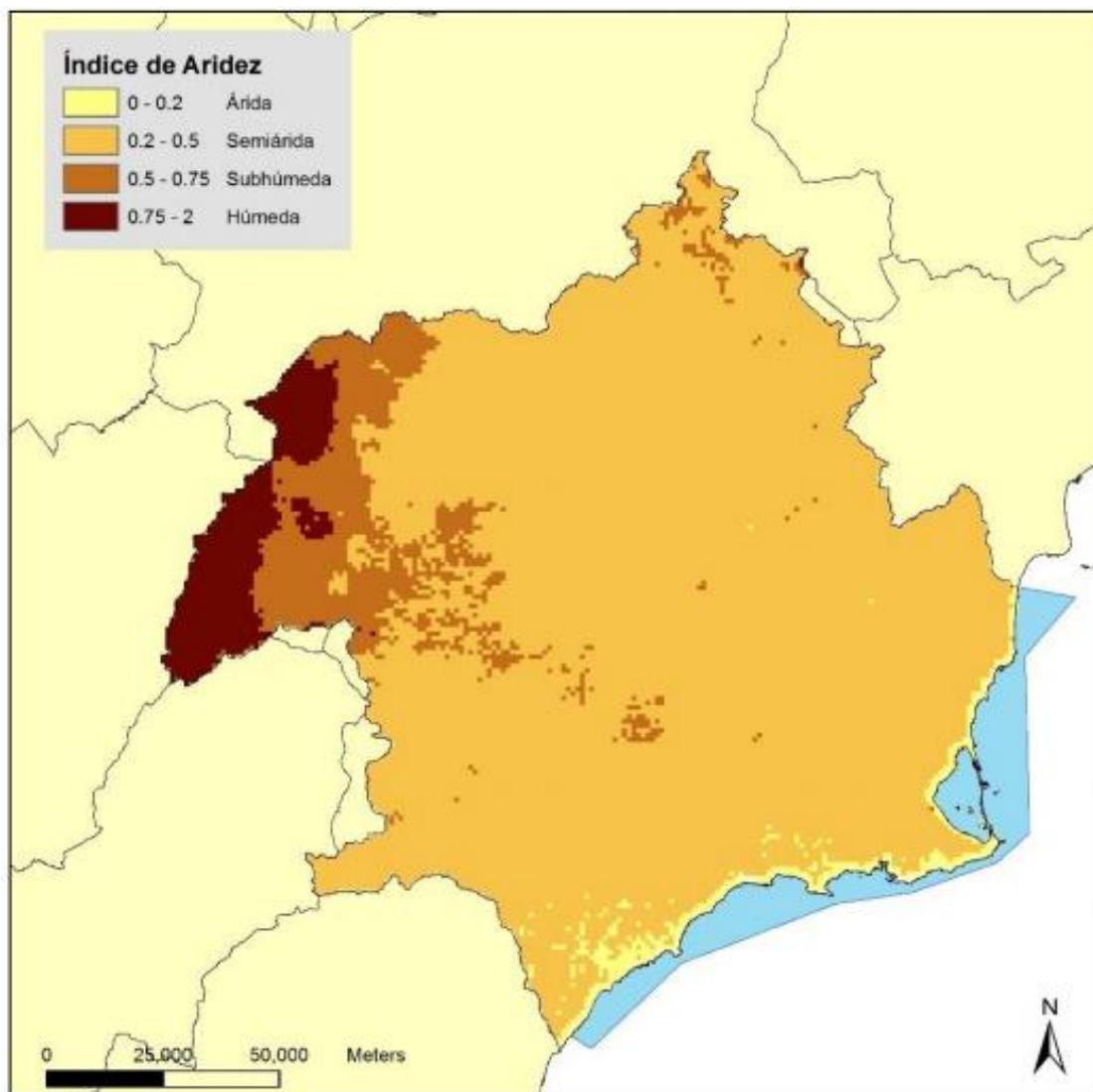


Figura 7. Mapa de clasificación climática según el índice de humedad o de aridez de la UNESCO en la cuenca hidrográfica del Segura. (Fuente: CHS, 2018).

#### 2.1.2.2.2. Morfología de la cuenca

Topográficamente la Cuenca Hidrográfica del Segura es un territorio de gran variedad orográfica en el cual alternan las montañas con valles, depresiones y llanuras, con cotas máximas por encima de los 2.000 m. La zonificación en altura ofrece en términos generales una distribución en la cual el 18% de superficie se sitúa por debajo de los 200 m de altitud; el 40% se encuentra bajo los 500 m de altitud y el 81% bajo la cota 1.000 m sobre el nivel del mar. Las sierras superan con frecuencia los 1.000 m, y los altiplanos, con alturas comprendidas entre 500 y 1.000 m, se extienden por el Noroeste, con topografía suave, y pendientes acusadas en los bordes. Entre las alineaciones montañosas surgen valles, corredores, depresiones, que, correspondiéndose con los cursos fluviales, no llegan a 500 m de altitud. Por debajo de los 200 m de cota solo aparecen suaves llanuras con pendientes débiles (zona de emplazamiento de nuestra obra).

### **2.1.2.2.3. Litología**

La Demarcación Hidrográfica del Segura se encuentra casi en su totalidad dentro del dominio geológico de las Cordilleras Béticas. Solo en su parte Norte se encuentran materiales de la cobertera tabular que ocultan los terrenos más antiguos del zócalo herciniano de la Meseta, los cuales constituyen, a su vez, la base del conjunto Bético. Las Cordilleras Béticas, al igual que sucede con la mayoría de las cordilleras alpinas, presentan dos grandes conjuntos de características netamente diferentes: Zonas Externas y Zonas Internas:

- Zonas Externas: Se localizan geográficamente al Norte y están formadas fundamentalmente por materiales del mesozoico-terciarios depositados en un margen de plataforma continental y plegados posteriormente por la orogenia alpina, sin que el zócalo rígido (continuación de los materiales paleozoicos de la Meseta) sea afectado de manera importante por ésta.
- Zonas Internas: Situadas al Sur, están formadas en su mayor parte por rocas metamórficas o que han sufrido algún principio de metamorfización. Corresponden, en su mayor parte a dominios paleogeográficos diferentes a los de las Zonas Externas y están relacionados con la placa africana.

Los materiales que conforman la zona son rocas superficiales que se depositaron desde el Mioceno Superior hasta el Cuaternario en una cuenca sedimentaria. Se trata de materiales de baja resistencia como areniscas, margas, limos rojos, costras calizas o caliches y depósitos cuaternarios.

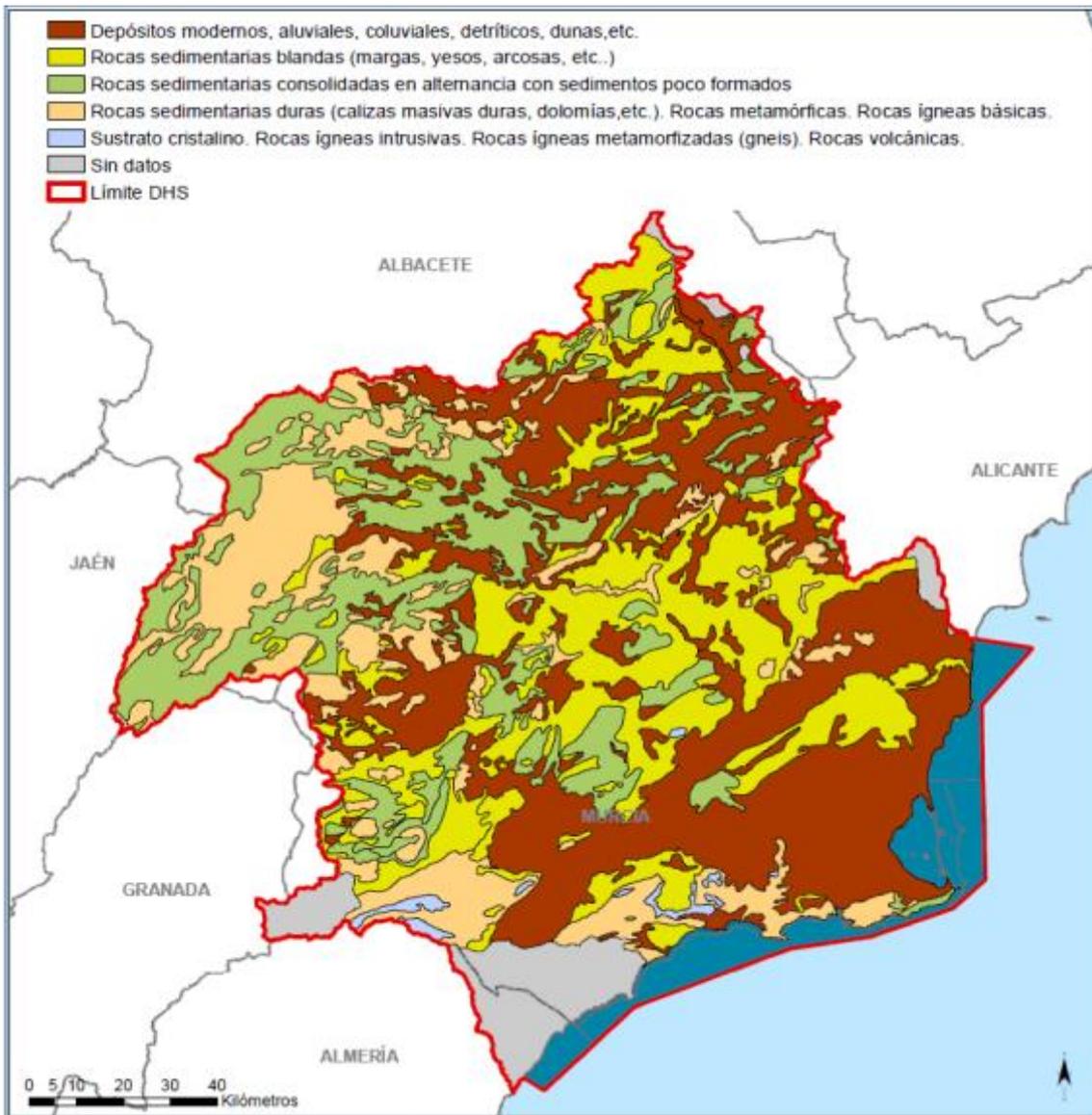


Figura 8. Litología de la Cuenca Hidrográfica del Segura (Fuente: PROPUESTA DE PROYECTO DE PLAN HIDROLÓGICO DE LA DEMARCACIÓN HIDROGRÁFICA DEL SEGURA, REVISIÓN PARA EL TERCER CICLO: 2022-2027, 2021).

## 2.2. MARCO LEGAL

### 2.2.1. Directiva Marco del Agua

La Directiva 2000/60/CE por la que se establece un marco comunitario de actuación en el ámbito de la política de aguas entró en vigor el 22 de diciembre del 2000 tras un extenso proceso de discusión, debate y puesta en común de ideas entre un amplio abanico de expertos, medioambientalistas, usuarios y políticos, que por consenso sentaron los principios fundamentales de la gestión moderna de los recursos hídricos y que constituyen hoy los cimientos de esta Directiva. La Directiva Marco Europea del Agua (DMA) nace como respuesta a la necesidad de unificar las actuaciones en materia de gestión de agua en la Unión Europea y representa un hito en la gestión de los recursos hídricos y sus ecosistemas relacionados.

Debido a que las aguas de la Unión Europea están sometidas a la creciente presión que supone el continuo crecimiento de su demanda, de buena calidad y en cantidades suficientes para todos los usos, surge la necesidad de tomar medidas para proteger las aguas tanto en términos cualitativos como cuantitativos y garantizar así su sostenibilidad. Éste es el reto de esta Directiva.

Además, la Directiva Marco del Agua permitirá establecer unos objetivos medioambientales homogéneos entre los Estados Miembros para las masas de agua y avanzar juntos en su consecución, compartiendo experiencias y conocimientos.

El objetivo principal de la Estrategia Común de Implantación (ECI) es garantizar una aplicación homogénea y lo más coordinada posible de la Directiva Marco del Agua, de tal forma que los países miembros y la propia Comisión Europea la interpreten de la misma forma. La ECI está coordinada por los Directores Generales del Agua.

Su principal resultado fue la creación de un sistema de intercambio de información denominado CIRCA (Communication Information Resource Centre Administrator). Asimismo, para la información y gestión de datos se desarrolló un sistema europeo de información WISE (Water Information System for Europe).

Los grupos de la ECI han creado una serie de guías metodológicas que muestran la interpretación a la que se ha llegado de la DMA.

Las actividades de aplicación, ensayo y validación pretenden validar las guías desarrolladas por los grupos de trabajo, aplicándolas a Cuencas Piloto repartidas por toda Europa y propuestas por los países miembros. El desarrollo de dichas actividades se considera elemento clave para el cumplimiento de los distintos requerimientos de la Directiva y para la elaboración de los Planes Hidrológicos de cuenca con arreglo a los criterios que ésta establece.

En la actualidad, la estructura de la ECI incluye la lista de los Directores Generales del Agua, un Grupo Estratégico de Coordinación, un Comité de la Directiva Marco del Agua y los diferentes grupos de trabajo o actividades de la ésta.

Algunos aspectos fundamentales de la Directiva Marco en relación a la planificación hidrológica son:

a) Participación Pública:

El artículo 14 de la Directiva Marco del Agua establece que se fomentará la participación activa de las partes interesadas en la aplicación de la misma, en particular en la elaboración, revisión y actualización de los planes hidrológicos de cuenca.

## b) Demarcaciones Hidrográficas:



. Figura 9. Demarcaciones Hidrográficas del territorio español (Fuente: Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico, 2021).

La delimitación de las demarcaciones hidrográficas y la composición de sus respectivos Comités de Autoridades Competentes se han fijado normativamente en los Reales Decretos y sus modificaciones. Con esta normativa se da cumplimiento a los requerimientos del artículo 3 de la Directiva Marco del Agua.

## c) Estudios Generales de las Demarcaciones:

La Directiva 2000/60/CE requiere en su artículo 5 a los Estados Miembros que velen por que se efectúe en cada demarcación hidrográfica o en la parte de una demarcación hidrográfica internacional situada en su territorio:

- 1) Un análisis de las características de la demarcación.
- 2) Un estudio de las repercusiones de la actividad humana en el estado de las aguas superficiales y de las aguas subterráneas.
- 3) Un análisis económico del uso del agua.

## d) Zonas Protegidas:

El artículo 6 de la DMA hace referencia al registro de zonas protegidas y señala que debe establecerse uno o más registros de todas las zonas incluidas en cada demarcación hidrográfica que hayan sido declaradas objeto de una protección especial en virtud de una norma comunitaria específica relativa a la protección de sus aguas superficiales o subterráneas o a la conservación de los hábitats y las especies que dependen directamente del agua.

e) Programas de medidas:

El artículo 11 de la directiva 2000/60/CE señala que debe establecerse un programa de medidas con el fin de alcanzar los objetivos medioambientales establecidos en su artículo 4.

Cada demarcación hidrográfica establecerá un programa de medidas en el que se tendrán en cuenta:

- 1) Los estudios para determinar las características de la demarcación.
- 2) Las repercusiones de la actividad humana en sus aguas.
- 3) El estudio económico del uso del agua.
- 4) Criterios de racionalidad económica y sostenibilidad.
- 5) Análisis coste-eficacia.
- 6) Efectos de las distintas medidas sobre otros problemas medioambientales y sociales, aunque no afecten directamente a los ecosistemas acuáticos, de acuerdo con el proceso de Evaluación Ambiental Estratégica del plan.

El plan hidrológico incluirá un resumen de los programas de medidas adoptados para alcanzar los objetivos previstos (con indicación de su coste y del plazo estimado para la consecución de los mismos).

Las medidas que componen el programa de medidas se clasifican, atendiendo a su carácter, en básicas y complementarias:

Medidas básicas

Las medidas básicas son los requisitos mínimos que deben cumplirse en cada demarcación.

Medidas complementarias

Las medidas complementarias son aquellas que en cada caso deben aplicarse con carácter adicional, una vez aplicadas las medidas básicas, para la consecución de los objetivos medioambientales o para alcanzar una protección adicional de las aguas.

f) Recuperación de costes:

La Directiva Marco del Agua señala en su artículo 9 que los Estados Miembros tendrán en cuenta el principio de la recuperación de los costes de los servicios relacionados con el agua, incluidos los costes medioambientales y los relativos a los recursos, a la vista del análisis económico efectuado, y en particular de conformidad con el principio de que quien contamina paga.

**2.2.1.1. Trasposición de la Directiva Marco del Agua**

La trasposición de la Directiva 2000/60/CE en España se realizó mediante la Ley 62/2003, de 30 de diciembre, de medidas fiscales, administrativas y del orden social que incluye, en su artículo 129, la modificación del texto refundido de la Ley de Aguas, aprobado por Real Decreto Legislativo 1/2001, de 20 de julio, por la que se incorpora al derecho español la Directiva 2000/60/CE, estableciendo un marco comunitario de actuación en el ámbito de la política de aguas.

## 2.2.2. Directiva 2007/60 de Evaluación y Gestión de Riesgos de Inundación

Entre 1998 y 2004, Europa sufrió más de cien inundaciones graves. Esas inundaciones causaron el desplazamiento de aproximadamente medio millón de personas y al menos 25.000 millones de euros de pérdidas económicas en seguros. Por este motivo la Comisión Europea adoptó en octubre de 2007 una Directiva sobre la evaluación y gestión de las inundaciones que introduce un nuevo enfoque e instrumentos para gestionar este tipo de riesgos y que fue transpuesta al ordenamiento jurídico español a través del Real Decreto 903/2010, de 9 de julio, de evaluación y gestión de riesgos de inundación. La implantación de esta Directiva supone una oportunidad para mejorar la coordinación de todas las administraciones a la hora de reducir estos daños, centrándose fundamentalmente en las zonas con mayor riesgo de inundación, llamadas Áreas de Riesgo Potencial Significativo de Inundación (ARPSI).

Durante el periodo 2011-2015 se desarrolló el primer ciclo de la aplicación de esta Directiva, que motivó la aprobación de los Planes de Gestión del Riesgo de Inundación (PGRI) en el año 2016. En estos momentos se están implantando dichos PGRI y, a la vez, está en desarrollo el segundo ciclo de la Directiva, que derivará en una revisión de los trabajos a realizar hasta este año (2021).



*Figura 10. Ejemplo de terrenos inundados (Fuente: Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico, 2021).*

Las inundaciones son la catástrofe natural que mayores daños genera en España. Según el Consorcio de Compensación de Seguros y el Instituto Geológico y Minero de España, en nuestro país, los daños por inundaciones se estiman en total en una media de 800.000.000 € anuales.

Las competencias en gestión y defensa frente a los efectos adversos de las inundaciones afectan a todas las administraciones, desde la Local en las labores de planeamiento urbanístico y protección civil, la Autonómica, en material de ordenación del territorio, protección civil y gestión del dominio público hidráulico en las cuencas intracomunitarias y la Estatal, en relación con protección civil, la gestión del dominio público hidráulico en las cuencas intercomunitarias y la gestión del dominio público marítimo terrestre en las inundaciones causadas en las zonas de transición y las debidas a la elevación del nivel del mar.

La Instrucción de fecha 8 de julio de 2020 del Secretario de Estado de Medio Ambiente para el desarrollo de Actuaciones de Conservación, Protección y Recuperación en cauces de Dominio Público Hidráulico en el ámbito territorial de las Confederaciones Hidrográficas establece el marco de acción para las obras a desarrollar por este Ministerio.

### 2.2.3. Estrategia Nacional de Restauración de Ríos

El Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico está desarrollando, en consonancia con la Directiva Marco del Agua a través de los planes hidrológicos de cuenca y la Directiva de Evaluación y Gestión de los Riesgos de Inundación a través de los Planes de Gestión del Riesgo de Inundación (PGRI), la Estrategia Nacional de Restauración de Ríos (ENRR), un conjunto de actuaciones con el fin de conservar y recuperar el buen estado de nuestros ríos, minimizar los riesgos de inundación, potenciar su patrimonio cultural, fomentar el uso racional del espacio fluvial e impulsar el desarrollo sostenible del medio rural.

La ENRR se inició en el año 2005, en la que se fijaron los objetivos a partir de diversas mesas de soporte y diagnóstico.

#### 2.2.3.1. Objetivos de la Estrategia Nacional de Restauración de Ríos

El objetivo general de la Estrategia Nacional de Restauración de Ríos es impulsar la gestión actual de nuestros ríos de forma que a través de los distintos trabajos en marcha por parte de las administraciones, nuestros ríos alcancen el buen estado ecológico de acuerdo con lo establecido en la Directiva Marco del Agua.

Otros objetivos específicos que se plantean con esta Estrategia Nacional se refieren a:

- Fomentar la integración de la gestión de los ecosistemas fluviales en las políticas de uso y gestión del territorio, con criterios de sostenibilidad.
- Contribuir a la mejora de la formación en los temas relativos a la gestión sostenible de los ríos y su restauración.
- Aportar información y experiencias para mejorar las actuaciones que se están llevando a cabo en el ámbito de la restauración de los ríos en España.
- Fomentar la participación ciudadana e implicar a los colectivos sociales en la gestión de los sistemas fluviales.

El logro de todos estos objetivos va a permitir obtener una serie de resultados, centrados en los siguientes aspectos:

- Mejora del conocimiento sobre el funcionamiento y la dinámica natural de los ríos españoles.
- Mayor percepción de la relación entre el río y su cuenca vertiente, y entre unos tramos y otros en el continuo fluvial, valorando el efecto acumulativo de las intervenciones en el tiempo y en el espacio.
- Formación más actual y transdisciplinar de los equipos que llevan a cabo los proyectos de gestión del espacio fluvial.
- Nuevos enfoques para una planificación del aprovechamiento sostenible de los recursos hídricos y la conservación de los ecosistemas acuáticos.
- Aumento de la percepción social de los problemas asociados a los ríos relacionados con las presiones existentes.
- Mayor participación pública sobre la gestión de los cauces y llanuras de inundación.

### 2.2.3.2. Soporte y diagnóstico

La formulación de una Estrategia Nacional debe estar respaldada por un soporte técnico, científico y soporte social que ponga en evidencia los objetivos de la misma y la aceptación de dichos objetivos por parte de los ribereños y colectivos afectados.

Para cumplir estos requisitos, se han llevado a cabo una serie de Mesas de Trabajo para debatir la problemática en torno a los temas de más relevancia en el estado ecológico de los ríos, con representantes de las distintas administraciones, los colectivos científicos, los principales grupos ecologistas, las asociaciones de agricultores, el sector del urbanismo, empresas hidroeléctricas, asociaciones de pescadores, vecinales, etc.

Cualquier propuesta de actuaciones debe partir de un conocimiento de las deficiencias de su estructura y su funcionamiento, aludiendo no solo a los síntomas de degradación sino también a las causas que los generan. En este sentido, las principales presiones e impactos de los ríos españoles consideradas para la formación de las distintas Mesas de Trabajo aparecen en la figura siguiente:



Figura 11. Presiones e impactos en los ríos consideradas para la formación de las Mesas de Trabajo (Fuente: Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico, 2021).

La forma en la que se está actuando actualmente en el río Segura con respecto a las avenidas, desbordamientos e inundaciones que hubo, es la descrita anteriormente, aplicándola a su caso particular. De ahí que el problema se esté atajando correctamente para que no vuelva a ocurrir, gracias en parte a estos mecanismos jurídicos previos que nos indican cómo actuar.

#### 2.2.4. Dominio Público Hidráulico

El Dominio Público Hidráulico incluye:

- Las aguas continentales, tanto superficiales como subterráneas, es decir, las de ríos, ramblas o cauces intermitentes, lagos, embalses y acuíferos, etc. También las aguas procedentes de desalación.
- Los cauces de corrientes naturales continuas o discontinuas, lo que significa el terreno sobre el que circula, tanto ríos como ramblas.
- Los lechos de embalses y lagos.

Así, el Dominio Público Hidráulico comprende tanto el agua como la superficie por la que discurre o la contiene. Quedan excluidas las aguas marinas y las aguas privadas. La existencia del Dominio Público Hidráulico responde a la necesidad de garantizar una protección para los recursos hídricos y su ecosistema. La defensa de este bien común y su aprovechamiento está regulada por la Ley de Aguas.

Como regla general, se requiere permiso para la utilización del Dominio Público Hidráulico para:

- Obras
- Extraer áridos
- Plantar o cortar vegetación
- Establecer puentes, pasarelas, embarcaderos, etc.
- Navegación

Además, las prohibiciones y los permisos son diferentes dependiendo a qué zona del cauce o los márgenes afectan. Las distintas partes que forman el Dominio Público Hidráulico y sus zonas de protección son:

##### Zona de servidumbre

La zona de servidumbre es una franja de 5 m a partir del límite del Dominio Público Hidráulico que tiene los usos muy limitados, ya que su objetivo es la protección del ecosistema y el Dominio Público Hidráulico, servir de zona de paseo y circulación de vehículos oficiales y de emergencias y de amarre ocasional de embarcaciones. Necesita autorización la plantación o tala de árboles. Las obras, vallados o cualquier clase de construcción están prohibidas.

##### Zona de policía

La zona de policía comprende 100 m desde el Dominio Público Hidráulico. Necesita autorización: talado de árboles, alteraciones sustanciales del terreno, extracción de áridos y construcciones, ya sean fijas o provisionales.



Figura 12. Partes que configuran el Dominio Público Hidráulico (Fuente: Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico, 2021).

- Aprovechamiento de las aguas superficiales

Está permitido sin autorización: beber, bañarse, otros usos domésticos y abreviar el ganado. Cualquier otro uso requiere permiso.

- Aprovechamiento de aguas subterráneas

Se necesita permiso para: extracción de agua de pozos y manantiales, perforación y limpieza de pozos.

- Prohibiciones generales

En zona de Dominio Público Hidráulico queda prohibido con carácter general:

- Actividades que dañen el Dominio Público Hidráulico.
- Acumulación de residuos que puedan contaminar el agua o su entorno.
- Efectuar acciones sobre el medio físico o biológico ligado a la masa de agua.

Como se indica, organismos o particulares deben solicitar permisos para diversas acciones en zona de Dominio Público Hidráulico. A modo de ejemplo, es el caso de las competiciones deportivas que se celebran en el río Segura. En este caso necesita un permiso de navegación, otro para la colocación de plataformas de acceso al agua y finalmente uno para la ocupación de la zona de servidumbre con instalaciones desmontables para los deportistas, organizadores y público.

- Expedientes por daños al Dominio Público Hidráulico

Las confederaciones hidrográficas pueden iniciar expedientes contra todos aquellos particulares, empresas o instituciones que incumplan las prohibiciones o actúen sin autorización. Además, también podrán sancionar a quien desobedezca las órdenes del organismo de cuenca o sus representantes. La Confederación Hidrográfica del Segura en el año 2012 tramitó 666 expedientes sancionadores.

#### **2.2.4.1. Legislación relativa al Dominio Público Hidráulico**

Real Decreto 670/2013, de 6 de septiembre, por el que se modifica el Reglamento del Dominio Público Hidráulico aprobado por el Real Decreto 849/1986, de 11 de abril, en materia de registro de aguas y criterios de valoración de daños al dominio público hidráulico.

### **2.3. INUNDACIONES EN LA VEGA BAJA DEL SEGURA**

#### **2.3.1. Cronología de inundaciones en la Cuenca del Segura**

Desde el siglo XIII hay registros de diversas inundaciones y crecidas del río Segura.

En este apartado nos centraremos en la cronología de las inundaciones más importantes de los últimos tres siglos, sin tener en cuenta la última DANA de septiembre 2019.

##### 15/10/1879

Riada de Santa Teresa. Esta gran avenida, cuya noticia trascendió incluso de las fronteras españolas, dio paso a la celebración en Murcia del "Congreso contra las Inundaciones de la Región de Levante" en marzo de 1885, del cual los ilustres Ingenieros de Caminos D. Ramón García Hernández y D. Luis Gaztelu Maritorea desarrollaron un vasto plan de obras de defensa contra las inundaciones, titulado "Proyecto de Obras de Defensa contra las Inundaciones en el Valle del Segura", fechado en el año 1886. Fue el primer Plan global de defensa contra las avenidas que se hizo en España, sorprendiendo la visión de futuro de estos técnicos que ya proponían regular el río Segura en su cabecera, aunque, en dicho Plan, se proyectaba un mayor número de obras en la cuenca del río Guadalentín, que hasta ese momento era el que más daño causaba debido a sus crecidas.

Cauces: Guadalentín, Mundo, Segura.

##### 27/02/1890

Fue una riada que duró cuarenta y tres días. En este periodo de tiempo que duró la avenida se efectuaron las siguientes observaciones en el río Segura: Volumen = 322.800.000 m<sup>3</sup> y Caudal máximo = 615 m<sup>3</sup>/s. Se desbordaron las ramblas de Gamedal y Tabala.

Cauces: Segura, Guadalentín, Reguerón, Ramblas de Tabala y Gamedal.

### 31/03/1894

"Riada de San Amos". Hubo un temporal de lluvias en la Cuenca del Segura durante la segunda quincena de marzo. Como consecuencia de las mismas se presentaron avenidas en la mayor parte de los ríos de la cuenca. El día 30 se inició una crecida del Segura que inmediatamente alcanzó metro y medio sobre su nivel ordinario. El Reguerón llevaba una crecida considerable, faltó un palmo para el desbordamiento; se rompió el puente de Tiñoso y destrozó el camino de Salabosque. En Orihuela la inundación fue desastrosa; se rompieron varios portillos en Beniel. Las huertas de Molina y Desamparados se inundaron hasta el límite de los términos de Murcia y Orihuela. En la zona baja las aguas llegaron al puente del ferrocarril de Rojales a Torrevieja. La rambla de Tabala, que llevaba una crecida extraordinaria, inundó la vía férrea y produjo daños de consideración en la huerta.

Cauces: Segura y Guadalentín.

### 29/09/1919

Riada de San Jerónimo/San Miguel. Durante los últimos días de septiembre, un ciclón procedente del mar Mediterráneo abarcó una extensa zona en la cuenca del Segura. Comenzaron las lluvias en Murcia, el día 27, con una torrencial, que inundó calles y plazas; en los barrios de San Juan y del Carmen, se anegaron muchas viviendas; se interrumpieron las comunicaciones con Alicante. Estalló en Murcia una tormenta el día 29 que se repitió al día siguiente; se volvieron a anegar varias casas. El río Segura desbordó por el Parque de Ruiz Hidalgo, arrastrando gran número de árboles. El río Guadalentín desbordó por varios sitios. Desbordaron las ramblas de Peñaperros, Caravaca, La Rosa, Salada y gran número de barrancos. En la parte alta del río quedaron destrozadas las huertas.

Cauces: Guadalentín, Ramblas de Hondón y Ramblas del campo de Cartagena.

### 24/09/1921

Riada de la Virgen de las Mercedes. El día 22 de septiembre, un extenso temporal con carácter tormentoso se presentó en la Cuenca del Segura con rumbo Noroeste. El mismo temporal continuó el día 23. De madrugada se inició la crecida en Murcia, alcanzando el nivel del agua hasta una altura de siete metros. En la cuenca del Guadalentín, se desató un temporal. Los embalses del Quipar y de Puentes salvaron a Murcia de una catástrofe, si no hubieran estado en explotación estas obras, el caudal del Segura habría alcanzado la misma magnitud que el de la riada de Santa Teresa.

Cauces: Segura y Guadalentín.

### 20/10/1973

Avenida de Puerto Lumbreras. La rambla de Nogalte, que atraviesa la ciudad de Puerto Lumbreras, llevaba el día 19 un caudal de unos 2.000 m<sup>3</sup>/s, de los cuales unos 800 eran de materiales sólidos. A su paso por dicha ciudad arrasó parte de ella, produciendo 85 víctimas conocidas y otras muchas desaparecidas incluso con sus vehículos, causando gravísimos daños. Los ríos que afluyen al embalse de Puentes aportaron a éste un importante caudal, vertiendo con una lámina de 1,14 m por encima de coronación de presa. Se estimó un caudal de más de 2.000 m<sup>3</sup>/s en el río Guadalentín, una vez laminado por la presa de Puentes, y como consecuencia de ello inundó la vega de Lorca y varios barrios urbanos, causando 13 muertos, grandes daños y ocasionando el que más de 400 familias tuvieran que ser evacuadas. El canal de derivación de la presa del



Paretón iba lleno en dirección al mar, y en el Guadalentín se estimó un caudal de más de 300 m<sup>3</sup>/s que, al llegar al canal del Reguerón, se desbordaron, lo que provocó la inundación de la huerta de Murcia, teniendo que ser evacuadas centenares de personas. En la cuenca del río Mula, éste se desbordó inundando todas las zonas ribereñas que había a lo largo de su cauce, produciendo graves daños. En su confluencia con el río Segura, produjo el desbordamiento de éste, anegando amplias zonas de Alguazas y Molina. El río Segura siguió desbordándose entre Santa Cruz y Beniel, ocasionando muchos daños y teniendo que ser evacuadas centenares de familias. Posteriormente siguió desbordándose en la Vega Baja asolando la huerta de Orihuela, donde fueron evacuadas unas 500 personas.

Cauces: Guadalentín, Mula y Segura.

03/11/1987

Un fuerte temporal de lluvias afectó a la totalidad de la cuenca, produciendo desbordamientos en los ríos Pliego y Mula y teniendo que ser evacuadas las localidades de Baños de Mula, que quedó destruida, y parte de Albudeite, cuyo puente, que divide a la ciudad, fue arrasado por el ímpetu de las aguas al igual que la guardería infantil. Como el temporal de lluvias arreció, el río Segura siguió recibiendo aportaciones por sus dos márgenes, y pequeñas ramblas se convirtieron en verdaderos ríos, asolando cuanto encontraban a su paso. Esto hizo que el río Segura produjera inundaciones generales en sus Vegas Media y Baja, siendo las localidades próximas al cauce las más afectadas, donde centenares de personas tuvieron que ser evacuadas. La tragedia se extendió a la zona costera y todas las ramblas que vierten al mar arrasaron todo lo que encontraron a su paso. En la comarca del Mar Menor cayeron unos 490 l/m<sup>2</sup>.

Cauces: Segura, Mula y Pliego.

28/09/2012

Fuertes lluvias con inundaciones en los municipios de Lorca, Fuente Álamo, Beniaján, Blanca, Bullas, Campos del Río, Cehegín, Mazarrón, Molina de Segura, Murcia, Orihuela, Puerto Lumbreras, Pulpí y Totana, que generaron importantes caudales en los cauces de la cabecera del Guadalentín, Nogalte y Canales. El embalse de Puentes, que se mantuvo cerrado durante la riada recibió caudales que superaron los 2.000 m<sup>3</sup>/s y almacenó en un día 12,8 hm<sup>3</sup>. Valdeinfierno que recibió una importante punta de avenida también embalsó 4,6 hm<sup>3</sup>. Junto a los embalses de Puentes, Valdeinfierno y Algeciras, también desempeñaron una importante función de control el azud del Paretón, ubicado en el municipio de Totana, desde el que se derivaron importantes caudales hacia el mar a través de la rambla de Las Moreras, y el embalse de José Bautista, en Librilla, que laminó la crecida del Guadalentín antes de su recorrido final por el canal de El Reguerón, que desemboca aguas debajo de la ciudad de Murcia. Se registran 5 fallecidos en Puerto Lumbreras y Lorca.

Cauces: Varios

## 2.3.2. Análisis climatológico

### 2.3.2.1. AEMET: Importancia de los sistemas de predicción y vigilancia

Tal y como se establece en el Estatuto de la Agencia Estatal de Meteorología (AEMET), una de sus funciones primordiales es la elaboración, el suministro y la difusión de las informaciones meteorológicas y predicciones de interés general para los ciudadanos en todo el ámbito nacional, y la emisión de avisos y predicciones de fenómenos meteorológicos que puedan afectar a la seguridad de las personas y a los bienes materiales. La AEMET, a través de internet, pone a disposición de todos sus usuarios predicciones meteorológicas a distintas escalas espaciales y temporales, tanto de interés general como específicas para una determinada actividad. Se presentan predicciones a escala nacional, autonómica, provincial y local, así como predicciones específicas para las actividades aeronáutica, marítima, de montaña, etc. Asimismo, AEMET mantiene una vigilancia continua sobre la ocurrencia de fenómenos meteorológicos adversos que puedan afectar a la seguridad de las personas y a los bienes materiales.

El Plan Nacional de Predicción y Vigilancia de Fenómenos Meteorológicos Adversos (Meteoalerta), pretende facilitar la más detallada y actualizada información posible sobre los fenómenos atmosféricos adversos que puedan afectar a España hasta un plazo máximo de 60 horas, así como mantener una información continuada de su evolución. Para ello, los respectivos boletines de aviso se distribuyen de modo inmediato a las Autoridades de Protección Civil, así como a los distintos medios informativos; además, se actualizan constantemente en la página web de AEMET.

Se considera fenómeno meteorológico adverso a todo evento atmosférico capaz de producir, directa o indirectamente, daños a las personas o daños materiales de consideración. Los fenómenos contemplados en Meteoalerta son los siguientes: lluvias, nevadas, vientos, tormentas, temperaturas extremas, fenómenos costeros (viento y mar), polvo en suspensión, aludes, galernas cantábricas, rissagues (risagas) en Baleares, nieblas, deshielos, olas de calor y de frío y tormentas tropicales.

En cuanto a los umbrales y niveles de adversidad, es muy importante que los avisos de Meteoalerta informen del modo más claro posible sobre el riesgo potencial de un fenómeno adverso previsto. El riesgo meteorológico está directamente relacionado con la peligrosidad del fenómeno ya que, cuanto mayor sea ésta, menos preparada está la población para enfrentarse a sus efectos. AEMET ha establecido los umbrales para cada fenómeno contemplado. De acuerdo con ello, aparecen cuatro niveles básicos (en orden creciente de riesgo):

- **Verde:** No existe ningún riesgo meteorológico.
- **Amarillo:** No existe riesgo meteorológico para la población en general aunque sí para alguna actividad concreta, y en zonas especialmente vulnerables.
- **Naranja:** Existe un riesgo meteorológico importante (fenómenos meteorológicos no habituales y con cierto grado de peligro para las actividades usuales).
- **Rojo:** El riesgo meteorológico es extremo (fenómenos meteorológicos no habituales de intensidad excepcional y con un nivel de riesgo para la población muy alto). Como era de esperar, el riesgo de la DANA de septiembre de 2019 fue rojo por su gravedad.

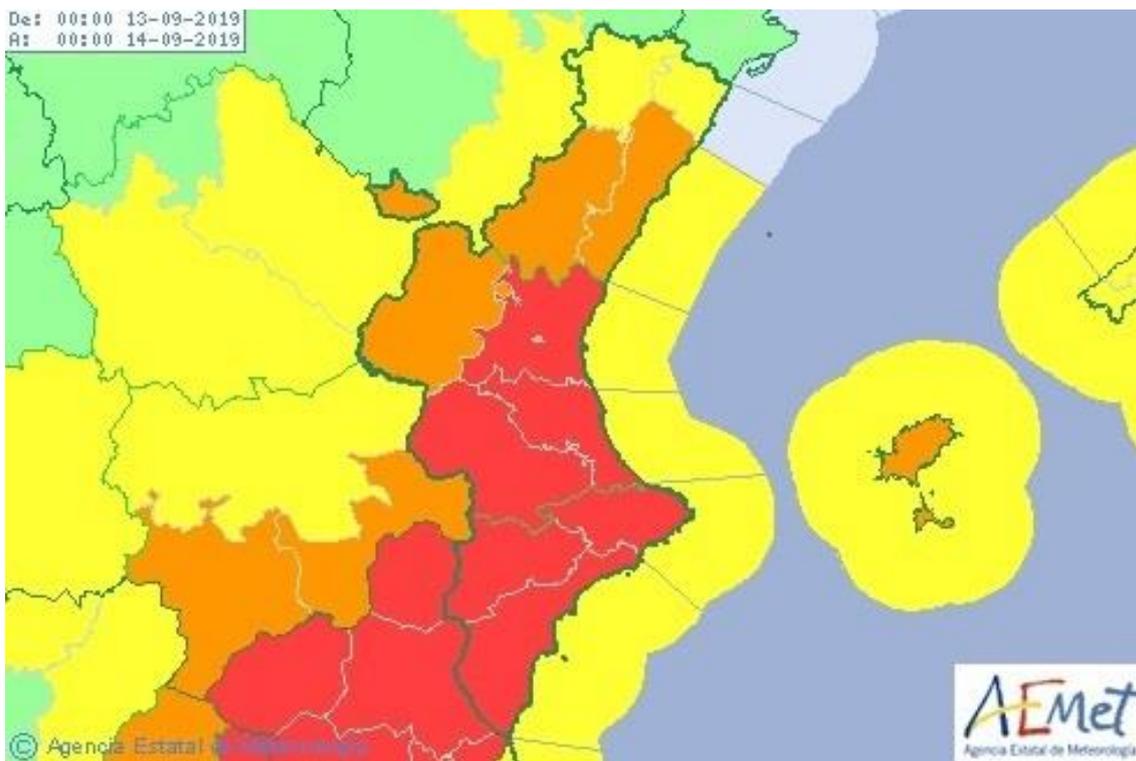


Figura 13. Alertas durante la DANA de septiembre de 2019 (Fuente: AEMET, 2019).

Para difundir esta información de manera amplia y eficaz, se confeccionan los boletines de aviso y se envían inmediatamente a las Autoridades estatales y autonómicas de Protección Civil, se recogen en la página web de la AEMET y se facilitan a los diversos medios de comunicación.

### 2.3.2.2. Riada de Santa María (DANA del 11 al 17 de septiembre de 2019)

Entre los días 11 y 17 de septiembre de 2019 tuvo lugar una de las inundaciones más devastadoras y catastróficas que se han producido en España en los últimos años, con 6 muertes, dos de ellas en la Cuenca del Segura (Redován y Orihuela), y numerosos daños materiales. El evento que asoló gran parte del Sureste peninsular y dio lugar a precipitaciones torrenciales en muchas regiones de la vertiente mediterránea puede calificarse de extraordinario, tanto por su ciclo de vida, que se alargó durante casi seis días, como por su trayectoria, al viajar hacia el Sur y retornar posteriormente hacia el Norte, dando lugar a que en algunas zonas padecieran sus efectos dos veces en un breve lapso de tiempo. Carreteras, colegios y los aeropuertos de Murcia y Alicante cerraron. Se contabilizaron 3.500 personas evacuadas y 1.100 militares desplegados.

En la Vega Alta, el río Segura se desbordó a su paso por Cieza, Blanca (en la que también desbordó la rambla de San Roque), Molina de Segura y Alguazas. Se produjeron inundaciones de gran extensión en las Vegas Media y Baja del río Segura (de más de 500 km<sup>2</sup>) donde el agua discurrió a gran velocidad en algunas zonas (flujos preferentes), mientras que en la gran mayoría permanecieron anegadas durante días debido a la dificultad de drenaje del territorio (tanto por sus características geomorfológicas como por la ocupación del territorio).

El río Segura a su paso por Murcia estuvo a punto de desbordar, y aguas abajo de esta ciudad, a la altura del municipio de El Raal, la mota del encauzamiento del río se rompió, tras el registro de las lluvias más fuertes. Hubo también otros puntos de rotura de las motas del encauzamiento.



Figura 14. Rotura de mota en el municipio de El Raal (Fuente: Atresmedia, 2019).

El municipio de Orihuela se inundó debido al cuello de botella formado por el monte de San Miguel y a la falta de capacidad del río Segura a su paso por esta localidad, con secciones críticas de capacidad menor a 350 m<sup>3</sup>/s. El municipio de Orihuela además se vio gravemente afectado por el desbordamiento de la rambla de Abanilla.

Las lluvias de este evento comenzaron el día 11 de septiembre y finalizaron el día 17 del mismo mes. Sin embargo, las máximas intensidades de las precipitaciones se registraron durante los días 12 y 13. En el periodo que duró el evento se registraron máximos históricos, alcanzándose 521,6 l/m<sup>2</sup> en Orihuela, 396,4 l/m<sup>2</sup> en Jacarilla y 308,7 l/m<sup>2</sup> en la zona del Albuñón.

En el Campo de Cartagena la magnitud del evento fue menor que en la Vega Baja del Segura. No obstante, se llegaron a alcanzar valores de precipitación acumulada del orden del período de retorno de 500 años e incluso de 1.000 años.

En la estación de La Puebla (T.M. de Cartagena), en la rambla del Albuñón, destaca la velocidad con la que se acumuló la precipitación desde el instante 24 h hasta el instante 30 h. En esta estación la intensidad de la lluvia pasó de una precipitación acumulada correspondiente a menos de 2 años de período retorno a una precipitación de 1.000 años de período de retorno en 6 horas. Durante el evento, los satélites Sentinel del programa europeo Copernicus de observación de la Tierra capturaron imágenes de los efectos del evento. Mediante estas imágenes se pueden identificar como las zonas más afectadas de la Vega Baja del río Segura y el Campo de Cartagena, son coincidentes con las áreas con valores máximos de lluvia que se distinguen en el mapa de precipitación acumulada.

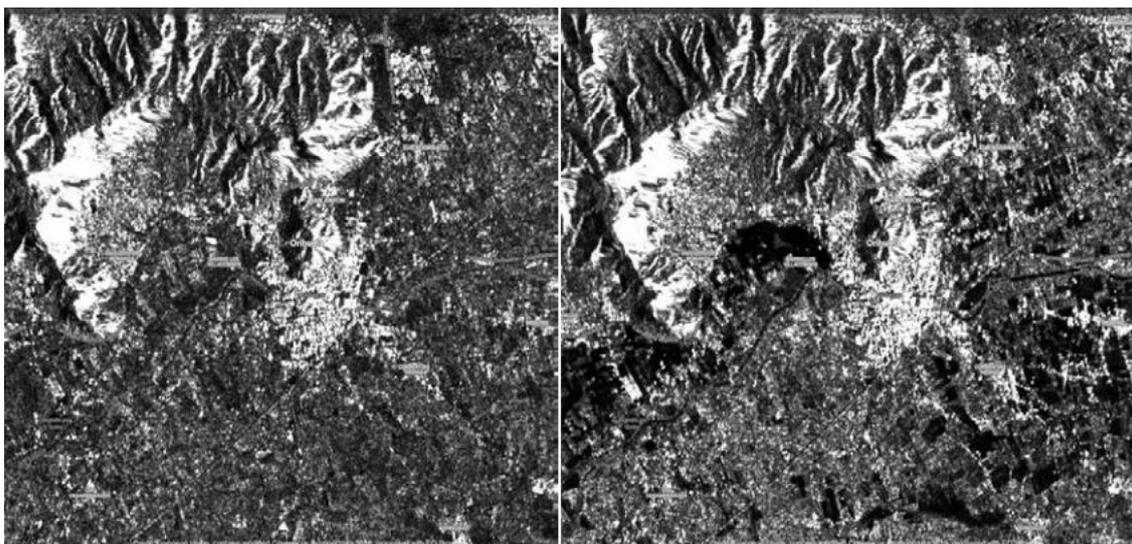


Figura 15. Antes y después de la DANA en el municipio de Orihuela (Fuente: Satélite Sentinel, 2019).

Sus efectos fueron particularmente devastadores, acumulándose un total de 69.500 solicitudes de indemnización recibidas en el Consorcio de Compensación de Seguros (CCS), con daños por unos 460.000.000 €, de los que 441.000.000 € fueron en el ámbito de la Cuenca del Segura (214.000.000 € en Alicante y 227.000.000 € en Murcia). Es la inundación con mayor número de indemnizaciones recibidas en la historia del CCS.

### 2.3.2.3. Análisis del fenómeno meteorológico

A partir de últimas horas del lunes día 9, se produjo la entrada de la DANA (Depresión Aislada en Niveles Altos) por el Cantábrico oriental, desplazándose a lo largo del martes 10 de Norte a Sur por el Este de la Península y permaneciendo estacionaria entre el Sureste peninsular y el Norte de África durante los días siguientes hasta el viernes 13.

En capas bajas se observó un intenso flujo de viento húmedo e inestable del Este que, además de las precipitaciones de intensidad torrencial que se produjeron en diversos puntos de la Comunidad Valenciana y de la Región de Murcia, y que llegaron a ser históricas y catastróficas en comarcas como la Vega Baja, generó un importante temporal de levante, con intervalos de viento del Nordeste de fuerza 8 y mar muy movido, con olas que superaron los 4 m. El desplazamiento de la baja en altura de Norte a Sur a partir del día 11 y de Sur a Norte a partir del 13, y el del chorro en capas bajas de Norte a Sur el día 12, fueron los elementos rectores de los sistemas convectivos que se desarrollaron y que focalizaron las precipitaciones en el Sur de la provincia de Valencia, en la de Alicante y en la Región de Murcia. Un último elemento que siempre está presente en los temporales de levante es la subida del nivel del mar a causa del tránsito de sistemas de bajas presiones. Los mareógrafos de Puertos del Estado llegaron a registrar ascensos de casi medio metro en aguas costeras de la provincia de Alicante.

Las incertidumbres en la predicción de formación de estos fenómenos son siempre elevadas, por lo que ante estas situaciones meteorológicas, desde los centros operativos de predicción se opta por aumentar la vigilancia, haciendo un seguimiento continuo de la estructura nubosa, de la convección (como elemento clave que suele

estar presente en la formación de estos fenómenos debido a la enorme liberación de calor latente) y de la evolución de la presión al nivel del mar. Finalmente, no se produjo la formación del ciclón mediterráneo, y no se observó en la mañana del día 11 la estructura nubosa característica de estos ciclones, con la típica espiral nubosa.

Pero fue a mediodía y primera hora de la tarde del día 11 cuando ya se produjeron precipitaciones de intensidad muy fuerte en el Camp de Morvedre y sur de Plana Baixa, con registros en una hora que superaron los 40 l/m<sup>2</sup> y acumulados que se acercaron a 100 l/m<sup>2</sup> durante el episodio. Pero la fase más adversa se desarrolló desde la madrugada del jueves 12 y hasta la mañana del viernes 13. La secuencia de imágenes radar del día 12 muestra la presencia de varios trenes convectivos que durante la madrugada del jueves 12 afectaron a las comarcas el Norte de Alicante y Sur de Valencia para posteriormente desplazarse hacia el Sur, afectando a mediodía a la comarca de la Vega Baja y por la tarde al litoral del Baix Vinalopó. En el Norte de Alicante y Sur de Valencia las precipitaciones tuvieron intensidad torrencial de madrugada y por la mañana del día 12 en localidades como Gaianes, l'Orxa, Beniarrés y Ontinyent.

La mayor adversidad del episodio se produjo en la comarca de la Vega Baja, donde el temporal descargó con intensidad torrencial en dos fases, en el entorno del mediodía del día 12, cuando se registraron 225 l/m<sup>2</sup>, de los cuales 184,4 l/m<sup>2</sup> en dos horas en el pluviómetro que la Confederación Hidrográfica del Segura tiene en Orihuela. Menos de 24 horas después, a primera hora de la mañana del día 13, con el movimiento de la DANA hacia el norte, un nuevo chubasco de intensidad torrencial descargó sobre la comarca, con 191 l/m<sup>2</sup> acumulados entre las 7 y las 10 de la mañana de los cuales 74,4 l/m<sup>2</sup> en una hora.

La circulación de una DANA tan profunda por el Sur de la Península Ibérica en una fecha tan temprana del otoño climatológico, en la primera mitad de septiembre, es un hecho anómalo, y precisamente en la época en la que más energía disponible hay en la baja troposfera, casi necesariamente tendría que implicar que los fenómenos meteorológicos que se produjesen también serían extraordinarios a poco que el flujo en capas bajas tuviese la configuración adecuada, como así ocurrió en este caso.

Durante unas pocas horas de temporal, entre la mañana del día 12 y la mañana del día 13, se acumuló en el promedio de la comarca de la Vega Baja el equivalente a la lluvia de un año. El temporal de septiembre de 2019 es el de mayor precipitación acumulada en la comarca en al menos los últimos 100 años.

Se trata de un acontecimiento climático de tales magnitudes para la zona en la que se ha encontrado, que podemos considerar su periodo de retorno bastante superior a 100 años ( $T > 100$  años). En consecuencia, como nuestro futuro proyecto está basado en las inundaciones que se dieron ese año, éste será diseñado para soportar otro acontecimiento de magnitudes similares, que sabemos que la probabilidad de que vuelva a ocurrir en un periodo corto de tiempo es bastante remota (aunque no imposible), con lo cual será efectiva hasta el fin su vida útil.

Precipitación acumulada  
Redes AEMET, CH Segura y CH Júcar  
Días 10 al 14 de septiembre de 2019

Observatorio	Precipitación acumulada	Observatorio	Precipitación acumulada
Orihuela (CH Segura)	521.6	Jalance	124.3
Gaiñes	482.8	Faura	122.8
Beniarós	482.6	Novelda	118.8
l'Orxa	413.8	Pinoso	118.8
Jacarilla	404.6	Carcaixent	108.6
Ontinyent	401.0	Quartell	101.8
Crevillent	323.2	Almenara	100.0
Embalse de la Pedrera (CH Segura)	321.0	Xàtiva	93.6
Orihuela (los Desamparados)	318.2	Ibi	93.2
Otos	302.6	Alicante/Alicant	92.6
Moixent	282.6	València	73.9
Muro d'Alcoi	277.8	Pollinyà	73.6
Orba	276.0	Chiva	70.8
Agres	256.8	Alginet	64.9
Guadalest	249.6	Oliva	64.6
Alcalalí	243.6	Miramar	64.4
Torreblanca	220.1	Aeropuerto de València	64.0
Rojales	215.0	Fredes	58.6
Millares	213.0	Villena	58.0
Aeropuerto de Alicante-Elche	212.7	Sueca	51.2
Fontanars dels Alforins	206.0	Castelló de la Plana	50.8
Buñol	188.8	Morella	46.8
Enguera	185.0	Vilafraanca	39.0
La Vall de Gallinera	182.4	Cati	39.0
Xàbia (Montgó)	180.5	Castellfort	37.8
Bicorp	173.4	Vinarós	36.2
Torre Vieja	167.4	Montanejos	36.0
Tous	155.4	Atzeneta del Maestrat	34.4
Barx	153.0	Torreblanca	31.2
Pego	145.6	Liria	30.8
Elche/Elx	139.0	Utiel	26.4
Alcoy/Alcoi	135.4	Chelva	24.2
Sagunto	125.6	Ademuz	4.4

\*Datos provisionales sometidos a una validación posterior

Figura 16. Precipitación acumulada en la Confederaciones Hidrográficas del Segura y del Júcar durante la DANA de 2019 (Fuente: AEMET, 2019).

### 3. DISEÑO DEL MODELO PROPUESTO

#### 3.1. SITUACIÓN EN PLANTA

##### 3.1.1. Localización

El canal de derivación de agua se encuentra situado en España, en la Cuenca Hidrográfica del Segura; más concretamente en los T.T. M.M. de Formentera del Segura, Daya Nueva, Daya Vieja y San Fulgencio, correspondientes a la zona de la Vega Baja en la provincia de Alicante (Comunidad Valenciana). El emplazamiento del aliviadero que deriva el agua al canal es inmediatamente aguas arriba de éste.



Figura 17. Localización del modelo propuesto I (Fuente: Google Earth, elaboración propia).

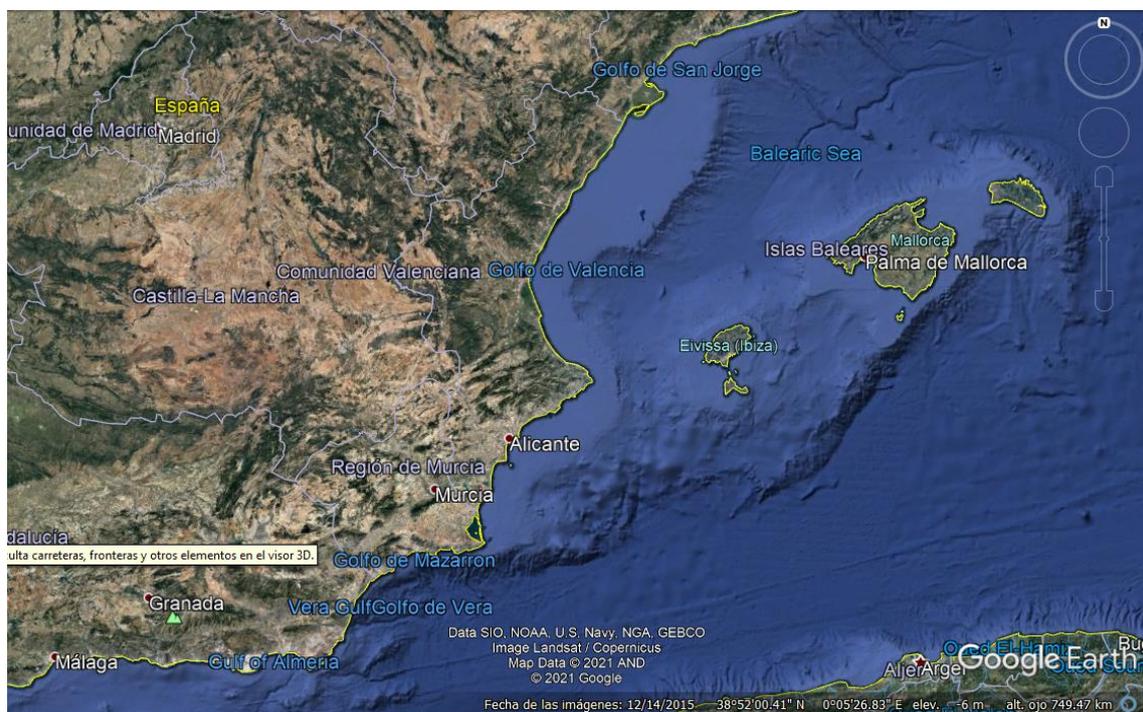


Figura 18. Localización del modelo propuesto II (Fuente: Google Earth, elaboración propia).

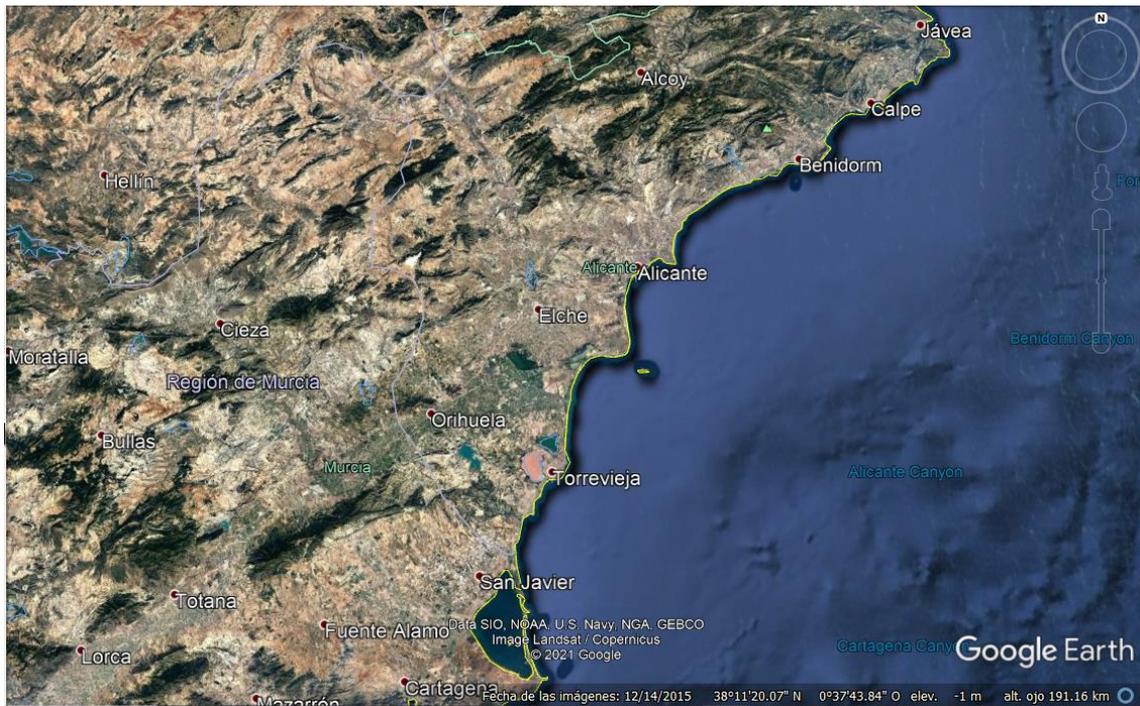


Figura 19. Localización del modelo propuesto III (Fuente: Google Earth, elaboración propia).

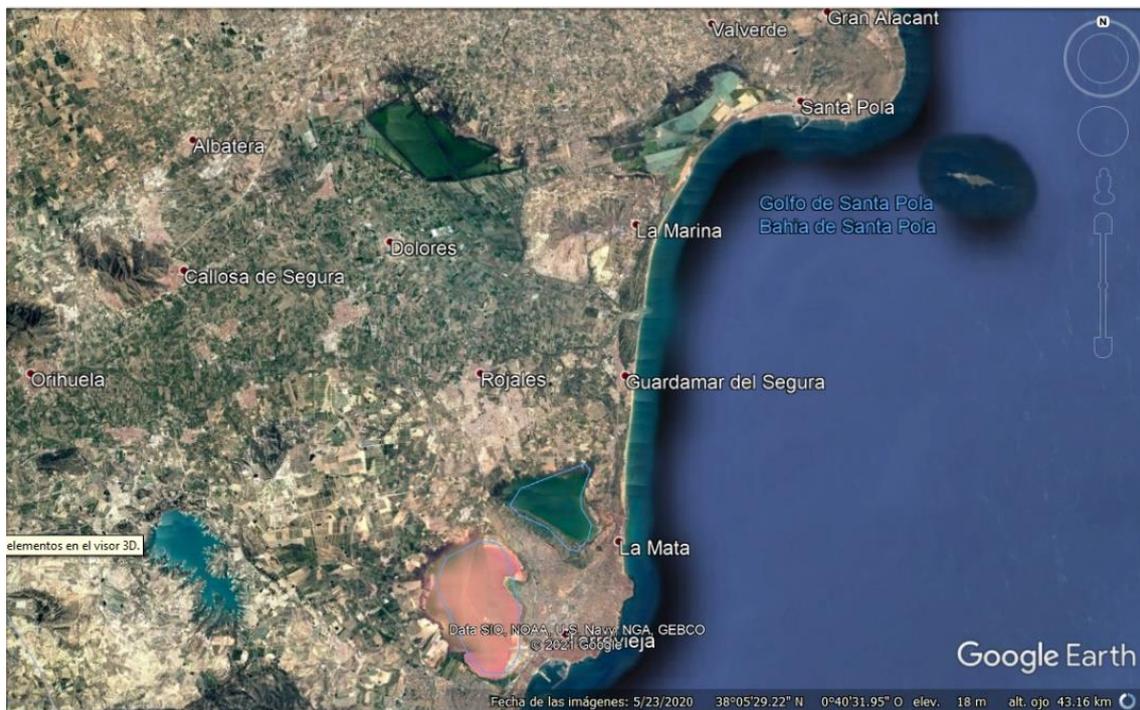


Figura 20. Localización del modelo propuesto IV (Fuente: Google Earth, elaboración propia).

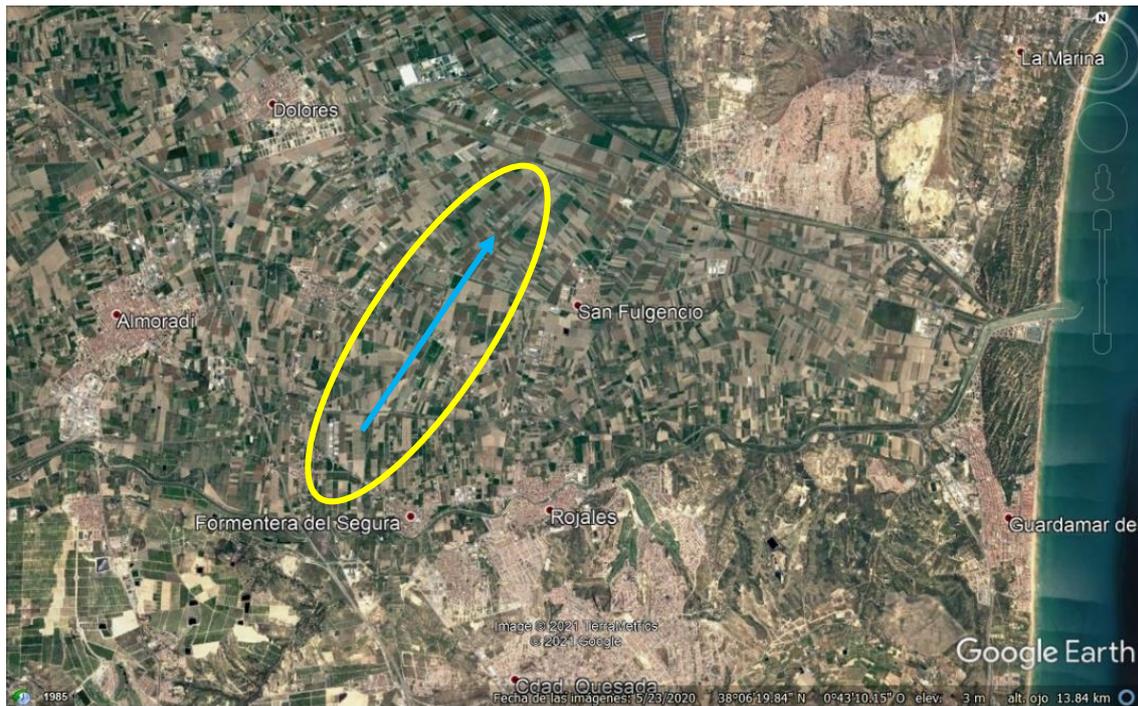


Figura 21. Localización del modelo propuesto V (Fuente: Google Earth, elaboración propia).

### 3.1.2. Antecedentes

Como se puede observar en las imágenes anteriores sobre la localización, en el emplazamiento previsto para la futura implantación del canal no hay ninguna construcción previa, únicamente hay un pequeño canal que trasvasa agua y carreteras, los cuales serán cruzados prácticamente de manera perpendicular y por debajo de éstos por nuestra obra de derivación de agua. También hay campos agrícolas, parte de un polideportivo municipal y algún terreno particular de alguna finca que serán expropiados para la realización del proyecto.

Hay que mencionar que el canal de derivación de agua no comienza justo donde se encuentra situado el actual meandro pasada la autovía AP-7 del cauce del río Segura; comienza dónde está prevista la futura ampliación del meandro para así dotar al cauce original de mayor capacidad (no es objeto de estudio de este proyecto), es decir, unos cuantos metros más al Norte.

Además, tampoco concluye en lo que actualmente se aprecia en las imágenes; está previsto que la ampliación del embalse del Parque Natural de El Hondo llegue hasta esa zona, en la cual nuestro canal desaguará.

### 3.1.3. Características del encauzamiento e interferencias con las infraestructuras

El canal que se va a construir es una obra completamente nueva que comienza en el meandro del río Segura que se encuentra inmediatamente aguas abajo de la autovía AP-7 y concluye en la futura ampliación del Parque Natural de El Hondo. El canal posee un desnivel de aguas arriba a aguas abajo de unos 7 metros con tres distintas (y cada vez menores) pendientes en función del tramo en el que nos encontremos, acabando el

canal a cota 0 m sumergido en su parte final por el agua del embalse del Parque Natural después de recorrer 6.680 m.

Consta de tres tramos. El primer tramo tiene una pendiente del 0,1% y una longitud de 3.250 m que va desde el aliviadero en forma de teclas de piano hasta el tercer puente. El segundo tramo posee una pendiente de 0,027% y tiene una longitud de 1.110 m, transcurriendo entre el tercer y cuarto puente. El tercer y último tramo tiene una pendiente de 0,02155%, recorre los últimos 2.320 m y va desde el cuarto puente (donde la solera tiene únicamente medio metro de cota) hasta el final del tramo adentrándose dentro del futuro embalse del Parque Natural con cota de la solera 0 m.

Está previsto en la nueva obra que cruce por debajo de cuatro obras de paso (puentes) de las cuales no se incluye su cálculo estructural, únicamente está implementado su diseño para la obtención del cálculo hidráulico.

### **3.1.4. Propuesta de diseño en planta**

La propuesta de diseño en planta ha sido realizada mediante el programa QGIS. Las imágenes están recopiladas en el apartado 1.5.1.2. del Anejo Hidráulico del Canal de Derivación de Agua, donde se puede apreciar tanto la posición del aliviadero más al Norte del cauce original del río Segura (en la primera imagen), como el transcurso y forma del canal de derivación de agua hasta su zona final (donde se aprecian campos agrícolas, pero que será la zona hasta la cual se ampliará el embalse del Parque Natural de El Hondo y donde desembocará nuestra estructura).

## **3.2. MODELADO HEC-RAS**

### **3.2.1. Diseño de la propuesta (secciones)**

A cada uno de los tramos con distinta pendiente le corresponde un tipo de sección.

El primer tramo que discurre desde el aliviadero hasta el tercer puente tiene una sección de escollera trapezoidal simple de base mayor 38 m y base menor 14 m. A partir del tercer puente las secciones cambian y pasan de secciones fijas de escollera a ser secciones verdes con hidrosiembra trapezoidales compuestas con el ancho del trapecio superior variable en función del espacio disponible en planta dependiendo del lugar en el que nos encontremos (ver imágenes apartado 1.5.1.2. del Anejo Hidráulico del Canal de Derivación de Agua) y con el ancho del trapecio inferior fijo (en el Documento II de Planos en el apartado 3.2. y 3.3. se pueden observar que las secciones de los tramos II y III son dos secciones tipo con un ancho superior concreto, tomadas a modo de ejemplo; además, las secciones del tercer tramo están diseñadas en los planos con motas y los del segundo tramo sin, esto es porque depende de la altura del terreno en la que se encuentren. Están diseñadas de esa forma en los planos porque la mayoría de las secciones de dichos tramos son así, pero no tiene por qué). La base mayor del trapecio inferior del segundo tramo es de 40 m y la base menor es de 34 m, la altura del trapecio de abajo es de 2 m y la del de arriba es de 0,5 m; las bases del trapecio inferior del último tramo comprendido entre el último puente y la ampliación del Parque Natural de El Hondo son de 42 m y 36 m respectivamente, y la altura del trapecio de abajo es de 1,5 m y la del de arriba es de 1 m.

Además, estas secciones verdes con hidrosiembra trapeciales compuestas tienen una ligera pendiente en la parte inferior del trapecio superior del 0,1% para que las aguas tomen siempre la dirección de caída hacia el centro del canal.

Los taludes de las secciones verdes trapeciales compuestas del segundo tramo son de 3H:2V para su trapecio inferior y de 3H:0,5V para el superior (en ambos lados de la mota en caso de haberla); y las del tercer tramo son de 3H:1,5V y 3H:1V respectivamente. El talud en el trapecio del primer tramo es de 12H:3,5V.

El ancho de la mota (o de la margen en caso de encontrarse el canal excavado) es de 3 m para que puedan circular vehículos si es necesario o para el acceso a los campos o fincas colindantes.

Las secciones con puentes y sus características están descritas en el apartado 1.5.2.3.3. del Anejo Hidráulico del Canal de Derivación de Agua.

### **3.2.2. Condiciones de contorno**

Las condiciones de contorno propuestas son: aguas arriba caída libre desde el aliviadero en forma de teclas de piano, y aguas abajo altura del nivel del agua de 1 m; entrando a esa cota de agua en la ampliación del embalse del Parque Natural de El Hondo.

El coeficiente de Manning en el primer tramo es de 0,03 debido a la sección de escollera colocada propuesta (escogemos este material debido al emplazamiento de la obra y porque es el más adaptado a las condiciones del proyecto, tanto por precio como por propiedades del material) y en los dos siguientes tramos aguas abajo, al tratarse de hidrosiembra, su valor es de 0,025.

Además, el radio hidráulico de las secciones del primer tramo es de 2,333 m. En los otros dos tramos, como sus secciones tienen un ancho variable, no se les puede determinar un radio hidráulico común a todas ya que son distintas entre sí.

Durante todo su recorrido a lo largo del canal el agua circulará en régimen lento o subcrítico (Froude < 1).

## **3.3. DISEÑO HIDRÁULICO DEL ALIVIADERO EN FORMA DE TECLAS DE PIANO**

### **3.3.1. Meandro**

El actual cauce del río Segura a su paso por la localidad de Rojasles no coincide con el nuevo cauce remodelado en el cual moverán las motas para aumentar la capacidad del río. El canal de derivación de agua comienza justo en la margen izquierda del meandro que se encuentra justo aguas abajo de la autovía AP-7, pero dicho meandro será ampliado hacia el Norte unos metros.

En consecuencia, el meandro suaviza su curvatura y a efectos de cálculo para determinar la longitud del aliviadero en forma de teclas de piano se ha tenido en cuenta como si fuera prácticamente recto, ya que se desprecia su curvatura por ser mínima.

El agua cuando exceda su límite en el cauce principal del río Segura pasará al canal de derivación a través del aliviadero en forma de teclas de piano que se encuentra situado en dicho meandro.

### **3.3.2. Descripción del aliviadero**

El tipo de aliviadero propuesto es el de Teclas de Piano. El por qué de la elección es sencillo, la característica principal de este modelo de aliviadero es que desagua mucha más agua que otro tipo de aliviadero en el mismo espacio disponible.

Si sucede que a su paso por Rojales viene una avenida de  $500 \text{ m}^3/\text{s}$ ,  $350 \text{ m}^3/\text{s}$  se los llevaría el cauce principal, y quedaría un máximo de  $150 \text{ m}^3/\text{s}$  que es el límite que soporta el canal de derivación de agua. Para poder desaguar un caudal de  $150 \text{ m}^3/\text{s}$  necesitaríamos un aliviadero con una longitud desproporcionada con respecto al ancho del canal de derivación. Por este motivo se ha adoptado como solución el Aliviadero en forma de Teclas de Piano, porque es capaz de aliviar dicha cantidad de agua dentro del ancho del canal de derivación de agua en el primer tramo (38 m).

### **3.3.3. Diseño del aliviadero**

El aliviadero formará parte de la propia mota izquierda del río, irá integrado en ésta. El material con el que se construirá es hormigón armado y tendrá una longitud de 36 metros, casi igual al ancho del canal de derivación en el primer tramo, y el agua tendrá una caída libre hasta el mismo.

El ancho de los módulos (tecla de entrada y salida) será de 4,5 m, por un total de ocho módulos que hacen que en total su longitud sea de 36 m. El desarrollo de cada módulo es de 18,5 m (que es la suma de todo el borde de la tecla saliente más el ancho de la entrante); como consta de ocho módulos su longitud de aliviación total es de 148 m. Desde la toma de agua hasta la zona de la caída hay 7 m de anchura y el grosor del muro del meandro es de 1 m, así que sobresalen los voladizos 3 m a cada lado del muro.

Una muestra de cómo sería este tipo de aliviadero se muestra en el apartado 2.4. del Anjeo Hidráulico del Aliviadero en forma de Teclas de Piano.

## 4. OBJETIVOS DE DESARROLLO SOSTENIBLE

Relación del TFG: “Estudio y diseño de una conducción verde para el encauzamiento de los caudales de crecida desbordados del río Segura al humedal de El Hondo de Elche. (T.T. M.M. de Formentera del Segura, Daya Nueva, Daya Vieja y San Fulgencio, Alicante).” con los Objetivos de Desarrollo Sostenible de la Agenda 2030.

Grado de relación del trabajo con los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS).

Objetivos de Desarrollo Sostenible	Alto	Medio	Bajo	No procede
ODS 1. Fin de la pobreza.			X	
ODS 2. Hambre cero.				X
ODS 3. Salud y bienestar.				X
ODS 4. Educación de calidad.				X
ODS 5. Igualdad de género.				X
ODS 6. Agua limpia y saneamiento.	X			
ODS 7. Energía asequible y no contaminante.			X	
ODS 8. Trabajo decente y crecimiento económico.			X	
ODS 9. Industria, innovación e infraestructuras.		X		
ODS 10. Reducción de las desigualdades.				X
ODS 11. Ciudades y comunidades sostenibles.	X			
ODS 12. Producción y consumo responsables.				X
ODS 13. Acción por el clima.			X	
ODS 14. Vida submarina.			X	
ODS 15. Vida de ecosistemas terrestres.		X		
ODS 16. Paz, justicia e instituciones sólidas.				X
ODS 17. Alianzas para lograr objetivos.				X

Descripción de la alineación del TFG con los ODS con un grado de relación más alto.

### ODS 6. Agua limpia y saneamiento.

El proyecto cumple este objetivo ya que está dentro de la Directiva Marco del Agua y se trata de una obra cuyo objetivo principal es gestionar el agua cuando ésta venga en exceso para que pueda ser aprovechada en el Parque Natural de El Hondo y no cause daños a la población ribereña (además del consecuente desperdicio de esa agua si no se realiza tal obra).

Cumple la meta 6.4. “De aquí a 2030, aumentar considerablemente el uso eficiente de los recursos hídricos en todos los sectores y asegurar la sostenibilidad de la extracción y el abastecimiento de agua dulce para hacer frente a la escasez de agua” y la meta 6.6. “De aquí a 2020, proteger y restablecer los ecosistemas relacionados

con el agua, incluidos los bosques, las montañas, los humedales, los ríos, los acuíferos y los lagos”.

### **ODS 9. Industria, innovación e infraestructuras.**

La infraestructura realizada está dentro de este objetivo porque se trata de una obra integrada en el medio en el que se encuentra ya que apenas altera el ecosistema actual (de hecho, hace que no se destruya si viene una avenida como la de 2019) y porque también sus dos tramos finales son verdes.

Cumple la meta 9.1. “Desarrollar infraestructuras fiables, sostenibles, resilientes y de calidad, incluidas infraestructuras regionales y transfronterizas, para apoyar el desarrollo económico y el bienestar humano, haciendo especial hincapié en el acceso asequible y equitativo para todos”.

### **ODS 11. Ciudades y comunidades sostenibles.**

El proyecto está integrado en este objetivo ya que se trata de una obra civil dedicada a la mejora de la zona en la que se va a realizar evitando que se produzca otro desastre relacionado con el agua con pérdidas humanas y económicas de las personas con menos posibilidades (por ejemplo por la localización de su vivienda a cota del terreno).

Cumple la meta 11.5. “De aquí a 2030, reducir significativamente el número de muertes causadas por los desastres, incluidos los relacionados con el agua, y de personas afectadas por ellos, y reducir considerablemente las pérdidas económicas directas provocadas por los desastres en comparación con el producto interno bruto mundial, haciendo especial hincapié en la protección de los pobres y las personas en situaciones de vulnerabilidad”.

### **ODS 15. Vida de ecosistemas terrestres.**

Aunque no forme parte explícitamente del proyecto, el Canal de Derivación de Agua desaguará en la futura ampliación del embalse del Parque Natural de El Hondo de Elche, hecho que ayudará a la mejora del ecosistema y de los animales que viven de él ya que su hábitat se verá ampliado

Cumple con las metas 15.1. “15.1 Para 2020, velar por la conservación, el restablecimiento y el uso sostenible de los ecosistemas terrestres y los ecosistemas interiores de agua dulce y los servicios que proporcionan, en particular los bosques, los humedales, las montañas y las zonas áridas, en consonancia con las obligaciones contraídas en virtud de acuerdos internacionales” y 15.3. “Para 2030, luchar contra la desertificación, rehabilitar las tierras y los suelos degradados, incluidas las tierras afectadas por la desertificación, la sequía y las inundaciones, y procurar lograr un mundo con una degradación neutra del suelo”.



## **5. CONCLUSIONES**

En este estudio hemos propuesto un tipo de solución frente al problema planteado de máximas avenidas en el río Segura (factor desencadenante de todo el proyecto: DANA de septiembre de 2019) que provocaban grandes inundaciones con sus consecuentes grandes pérdidas económicas.

La solución más adecuada en todos los aspectos por la cual se ha optado y de la cual constaba el estudio de este proyecto ha sido la del Canal de Derivación de Agua y el Aliviadero en forma de Teclas de Piano. Estas dos infraestructuras junto con la ampliación del cauce principal del río Segura y otras más, han quedado demostradas que son útiles para soportar otro acontecimiento de características similares en un futuro. Además, para su elección ha primado siempre el criterio calidad/precio y gasto económico de la obra frente a posibles daños en el caso de no realizarla, y queda demostrada su eficiencia y conveniencia de ejecución del proyecto (siendo el contenido expuesto en este estudio como el más conveniente dentro de las opciones previamente valoradas).

## 6. REFERENCIAS

Confederación Hidrográfica del Segura (CHS). *La Cuenca* (2021).

Confederación Hidrográfica del Segura (CHS). *EVALUACIÓN AMBIENTAL ESTRATÉGICA DE LOS PLANES DE CUENCA* (2020).

AEMET. (2021). *Meteoalerta* (2019).

BOE. (2015). *Artículo 84.1.a) de la Ley 40/2015, de 1 de octubre, de Régimen Jurídico del Sector Público*, 236.

Modelo SIMPA (Sistema Integrado de Modelación Precipitación-Aportación). *Periodo de simulación de 1940/1941 a 2017/2018*.

Clasificación agroclimática de Papadakis. (1966).

UNESCO (1979). *Mapa de clasificación de la humedad y aridez según Penman*.

Confederación Hidrográfica del Segura (CHS). *PROPUESTA DE PROYECTO DE PLAN HIDROLÓGICO DE LA DEMARCACIÓN HIDROGRÁFICA DEL SEGURA, REVISIÓN PARA EL TERCER CICLO: 2022-2027* (2021).

Ministerio Para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico (2021). *Directiva Marco del Agua*.

BOE. (2000). *Directiva 2000/60/CE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 23 de octubre de 2000, por la que se establece un marco comunitario de actuación en el ámbito de la política de aguas*, 327.

Ministerio Para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico (2021). *Gestión de los riesgos de inundación*.

BOE. (2007). *Directiva 2007/60/CE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 23 de octubre de 2007, relativa a la evaluación y gestión de los riesgos de inundación*, 288.

BOE. (2010). *Real Decreto 903/2010, de 9 de julio, de evaluación y gestión de riesgos de inundación*, 171.

BOE. (2001). *Real Decreto Legislativo 1/2001, de 20 de julio, por el que se aprueba el texto refundido de la Ley de Aguas*, 176.

Ministerio Para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico (2020). *INSTRUCCIÓN DEL SECRETARIO DE ESTADO DE MEDIO AMBIENTE PARA EL DESARROLLO DE ACTUACIONES DE CONSERVACIÓN, PROTECCIÓN Y RECUPERACIÓN EN CAUCES DE DOMINIO PÚBLICO HIDRÁULICO EN EL ÁMBITO TERRITORIAL DE LAS CONFEDERACIONES HIDROGRÁFICAS*. 8 de julio de 2020.

Ministerio Para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico (2021). *Estrategia Nacional de Restauración de Ríos*.

BOE. (2013). *Real Decreto 670/2013, de 6 de septiembre, por el que se modifica el Reglamento del Dominio Público Hidráulico aprobado por el Real Decreto 849/1986, de 11 de abril, en materia de registro de aguas y criterios de valoración de daños al dominio público hidráulico*, 227.



Confederación Hidrográfica del Segura (CHS). *Cronología de riadas en la Cuenca del Segura (2021)*.

Confederación Hidrográfica del Segura (CHS). *EVALUACIÓN AMBIENTAL ESTRATÉGICA DE LOS PLANES DE CUENCA (2021)*.

Ministerio de Transportes, Movilidad y Agenda Urbana. *Orden circular 3/2021, Base de Precios de Referencia de la Dirección General de Carreteras (2021)*.

Organización de las Naciones Unidas (ONU). *Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) (2021)*.

Soil Survey Staff. (1999). *Soil taxonomy: A basic system of soil classification for making and interpreting soil surveys. 2nd edition. Natural Resources Conservation Service. U.S. Department of Agriculture Handbook 436.*

U.S. Army Corp of Engineers. (1970).

Montenat, C (1973). *Comptes Rendus de l'Académie des Sciences, 270, 2434-2437.*

Conselleria de Agricultura, Desarrollo Rural, Emergencia Climática y Transición Ecológica. *Geología. (2015)*.

Conselleria de Territori i habitatge. *PLAN DE ACCIÓN TERRITORIAL DELCORREDOR DEL RÍO SEGURA. (2005)*.

Muros de escollera. *El blog de Víctor Yepes. (2014)*.

Institut Cartogràfic Valencià. Disponible en <https://visor.gva.es/visor/>

Instituto Geológico y Minero de España (IGME). *Mapa Geológico de España a escala 1:50000. Guardamar del Segura. Hoja 914.*

Sebastien Erpicum, Frédéric Laugier, Michel Ho Ta Khanh, Michael Pfister. *Labirynth and Piano Keys Weirs III. Editorial CRC Press. (2017)*.

José Liria Montañés. *Canales hidráulicos Proecto, Construcción, Gestión y Modernización. Editorial Colegio de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos. (2001)*.

Google Earth. (2021).

Satélite Sentinel. *Copernicus (2019)*.

Corine Land Cover. *Copernicus (2000)*.

Atresmedia. (2019).