



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA



ETS INGENIEROS DE CAMINOS,
CANALES Y PUERTOS

TRABAJO DE FIN DE GRADO

Estudio de la influencia del establecimiento del régimen de caudales ecológicos en la producción hidroeléctrica del sistema de explotación Mijares-Plana de Castellón en la Demarcación Hidrográfica del Júcar.

Presentado por

Ricart Puchades, Adam

Para la obtención del

Grado de Ingeniería de Obras Públicas

Curso: 2018/2019

Fecha: Septiembre de 2019

Tutor: Belda Sarrión, Juan Enrique



DOCUMENTO 1: MEMORIA.

Índice de la memoria.

1.	Objeto del estudio y ámbito de aplicación.....	7
2.	Introducción.	7
3.	Antecedentes.....	8
4.	Alcance y objetivos.	12
5.	El sistema de explotación Mijares-Plana de Castellón.....	13
5.1.	Breve descripción del sistema de explotación Mijares-Plana de Castellón. ...	13
5.1.1.	Principales características del sistema de explotación.	15
6.	Desarrollo del modelo de cálculo empleado.....	22
6.1.	Descripción general del tramo seleccionado para estudio.	22
6.2.	Años seleccionados para el estudio.....	28
6.3.	Procedimiento de obtención de los caudales simulados diarios de los manantiales, en base a sus datos mensuales en modelo PATRICAL.....	28
6.4.	Aforo diferencial para el cálculo de las series de los elementos no registrados. 29	
6.5.	Procedimiento para la obtención de los caudales derivados y turbinados de las centrales hidroeléctricas.	31
6.6.	Datos técnicos de las centrales hidroeléctricas.....	33
6.7.	Cálculo del coeficiente energético.....	34
6.8.	Gestión conjunta de los embalses Arenós y Sichar.	36
6.8.1.	Gestión conjunta. Datos de partida.	36
6.8.2.	Esquema de la gestión conjunta de los embalses de Arenós y Sichar.	38
6.8.3.	Zonificación de los volúmenes de embalse y regla de operación para la coordinación entre embalses.	39
6.8.4.	Procedimiento para el cálculo de la gestión de ambos embalses.	40
7.	Simulaciones y resultados.	45
7.1.	Escenario 1. Volumen máximo del embalse de Arenós fijado en la actualidad. 46	
7.1.0.	Situación actual. Producción hidroeléctrica actual.	47
7.1.1.	Variaciones lineales de los caudales ecológicos.....	49
7.2.	Escenario 2. Volumen máximo del embalse de Arenós propuesto para un futuro próximo.....	52
7.2.0.	Situación posible futura.....	53
7.2.1.	Variaciones lineales de los caudales ecológicos.....	56
8.	Conclusiones.....	59

DOCUMENTO 1: MEMORIA.

9. Normativa.....	60
10. Referencias.....	63

Índice de figuras.

Figura 1. Sistemas de explotación de la Demarcación Hidrográfica de Júcar. CHJ.	13
Figura 2. Sistema de explotación Mijares-Plana de Castellón respecto al resto de sistemas de explotación de la Demarcación Hidrográfica del Júcar. CHJ.	14
Figura 3. Embalses de Arenós, Sichar y M ^a Cristina. CHJ.	16
Figura 4. Conducciones de transporte principales del Sistema de explotación Mijares-Plana de Castellón. CHJ.....	17
Figura 5. Tipología de la relación río-acuífero en el sistema de explotación Mijares-Plana de Castellón. CHJ.	18
Figura 6. Localización de las masas de agua con caudales ecológicos establecidos en el PHJ09-15 en el Sistema de Explotación Mijares-Plana de Castellón. CHJ.....	19
Figura 7. Localización de las masas de agua con caudales establecidos en el PHJ 15-21. CHJ.	20
Figura 8. Esquema del tramo alto escogido para el estudio. Elaboración propia.....	22
Figura 9. Esquema del tramo medio escogido para el estudio. Elaboración propia.....	23
Figura 10. Serie histórica diaria de caudales de la estación ROEA El Verde. CHJ.	23
Figura 11. Caudales mensuales de los manantiales Mas Royo y Babor ofrecidos por el modelo de simulación PATRICAL. CHJ.	24
Figura 12. Caudales diarios reales de entrada al embalse de Arenós. CHJ.	25
Figura 13. Caudales diarios reales de salida del embalse de Arenós. CHJ.	26
Figura 14. Caudales diarios simulados del Río Villahermosa. Elaboración propia.....	27
Figura 15. Caudales diarios simulados del manantial Mas Royo. Elaboración propia...	28
Figura 16. Procedimiento para el aforo diferencial. Elaboración propia.	30
Figura 17. Procedimiento empleado para la determinación de los caudales derivados y turbinados de las centrales hidroeléctricas. Elaboración propia.	31
Figura 18. Datos técnicos de las centrales hidroeléctricas. CHJ.....	33
Figura 20. Curva superficie-volumen del embalse de Arenós. Elaboración propia.	37
Figura 21. Curva superficie-volumen del embalse de Sichar. Elaboración propia.....	37
Figura 22. Esquema de la gestión conjunta de Arenós y Sichar. Elaboración propia. ...	38
Figura 23. Esquema conceptual de la zonificación de los embalses de Arenós y Sichar. Elaboración propia.....	39
Figura 24. Volúmenes totales mensuales de salida del embalse de Arenós. Elaboración propia.....	44
Figura 25. Energía producida total mensual del modelo y real para el escenario 1. Elaboración propia.....	47
Figura 29. Energía producida total mensual del modelo y real para el escenario 2. Elaboración propia.....	53
Figura 30. Comparación energía producida en el escenario 1 y el escenario 2.....	54

Índice de tablas

Tabla 1. Embalses de Arenós, Sichar y M ^a Cristina. Uso, tipo y capacidad. CHJ.	16
Tabla 2. Aportación acumulada a la red fluvial (hm ³ /año) en régimen natural según modelo PATRICAL en el sistema de explotación Mijares-Plana de Castellón. CHJ.	17
Tabla 3. Caudales ecológicos definidos por el anterior Plan (PHJ 09-15). CHJ.	19
Tabla 4. Caudales ecológicos mínimos establecidos por el PHJ15/21 en el sistema de explotación Mijares-Plana de Castellón. CHJ.	21
Tabla 5. Demandas medias mensuales del embalse de Arenós. CHJ.	27
Tabla 6. Demandas superficiales medias mensuales del embalse de Sichar.	27
Tabla 8. Datos técnicos del embalse de Arenós. CHJ.	36
Tabla 9. Datos técnicos del embalse de Sichar. CHJ.	36
Tabla 10. Volúmenes de partida de cada uno de los embalses. CHJ.	40
Tabla 11. Capacidad máxima para cada mes del embalse de Arenós. CHJ.	46
Tabla 12. Caudales ecológicos mínimos para todas las masas de agua del tramo estudiado. Elaboración propia.	46
Tabla 13. Factores multiplicadores de cada mes para los valores de caudal ecológico mínimo. Elaboración propia.	46
Tabla 14. Energía producida total del modelo y real para el escenario 1. Elaboración propia.	47
Tabla 15. Diferencia de energía producida total entre la situación actual y la variación lineal de caudal ecológico para cada factor de modulación.	50
Tabla 19. Diferencia de energía producida total entre la situación posible futura y la variación lineal de caudal ecológico para cada factor de modulación.	57

DOCUMENTO 1: MEMORIA.

Índice de anejos

Anejo 1: Caudales diarios de los manantiales Mas Royo, Babor, La Escaleruela y Fuente Los Baños.

Anejo 2: Energía producida de cada una de las centrales para el escenario 1 en la situación actual.

Anejo 3: Energía producida total para cada factor de modulación en el escenario 1.

Anejo 4: Energía producida de cada una de las centrales para el escenario 2 en la situación futura.

Anejo 5: Energía producida total para cada factor de modulación en el escenario 2.

1. Objeto del estudio y ámbito de aplicación.

El objeto del presente estudio es obtener la aprobación por parte de la Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Caminos Canales y Puertos de la Universidad Politécnica de Valencia para la obtención del Título Oficial del Grado de Ingeniería de Obras Públicas.

Por otra parte, el ámbito de aplicación del mismo es la optimización de la gestión de los regímenes de caudales ecológicos en el tramo alto y medio del río Mijares, desde la estación ROEA El Verde hasta el embalse de Sichar, gestión que será determinante aguas abajo del tramo medio, donde se concentra el mayor núcleo de población del sistema de explotación Mijares-Plana de Castellón.

2. Introducción.

Los aspectos medioambientales adquieren cada vez una mayor relevancia en la gestión de los recursos hídricos, siendo uno de sus elementos más significativos el constituido por los caudales ecológicos.

Estos últimos, entendidos como una restricción medioambiental al uso del agua, engloban en sí mismos aspectos diferentes, y en ocasiones contrapuestos, relativos a la gestión del recurso tales como el régimen hidrológico característico de cada río, la protección medioambiental, el uso consuntivo del recurso o la producción hidroeléctrica en centrales fluyentes.

De acuerdo con la Instrucción de Planificación Hidrológica, el régimen de caudales ecológicos se establecerá de modo que permita mantener de forma sostenible la funcionalidad y estructura de los ecosistemas acuáticos y de los ecosistemas terrestres asociados, contribuyendo a alcanzar el buen estado o potencial ecológico en ríos o aguas de transición.

Para alcanzar estos objetivos el régimen de caudales ecológicos deberá cumplir los requisitos siguientes:

1. Proporcionar condiciones de hábitat adecuadas para satisfacer las necesidades de las diferentes comunidades biológicas propias de los ecosistemas acuáticos y de los ecosistemas terrestres asociados, mediante el mantenimiento de los procesos ecológicos y geomorfológicos necesarios para completar sus ciclos biológicos.
2. Ofrecer un patrón temporal de los caudales que permita la existencia, como máximo, de cambios leves en la estructura y composición de los ecosistemas acuáticos y hábitat asociados y permita mantener la integridad biológica del ecosistema.

3. Antecedentes.

Los primeros estudios para el establecimiento de las necesidades ambientales de los ríos de la Demarcación Hidrográfica del Júcar se llevaron a cabo en el marco del Plan Hidrológico del Júcar publicado según disposición de la Orden del 13 de agosto de 1999.

Aunque los trabajos desarrollados entonces aportaron una información muy útil para el conocimiento de las necesidades hídricas de los ecosistemas fluviales, se realizaron en base a diferentes metodologías y sin seguir estrictamente el procedimiento actualmente establecido en la normativa para la implantación de caudales ecológicos.

Por ello fue necesario acometer nuevos estudios para la determinación del régimen de caudales ecológicos. En concreto se llevaron a cabo trabajos técnicos que fueron dirigidos desde la Dirección General del Agua del Ministerio en colaboración con las oficinas de planificación hidrológica de las Confederaciones en aquellas demarcaciones con cuencas intercomunitarias con objeto de lograr la mayor homogeneidad en los estudios (MARM, 2010c). Y en los resultados de dichos trabajos técnicos se basa el régimen de caudales definido en el Plan Hidrológico del Júcar del ciclo de planificación 2009-2015, aprobado en julio de 2014. De esta forma se llevó a cabo su implantación de acuerdo al concepto actualmente aceptado de caudal ecológico.

A pesar de que la determinación del régimen de caudales en este nuevo Plan del ciclo 2015-2021 se basa en los trabajos técnicos anteriormente mencionados, se ha avanzado en determinados aspectos como la extrapolación del régimen de caudales mínimos a todas las masas de agua tipo río de la demarcación, pasando de establecer en el texto normativo el caudal mínimo en 37 masas de agua a fijarlo en la totalidad de ellas salvo los embalses y aquellas clasificadas como sin agua en los muestreos o masas de agua con caudal ínfimo. También queda recogido en el mencionado texto normativo del plan la componente de caudales máximos y tasas de cambio.

Con todo ello, debe indicarse que el plan compatibiliza, al igual que lo hacía el plan aprobado en julio de 2014, estos requerimientos ambientales con los usos consuntivos del agua, si bien es cierto que para los usos no consuntivos se va a producir una afección que pasa por adecuar sus instalaciones y adaptar el uso al régimen de caudales establecido.

DOCUMENTO 1: MEMORIA.

A continuación se dispone a exponer una serie de noticias de actualidad relacionadas directamente con la gestión de los caudales ecológicos y las centrales hidroeléctricas.

- a) Noticia primera: 22 de octubre de 2018. Página web “SEO BirdLife” (Sociedad Española de Ornitología)

“Sentencia ganada: A salvo los caudales ecológicos de todos los ríos y humedales de España.”

SEO/BirdLife y *Ríos con Vida* celebran la sentencia favorable del recurso que presentaron en el Tribunal Supremo sobre una modificación de la normativa impulsada por el Gobierno que perjudicaba al estado de los ríos y humedales al permitir reducciones generalizadas de los caudales ecológicos. La sentencia, que supone un paso muy positivo en la protección de nuestros ríos y humedales, es firme, y no cabe recurso contra la misma, aunque según las ONG son necesarios más avances en el establecimiento y aplicación del régimen de caudales ecológicos.

Las organizaciones ambientales *Ríos con Vida* y *SEO/BirdLife* presentaron un recurso contencioso-administrativo contra el Real Decreto 638/2016 por el que se modifica el Reglamento del Dominio Público Hidráulico en materia de caudales ecológicos.

Este artículo permitía reducciones generalizadas en la aplicación de los caudales ecológicos determinados por los planes hidrológicos, incluidos los que estuvieran en Red Natura 2000, humedales Ramsar y reservas naturales fluviales. Es especialmente significativa porque su alcance se extiende a todos los ríos y humedales del país y a todas las demarcaciones hidrográficas, y **con ello se garantiza que no se perjudicará su régimen de caudales ecológicos. La sentencia, además, es firme y, por tanto, no cabe recurso contra la misma. La reforma de los caudales ecológicos en el Reglamento de 2016**, ante la que las entidades conservacionistas interpusieron un recurso ante el Tribunal Supremo en 2017 y que ahora estima dicho Tribunal, **suponía una regresión ambiental de primer orden para los ecosistemas acuáticos del territorio español**, especialmente en el punto principal del recurso, que permitía reducciones generalizadas en la aplicación de los ya de por sí ridículos caudales mínimos fijados en los planes hidrológicos.

- b) Noticia segunda: 16 de marzo de 2019. Periódico *El País*

“El Tribunal Supremo obliga a mejorar los caudales ecológicos del Tajo.”

Una sentencia declara la nulidad de varios artículos de la normativa del plan hidrológico por la falta de previsión de los caudales de agua en Aranjuez (Madrid), en Toledo y en Talavera de la Reina (Toledo).

En una sentencia con fecha del 13 de marzo, **el alto tribunal declara la nulidad de varios artículos del Plan Hidrológico del Tajo contenidos en el Real Decreto 1/2016 de 8 de enero, por el que se aprobaba la revisión de los planes de varias demarcaciones hidrográficas.**

DOCUMENTO 1: MEMORIA.

- c) Noticia tercera: 11 de mayo de 2018. Periódico Heraldo (Comunidad Autónoma Aragón)

“La extracción de agua del río Mijares en Olba se reanuda a pesar de la oposición vecinal”.

El Ayuntamiento y los vecinos temen que el desvío de caudales a una central degrade el río, pero Iberdrola dice que cumple todos los requisitos.

Iberdrola acaba de reanudar la derivación de aguas desde el río Mijares a su paso por Olba a la central de Los Cantos (Castellón), lo que **reduce drásticamente el caudal del río y provoca el rechazo de la población**. El desvío, realizado a través de un canal, ha permanecido inactivo dos años por **una avería que paralizó la planta hidroeléctrica**. La compañía eléctrica afirma que, como titular de la concesión, **tiene la "obligación" de aprovecharla** y asegura que respeta, sobradamente, el caudal ecológico establecido por la Confederación Hidrográfica del Júcar (CHJ).

El desvío de caudales provoca malestar en los vecinos y en el Ayuntamiento de Olba, que consideran que las ventajas derivadas de la producción eléctrica son **incomparablemente inferiores a los inconvenientes causados por la detracción de caudales**. El alcalde, Federico Martín, señaló que, con la llegada del verano, el deterioro de la calidad del agua del Mijares se disparará por el aumento de la temperatura, el estiaje y el incremento de la población en las riberas.

El Ayuntamiento pedirá una **reunión con la CHJ y con la empresa eléctrica** para trasladarles su oposición a la derivación de aguas. También comunicó su malestar al Instituto Aragonés del Agua, que en un informe de 2017 alertó del peligro de que se dispare la concentración de contaminantes por el recorte del caudal. Recientemente, la europarlamentaria Lola Sánchez Caldente y preguntó a la Comisión Europea qué medidas piensa adoptar para **garantizar la conservación del río** tras la detracción de parte de su caudal.

Un portavoz de Iberdrola explicó que la central de Los Cantos funciona desde primeros de abril "en fase de pruebas", pero aseguró que la derivación respeta todos los requisitos ambientales así como el caudal ecológico, que **se garantiza con "un amplio margen de seguridad"**. La misma fuente señaló que la compañía dispone de una concesión de caudales que debe explotar si no se quiere exponer a su anulación. Añadió que el principal problema ecológico del río se debe a la **falta de depuración** de los vertidos urbanos en su cuenca.

Federico Martín consideró "evidente" que la calidad ambiental del Mijares caerá en cuanto llegue el verano con la **reducción de su caudal "a menos de la mitad"** por el desvío a Los Cantos. A su juicio, "por sentido común", la derivación debería cancelarse porque existen otros sistemas de generación eléctrica más eficientes y menos impactantes.

DOCUMENTO 1: MEMORIA.

El portavoz de la plataforma 'El Mijares no se toca', David Hammerstein, pidió al Gobierno aragonés que "no permita un expolio del río que no beneficia a Aragón ni a su población". Hammerstein abogó por cambiar el Plan Hidrológico de la Cuenca del Júcar para que el caudal ecológico **pase de los 0,4 metros cúbicos actuales a 2**. Dijo que "se ha perdido una batalla pero no la guerra". El objetivo de la asociación vecinal es conseguir un caudal ecológico "lo más cercano posible al natural" para impedir el aprovechamiento hidroeléctrico.

David Hammerstein anunció que la plataforma reclamará que el nuevo plan Hidrológico de la Cuenca anule las concesiones de las centrales hidroeléctricas de Los Cantos, Los Villanuevas y Las Casas porque "apenas producen electricidad y causan mucho daño al río Mijares".

Juan Rodríguez, de 'El Mijares no se toca', señaló que **el cauce acusa el descenso de caudal** con la entrada en servicio de la central, "y todavía descenderá más". Afirmó que la población reivindica "que se deje el río tranquilo" para que conserve "la mejoría que ha experimentado" en los dos años de parón hidroeléctrico. Rodríguez reclamó un **control estricto del caudal ecológico** y alertó de que los vertidos de aguas residuales sin depurar de la localidad se concentrarán con el recorte de caudales y el incremento de la población estival.

4. Alcance y objetivos.

En este contexto, el presente trabajo tiene como principal finalidad desarrollar una herramienta de decisión que permita evaluar adecuadamente la influencia del establecimiento de diferentes propuestas de regímenes de caudales ecológicos sobre la producción hidroeléctrica. Los resultados obtenidos podrán servir de base para los trabajos de concertación del régimen de caudales ecológicos en el marco de los trabajos del tercer ciclo de planificación hidrológica iniciados recientemente.

En primer lugar, el trabajo va a consistir en el desarrollo de una herramienta numérica que permita analizar la producción de las principales centrales hidroeléctricas situadas en el eje del río Mijares en función de los caudales circulantes por los diferentes tramos del río. Para ello se tendrán en cuenta las características más significativas del sistema de explotación.

Una vez que la herramienta haya sido validada, en una segunda etapa se simularán diversos escenarios, obtenidos como resultado de la implantación de diferentes alternativas en la definición del régimen de caudales ecológicos.

Los trabajos que se proponen tienen los siguientes objetivos:

- Introducir al alumno en el análisis de un sistema de recursos hídricos y su complejidad, integrando en el mismo aspectos tan diferenciados como la hidrología del río, la relación río-acuífero, las infraestructuras de regulación, los principales usos y demandas, las centrales de producción hidroeléctrica, etc...
- Que el alumno aprenda a desarrollar herramientas que le permitan analizar objetivamente problemas de asignación de recursos y pueda probar y analizar diferentes alternativas de gestión.
- Que el alumno conozca y aplique la normativa relativa al régimen de caudales ecológicos.

5. El sistema de explotación Mijares-Plana de Castellón.

5.1. Breve descripción del sistema de explotación Mijares-Plana de Castellón.

El sistema de explotación Mijares-Plana de Castellón comprende la totalidad de las cuencas de los ríos Mijares, Seco, Veo y Belcaire y la totalidad de las subcuencas litorales comprendidas entre Benicasim, incluido su término municipal, y el límite provincial entre Castellón y Valencia. Nace en la Sierra de Gúdar, en la provincia de Teruel, y desemboca entre las localidades de Almazora y Burriana en la provincia de Castellón. Entre sus principales afluentes cabe destacar por la margen derecha los ríos Valbona, Villahermosa y la Rambla de la Viuda y por la izquierda, los ríos Albentosa y Montán. La superficie total comprendida por este sistema de explotación es de 4.818 km².

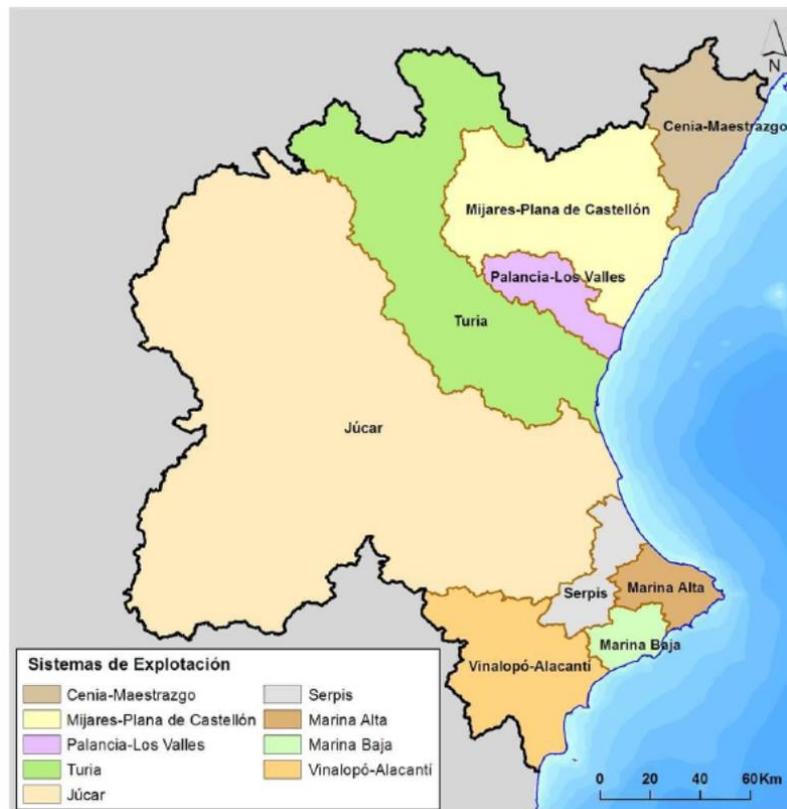


Figura 1. Sistemas de explotación de la Demarcación Hidrográfica de Júcar. CHJ.

DOCUMENTO 1: MEMORIA.



Figura 2. Sistema de explotación Mijares-Plana de Castellón respecto al resto de sistemas de explotación de la Demarcación Hidrográfica del Júcar. CHJ.

Las principales infraestructuras de regulación superficial del sistema son los embalses de Arenós, Sichar y M^a Cristina. Se cuenta además con los embalses de Alcora, Ribesalbes, Vallat, Cirat y Onda que, por su menor capacidad, no juegan un papel significativo en la regulación del sistema debido a la escala mensual utilizada en el estudio.

El sistema presenta 43 masas de agua superficial con una longitud de unos 694 km.

Existen 14 masas de agua subterránea integradas total o parcialmente en el sistema de explotación, entre las que cabe destacar, por tener la mayor parte de su superficie o un mayor volumen de extracción dentro del sistema, las masas 080.103 Javalambre Oriental, 080.104 Mosqueruela, 080.108 Maestrazgo Occidental, 080.109 Maestrazgo Oriental, 080.111 Lucena–Alcora, 080.126 Onda–Espadán, 080.127 Plana de Castellón, 080.128 Plana de Sagunto y 080.130 Medio Palancia.

En el sistema se han definido 13 unidades de demanda urbana aunque principalmente cabe destacar las UDU Subterráneo de Almazora, Subterráneo de Castellón de la Plana, Subterráneos de Plana de Castellón y el Consorcio de Aguas de la Plana.

El sistema alberga alrededor del 9% de la población total de la CHJ.

Respecto a las unidades de demanda agrícola, se identifican 18 UDA (una de ellas parcialmente), siendo las principales zonas de regadío las siguientes:

- Los riegos tradicionales del Mijares, que se corresponden a los regadíos históricos en las tierras de Castellón de la Plana, Vila-real, Burriana, Almazora y Nules-Mascarell.

DOCUMENTO 1: MEMORIA.

- Los riegos pantano de María Cristina, que fueron desarrollados a principios del siglo XX y están ubicados en la zona alta del término de Castellón. Estos regadíos, de carácter mixto, dependen del embalse de M^a Cristina y pueden recibir, además, las aguas del Mijares a partir del canal de M^a Cristina que parte del denominado tramo común.
- Los riegos canal de la Cota 100 fueron desarrollados a mediados del siglo XX en la parte de los términos municipales de Vila-real, Betxí, Onda, Alquerías del Niño Perdido, Nules y la Vilavella que quedaban debajo del canal, si bien las obras de modernización han permitido –o permitirán– ampliar su área atendida a la totalidad de Nules, Betxí y la Vilavella. Su suministro es mixto utilizando las aguas superficiales del río Mijares a través del tramo común y aguas subterráneas.
- Los riegos del canal de la Cota 220, cuyo suministro también es mixto, se desarrollaron en el último tercio del siglo XX, en los términos de Onda y Betxí.
- Regadíos de la Vall d’Uixó, que se riegan fundamentalmente con aguas subterráneas y una parte de superficiales de manantial.
- Regadíos subterráneos de Moncofar, de origen subterráneo. Tanto esta UDA como la anterior se riegan fundamentalmente del interfluvio Mijares-Palancia.
- Regadíos de fuente de Quart y fuente La Llosa, que se incluyen entre los sistemas de explotación Mijares-Plana de Castellón y Palancia-Los Valles. Se trata de regadíos principalmente subterráneos aunque también aprovechan recursos superficiales de las fuentes de Quart y la Llosa.

5.1.1. Principales características del sistema de explotación.

A continuación se describen los principales elementos del sistema así como la información básica que los caracteriza.

Embalses.

Los principales embalses del sistema de explotación son los de Arenós y Sichar sobre el río Mijares y el pantano de M^a Cristina sobre la rambla de la Viuda. En la Figura 3 puede verse su localización mientras que en la Tabla 1 pueden verse sus usos, el tipo de presa y su capacidad máxima.

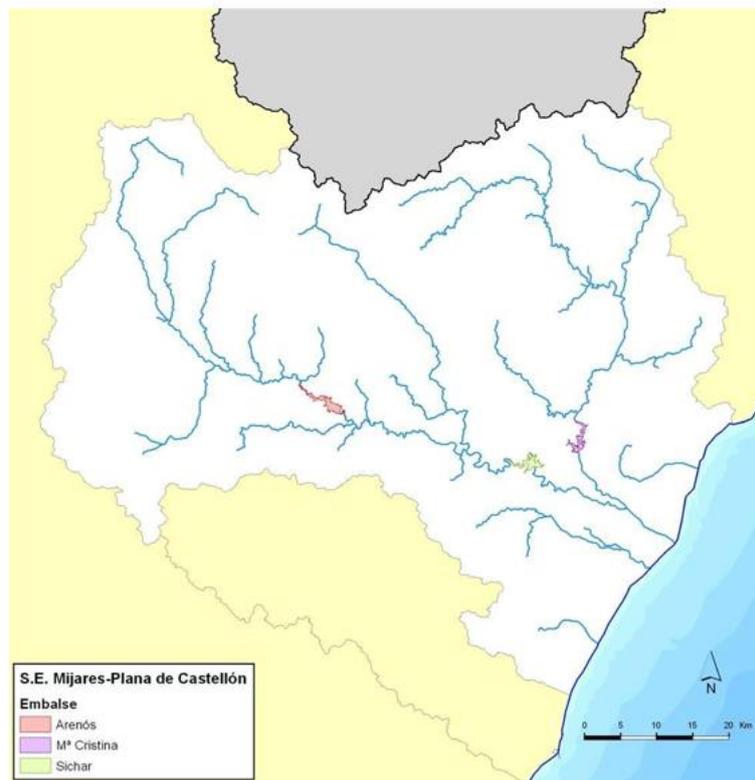


Figura 3. Embalses de Arenós, Sichar y MªCristina. CHJ.

Tabla 1. Embalses de Arenós, Sichar y MªCristina. Uso, tipo y capacidad. CHJ.

Embalse	Usos	Tipo de presa	Río	Capacidad máxima (hm³)
Arenós	Riego	Materiales sueltos	Mijares	65,0
Sichar	Riegos y producción de energía	Gravedad	Mijares	45,0
Mª Cristina	Laminación de avenidas y regadío	Gravedad	Rambla de La Viuda	18,5

Centrales hidroeléctricas.

Las centrales hidroeléctricas presentes en el sistema de explotación Mijares-Plana de Castellón son:

El Horcajo, Albentosa, Los Villanuevas, Los Cantos, Cirat, Vallat, Ribesalbes, Colmenar, Onda, Hidro, Vila-real y Molino Trapero.

Conducciones de transporte.

Las principales conducciones de transporte del sistema de explotación Mijares-Plana de Castellón –Figura – conducen los recursos hídricos desde el punto de captación hasta su área de uso. En el tramo bajo del curso del río destacan las acequias asociadas a los riegos tradicionales –Major de Castelló, Major de Vila-real, Almassora, Borriana y Nules– situándose más aguas arriba los canales asociados a los riegos mixtos –canal de la cota 220, canal de la cota 100 y canal del pantano de Mª Cristina–.

DOCUMENTO 1: MEMORIA.

Además de las infraestructuras anteriormente indicadas existen en el sistema de explotación infraestructuras cuya única finalidad es transportar el agua hasta el punto de derivación evitando que el agua circule por el río ya que el tramo bajo del Mijares presenta importantes pérdidas. Las principales infraestructuras de este tipo son el llamado Tramo común y el canal de Vicent Serra.

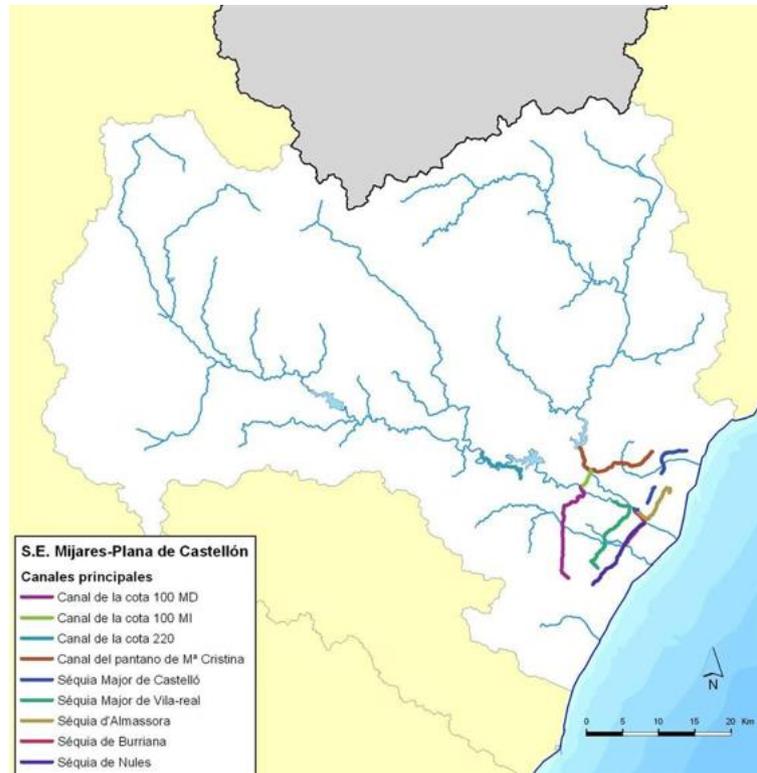


Figura 4. Conducciones de transporte principales del Sistema de explotación Mijares-Plana de Castellón. CHJ.

Recursos hídricos totales.

Para la evaluación de la aportación total en el sistema se ha empleado el modelo PATRICAL en régimen natural. En la tabla siguiente se muestra, tanto para el periodo completo 1940/41-2011/12 como para la serie reciente 1980/81-2011/12, el valor medio, máximo y mínimo de la aportación acumulada a la red fluvial en régimen natural.

Tabla 2. Aportación acumulada a la red fluvial (hm³/año) en régimen natural según modelo PATRICAL en el sistema de explotación Mijares-Plana de Castellón. CHJ.

Sistema de explotación	1940/41 – 2011/12			1980/81 - 2011/12		
	Media aritmética	Máximo	Mínimo	Media aritmética	Máximo	Mínimo
Mijares-Plana de Castellón	327,3	1.057,0	101,5	326,1	1.057,0	101,5

Para analizar el recurso total del sistema, es necesario recurrir a las series de aportaciones proporcionadas por el modelo hidrológico que sí tienen en cuenta todos los recursos superficiales, tanto si son regulados como si no lo son.

Relaciones Río-Acuífero.

En la Figura 5 se muestra la relación río-acuífero en el sistema de explotación Mijares-Plana de Castellón. Se aprecian dos zonas diferenciadas: los tramos perdedores se concentran en los cursos bajos y en la rambla de la Viuda, presentando una conexión difusa indirecta por efecto ducha, mientras que los tramos ganadores se reparten por el resto del sistema (IGME-DGA, 2010).

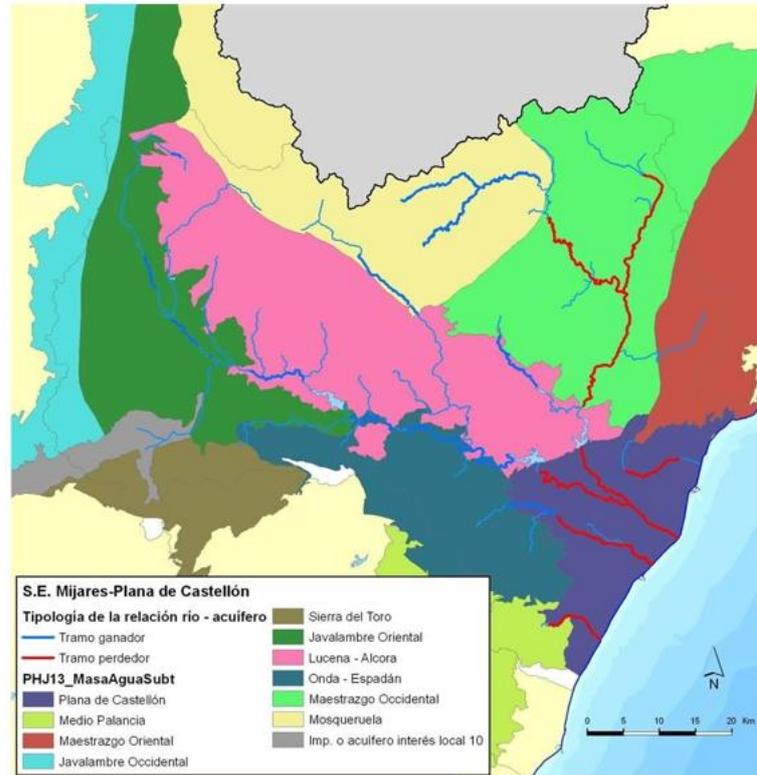


Figura 5. Tipología de la relación río-acuífero en el sistema de explotación Mijares-Plana de Castellón. CHJ.

Caudales ecológicos.

➤ Situación del plan antiguo (PHJ 09-15).

El PHJ09/15 establece cinco puntos de caudal mínimo en el sistema de explotación Mijares-Plana de Castellón –4 en el río Mijares y 1 en el río Villahermosa– tal y como se presenta en la tabla y la figura siguientes. En todos los casos los puntos se encuentran incluidos en la hidrorregión 1, lo que supone que en los meses de abril y mayo el caudal indicado debe incrementarse en un 20%, no siendo aplicable reducción alguna por situación de sequía excepto en el punto situado aguas abajo del embalse de Sichar. Finalmente cabe indicar que el plazo de cumplimiento establecido para estos caudales es 2015 excepto en los puntos situados aguas abajo del Tramo común y en el río Villahermosa en los que se retrasa hasta 2021 debido a que es necesario –artículo 13.2– *el desarrollo de determinadas actuaciones contempladas en el programa de medidas del plan.*

Tabla 3. Caudales ecológicos definidos por el anterior Plan (PHJ 09-15). CHJ.

Masa de agua superficial		Nombre del punto de implantación	Caudal (m ³ /s)		Hidrorregión	Plazo
			Situación ordinaria	Situación de sequía		
10.03	Río Mijares: Loma de la Ceja – Río Mora	Aguasarribadel E. de Arenós	0,4		1	2015
10.06	Río Mijares: E. Arenós-Az. Huertacha	Salida del E. de Arenós	0,5		1	2015
Masa de agua superficial		Nombre del punto de implantación	Caudal (m ³ /s)		Hidrorregión	Plazo
			Situación ordinaria	Situación de sequía		
10.10	Río Mijares: E. Sichar- Canal Cota 100	Salida del E. de Sichar	1,1	0,95	1	2015
		Aguasabajo de la toma del Tramo común	0,95		1	2021
10.07.02.02	Río Villahermosa: Bco. Canaleta - Bco.Cimorreta	Villahermosa	0,06		1	2021

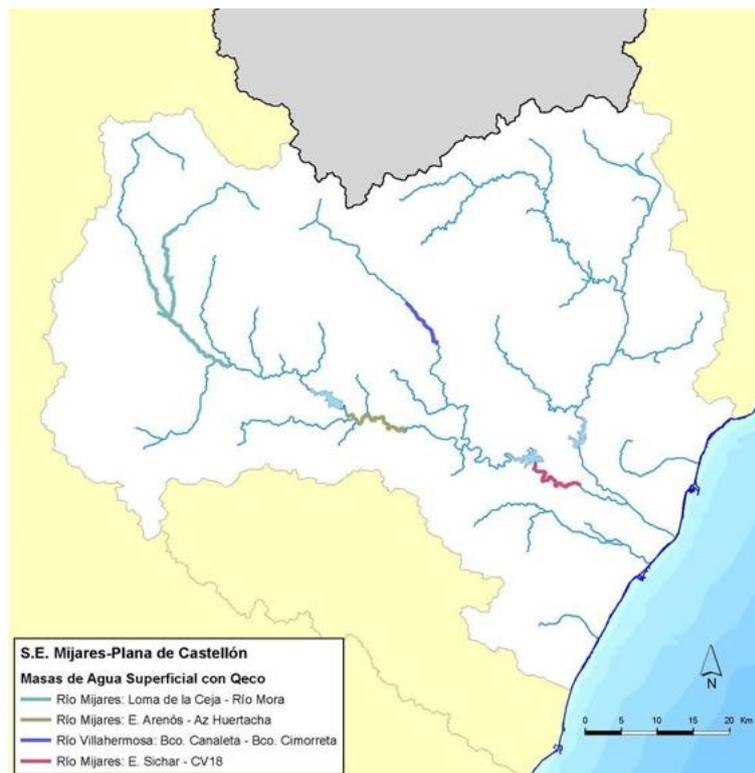


Figura 6. Localización de las masas de agua con caudales ecológicos establecidos en el PHJ09-15 en el Sistema de Explotación Mijares-Plana de Castellón. CHJ.

DOCUMENTO 1: MEMORIA.

➤ Situación del plan vigente (PHJ15-21).

El presente plan hidrológico ha establecido un régimen de caudales ecológicos para todas las masas de agua superficial de categoría río, tal y como se desarrolla en el anejo 5 de la memoria. De las 44 masas de agua superficial del sistema se ha fijado caudal ecológico en 27, siendo el eje principal del río Mijares, el río Villahermosa, el tramo medio de la rambla de la Viuda y el río Veo los ejemplos más importantes; si bien en algunas cabeceras el caudal establecido resulta inapreciable. En el resto de las masas de agua no se ha fijado ningún caudal ecológico bien porque se trata de embalses, bien porque son masas de agua clasificadas como sin agua en los muestreos, situándose éstas en la cabecera de la rambla de la Viuda, en la desembocadura del río Seco, en el río Belcaire y en algunas pequeñas masas de agua afluentes del río Mijares entre los embalses de Arenós y Sichar.

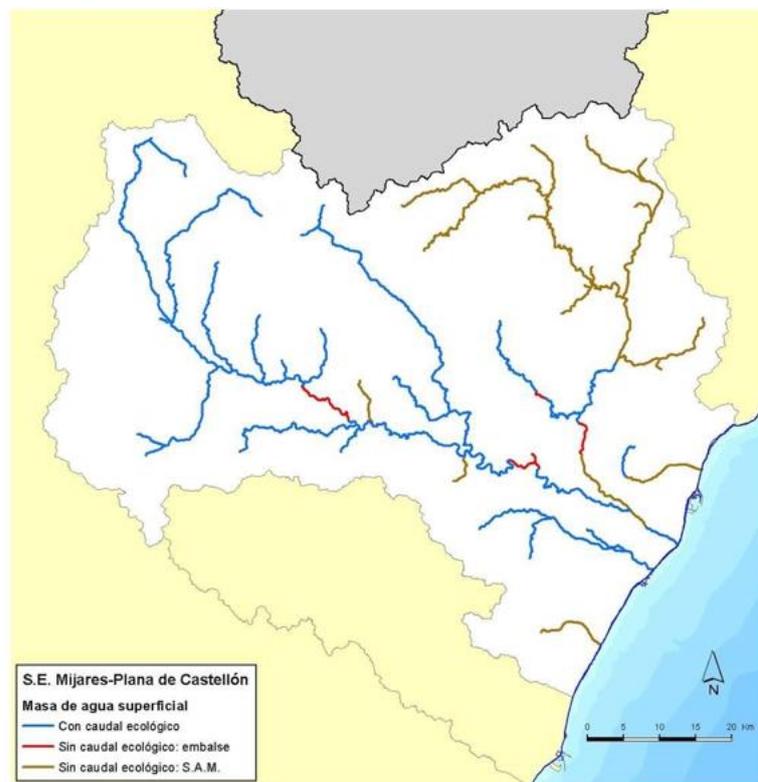


Figura 7. Localización de las masas de agua con caudales establecidos en el PHJ 15-21.
CHJ.

DOCUMENTO 1: MEMORIA.

Tabla 4. Caudales ecológicos mínimos establecidos por el PHJ15/21 en el sistema de explotación Mijares-Plana de Castellón. CHI.

Masa de agua superficial		Caudal ecológico (m ³ /s)		Hidrorregión
		Situación ordinaria	Situación de sequía	
09.01	Río Seco: Cabecera - Castellón	inapreciable		1
10.01	Río Mijares: Cabecera - Bco. Charco	0,02	0,02	1
10.02	Río Mijares: Bco. Charco - Loma de la Ceja	0,02	0,02	1
10.03	Río Mijares: Loma de la Ceja - Río Mora	0,31	0,31	1
10.03.01.01	Río Alcalá: Cabecera - Río Valbona	0,02	0,02	1
10.03.02.01	Río Albentosa: Cabecera - Manzanera	0,02	0,02	1
10.03.02.02	Río Albentosa: Desde Manzanera hasta confluencia	0,06	0,06	1
10.03.03.01	Río Mora	0,03	0,03	1
10.04	Río Mijares: Río Mora - E. Arenós	0,40	0,40	1
10.04.01.01	Río del Morrón	0,02	0,02	1

Masa de agua superficial		Caudal ecológico (m ³ /s)		Hidrorregión	
		Situación ordinaria	Situación de sequía		
10.06	Río Mijares: E. Arenós - Az. Huertacha	0,40	0,40	1	
10.06.01.01	Bco. Maimona	0,02	0,02	1	
10.06.02.01	Río Montán	0,01	0,01	1	
10.07	Río Mijares: Az. Huertacha - E. Vallat	0,56	0,56	1	
10.07.02.01	Río Villahermosa: Cabecera - Bco. Canaleta	0,03	0,03	1	
10.07.02.02	Río Villahermosa: Bco. Canaleta - Bco. Cimirreta	0,06	0,06	1	
10.07.02.03	Río Villahermosa: Bco. Cimirreta - Villahermosa	0,07	0,07	1	
10.07.02.04	Río Villahermosa: Villahermosa - Río Mijares	0,07	0,07	1	
10.08	Río Mijares: E. Vallat - E. Schar	0,63	0,63	1	
10.10	Río Mijares: E. Schar - Canal cota 100	E, Schar-toma tramo común	1,10	0,95	1
		Toma tramo común-canal cota 100	0,95	0,95	1
10.11	Río Mijares: Canal cota 100 - Rbla. de la Viuda	0,2	0,2	1	
10.12.01.04	Rbla. de la Viuda: Bco. Cabanes - E. M ^a Cristina	inapreciable		1	
10.12.01.04.01.01	Río Lucena: Cabecera - E. Alcora	0,00	0,00	1	
10.12.01.04.01.03	Río Lucena: E. Alcora - Rbla. de la Viuda	0,01	0,01	1	
10.13	Delta del Mijares	0,10	0,10	1	
11.01	Río Veo	0,00	0,00	1	

6. Desarrollo del modelo de cálculo empleado.

En este apartado se explica con detenimiento todos y cada uno de los procedimientos y pasos utilizados para la construcción y validación del modelo creado. Para ello, se ha dividido en diferentes sub-apartados para mejorar su comprensión y facilidad de lectura.

La herramienta principal utilizada para la creación del modelo ha sido la hoja de cálculo "Excel", la cual permite crear y analizar tablas y gráficos con facilidad, moldeándolos bajo un criterio técnico para mostrar aquellos resultados más interesantes.

6.1. Descripción general del tramo seleccionado para estudio.

El tramo del río Mijares seleccionado ha sido el resultado del estudio del emplazamiento de las más importantes e influyentes centrales de todo el río, además del embalse más determinante, dado que gran parte de los resultados del trabajo y cumplimiento de los objetivos del mismo dependen de la gestión de estos elementos.

Por todo ello, contando con el embalse de Arenós al final del tramo alto del río Mijares y las centrales hidroeléctricas más importantes tanto en el tramo alto como en el medio, el tramo escogido ha sido desde la estación ROEA 08030 "El Terde", situada en cabecera, junto al nacimiento del río Mijares, pasando por el embalse de Arenós, hasta justo aguas abajo del embalse de Sichar, donde empieza el tramo bajo del río y termina nuestro análisis debido a la poca relevancia en cuanto a centrales hidroeléctricas con respecto a los dos tramos anteriores.

El esquema del tramo seleccionado es el siguiente:

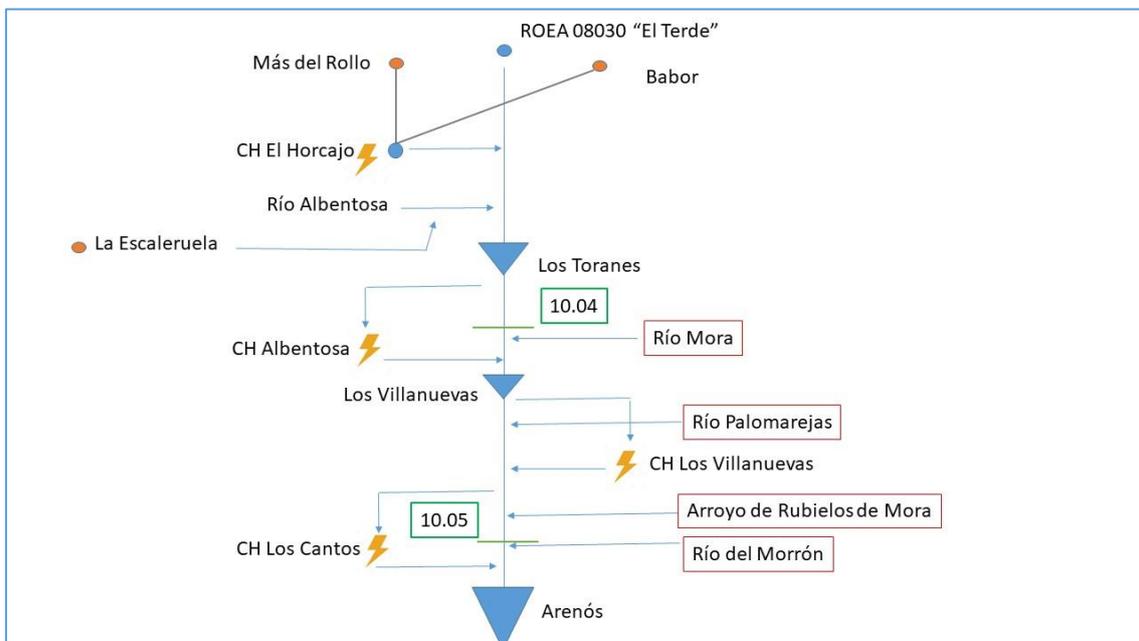


Figura 8. Esquema del tramo alto escogido para el estudio. Elaboración propia.

DOCUMENTO 1: MEMORIA.

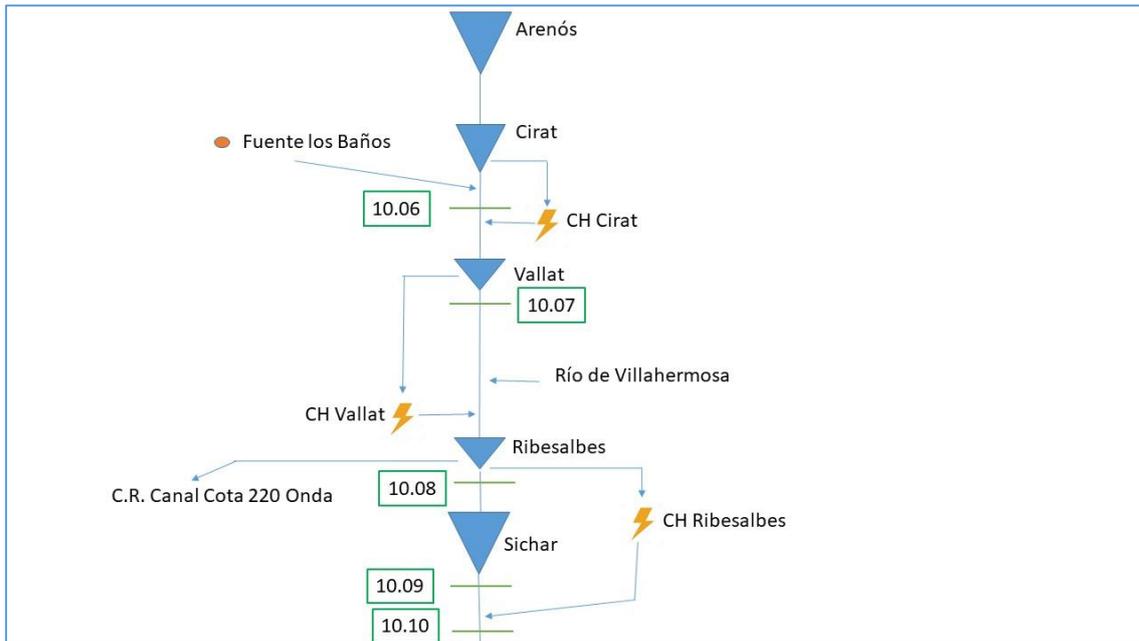


Figura 9. Esquema del tramo medio escogido para el estudio. Elaboración propia.

El primer elemento, aquel del cual se toman los datos iniciales, es la estación ROEA 08030 “El Terde”. Esta estación proporciona un histórico de datos diarios reales de caudal y volumen registrado para toda la serie escogida.

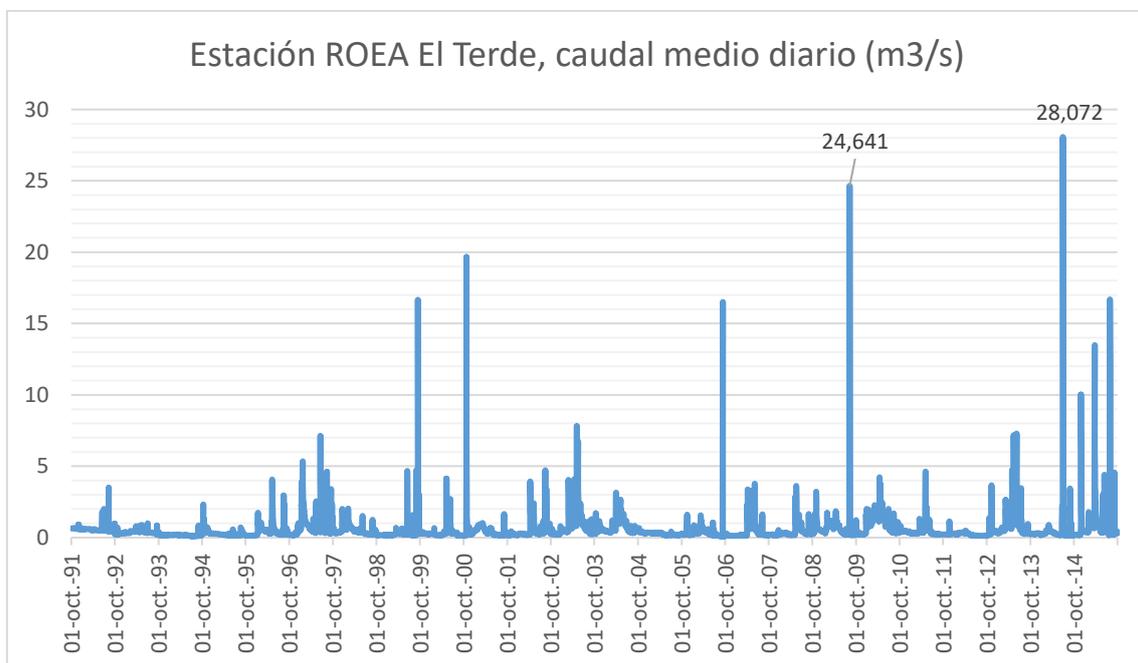


Figura 10. Serie histórica diaria de caudales de la estación ROEA El Terde. CHJ.

Este, por tanto, será el punto de partida a partir del cual construiremos nuestro modelo.

Aguas abajo de esta estación ROEA se encuentran dos manantiales, uno a cada margen del cauce del río Mijares, Mas Royo y Babor. La serie histórica de ambos manantiales se

DOCUMENTO 1: MEMORIA.

ha obtenido a través del modelo PATRICAL, que nos proporciona datos simulados mensuales.

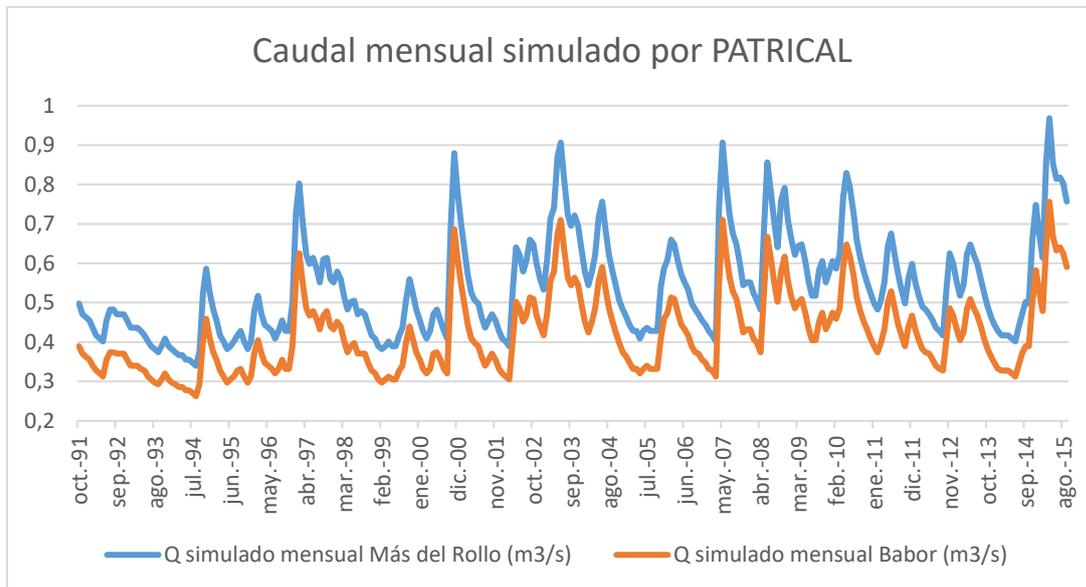


Figura 11. Caudales mensuales de los manantiales Mas Royo y Babor ofrecidos por el modelo de simulación PATRICAL. CHJ.

Sería interesante, obviamente, poder disponer de la misma frecuencia y validez de datos de todos los elementos, pero como no es así, existen elementos a los que tenemos que realizar simulaciones en sus series históricas para así poder obtener la misma frecuencia de datos que el dato de origen real y así poder ser comparados.

Esto ocurre tanto con los dos manantiales mencionados como los restantes. El procedimiento empleado para la simulación de los datos diarios de estos manantiales está explicado en “Anejo 1: Caudales diarios de los manantiales Mas Royo, Babor, La Escaleruela y Fuente Los Baños”.

Ambos manantiales son canalizados hasta llegar a la central hidroeléctrica “El Horcajo”, situada a la margen derecha del Río Mijares. Tras esta, la restitución al cauce se produce antes de llegar al siguiente elemento, el manantial “La Escaleruela”. Tras esta aportación, nos encontramos ante el embalse de Los Toranes. Este embalse no tiene capacidad de regulación, por lo que los caudales que llegan al mismo no pueden ser almacenados para un uso posterior, sino que deben ser desembalsados, bien derivándolos hacia la central de Albentosa (central que capta agua directamente de este embalse), bien desembalsados por los órganos de desagüe de la presa.

Tras el embalse de Los Toranes y la derivación hacia la central de Albentosa, finaliza el tramo de la masa de agua 10.03 y comienza la masa de agua 10.04, justo en la intersección con el Río Mora, que es el siguiente elemento del modelo.

A diferencia del resto de elemento, el río Mora (además de otros ríos que aparecerán más adelante en este tramo alto) no nos proporciona serie histórica de caudales. En este caso, su serie ha sido calculada mediante un sistema de aforo diferencial, el cual está

DOCUMENTO 1: MEMORIA.

explicado en el apartado “6.4. Aforo diferencial para el cálculo de las series de los elementos no registrados.”

Tras la aportación del Río Mora se realiza la restitución al cauce de la central de Albentosa. Tras esta, nos encontramos ante el azud Los Villanuevas, del cual capta agua la central de Los Villanuevas.

Aguas abajo de este azud y poco antes de llegar a la restitución de la central que recibe su nombre, se encuentra el Río Palomarejas, cuya serie histórica ha sido obtenida por el mismo método que la del Río Mora.

La central de Albentosa restituye al cauce y seguidamente se realiza la captación por parte de la central de Los Cantos, que será la última que nos encontraremos en este primer tramo del estudio.

Tras la captación de esta última central y, ya para finalizar en cuanto a los elementos incluidos, se encuentran dos ríos más que también han sido simulados gracias al procedimiento de aforo diferencial. Se trata del Arroyo Rubielos de Mora y del Río Del Morrón. Ambos ríos se encuentran entre la restitución de la central Los Villanuevas y la captación de la central Los Cantos, habiendo tras esta la estación de aforo ROEA 08134 “Entrada Arenós” que recoge los datos de caudal y volumen de todo el tramo.

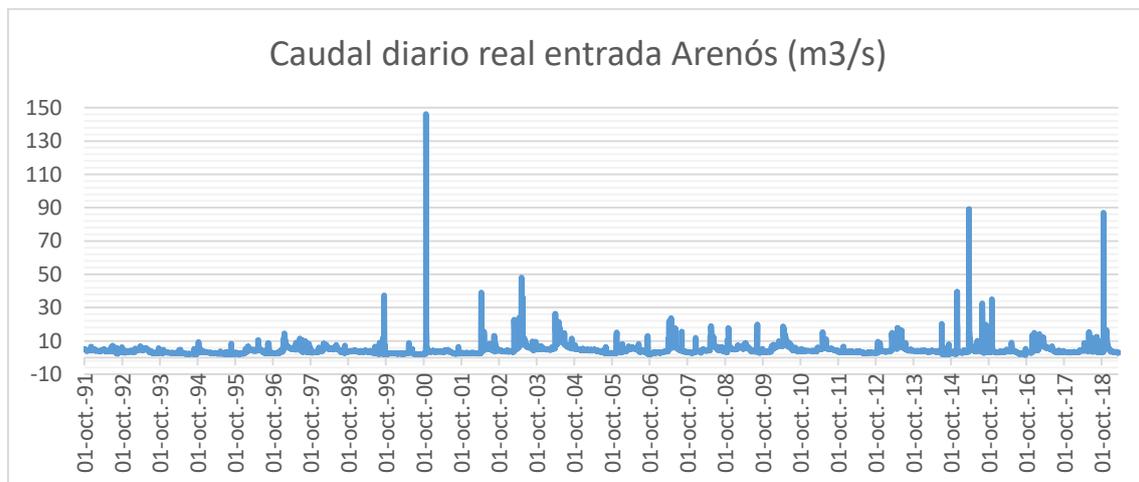


Figura 12. Caudales diarios reales de entrada al embalse de Arenós. CHJ.

Esta estación de aforo servirá de comprobación para la cantidad total de agua registrada al final de tramo alto y nos dará una idea de la precisión en los procedimientos de simulación utilizados en este tramo, además de, por supuesto, la comparación con la realidad de los caudales turbinados en cada una de las centrales del tramo.

Tras el embalse de Arenós se encuentra la estación de aforo 08145 “Salida Arenós”, que servirá de comprobación para el agua total registrada a la salida de este embalse según la gestión conjunta realizada de ambos.

DOCUMENTO 1: MEMORIA.

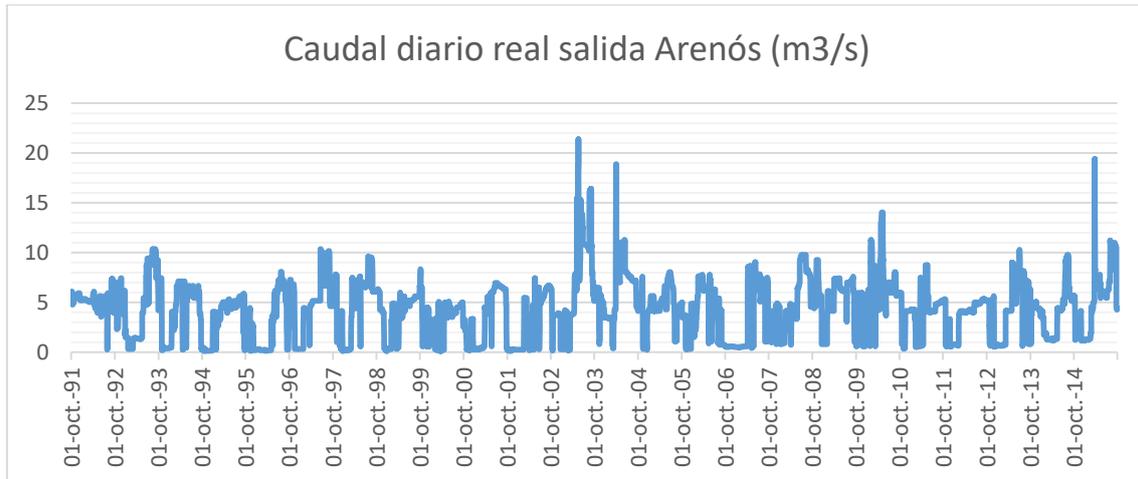


Figura 13. Caudales diarios reales de salida del embalse de Arenós. CHJ.

Aguas abajo de este gran embalse y de su estación de aforo, se encuentra el embalse de Cirat, de menor capacidad, y del que capta agua directamente la central que recibe su nombre, la central de Cirat. Tras esta, se encuentra la aportación del manantial Fuente de los Baños, en Montanejos, que se incorpora al cauce justo antes de terminar el límite para la masa de agua 10.05, comenzando así la 10.06 desde ese punto. Los datos de caudal de este manantial han sido obtenidos de igual forma que los del tramo alto, realizando una simulación para aproximar su caudal medio mensual a datos diarios, a partir de los datos proporcionados por el modelo PATRICAL.

Tras este manantial, a pesar de que realmente sí que existen varias aportaciones más hasta llegar a la restitución de la central de Cirat, no se han considerado en el modelo porque carecen de la relevancia suficiente como para tomar un papel considerable en la gestión del modelo. Por lo tanto, tras el último elemento comentado, la restitución de Cirat, se encuentra de nuevo otro embalse, el embalse de Vallat.

Con el embalse de Vallat, del cual capta agua la central de Vallat, finaliza la masa de agua 10.06 y comienza la siguiente, la 10.07. El siguiente elemento es la aportación del Río Villahermosa, que coincide prácticamente con la restitución de la central de Vallat, quedando el río aguas arriba de la restitución.

A diferencia de lo que ocurre con los ríos anteriormente comentados del tramo alto, el Río Villahermosa sí que nos proporciona una serie de caudales que han sido simulados a través del modelo PATRICAL, de igual forma que con los manantiales del tramo alto.

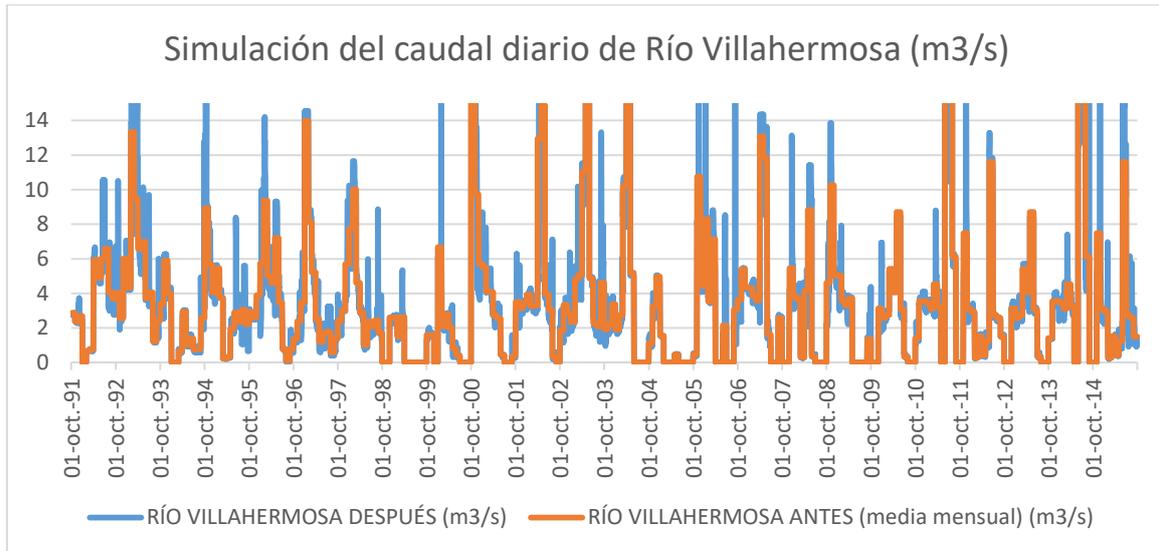


Figura 14. Caudales diarios simulados del Río Villahermosa. Elaboración propia.

Tras el Río Villahermosa y la restitución de la central de Vallat se encuentra el embalse de Ribesalbes, del cual salen dos derivaciones. Una de ellas, la que se encuentra en la margen derecha del río, corresponde con la comunidad de regantes Canal Cota 220, y la otra de ellas con la central de Ribesalbes. A diferencia del resto de comunidades de regantes que sí que existen en la realidad y no se han incluido en el modelo por ser irrelevantes para ello, esta sí se ha tenido en cuenta por tener una relevancia suficientemente grande dado que en ella se centran todas las demandas de dependen directamente del embalse de Arenós. Estas demandas son:

Tabla 5. Demandas medias mensuales del embalse de Arenós. CHJ.

MES	10	11	12	1	2	3	4	5	6	7	8	9
DEMANDAS ARENÓS (hm3/mes)	0,318	0,092	0,21	0,124	0,162	0,426	0,323	0,458	0,857	1,132	0,852	0,437

La otra derivación corresponde con, una vez más, la central que capta agua directamente de este embalse, la central de Ribesalbes. Esta central está directamente conectada en la realidad aguas abajo con la central de Colmenar, salvando un elemento situado entre ambas centrales que deriva agua desde la salida de la central de Ribesalbes hasta el embalse que se sitúa justo aguas debajo de esta central, el embalse de Sichar. En este modelo, no se ha tenido en cuenta dicho elemento de derivación porque no alteraba el resultado de lo que se buscaba, por lo tanto, al obviarse, quedan directamente conectadas estas dos últimas centrales y restituyendo ambas en un único punto, a la salida del embalse de Sichar. Este será el último punto de análisis de nuestro sistema, punto donde se tienen en cuenta las demandas aguas debajo de Sichar.

Tabla 6. Demandas superficiales medias mensuales del embalse de Sichar.

MES	10	11	12	1	2	3	4	5	6	7	8	9
DEMANDAS SICHAR (hm3/mes)	0,318	0,092	0,21	0,124	0,162	0,426	0,323	0,458	0,857	1,132	0,852	0,437

6.2. Años seleccionados para el estudio.

Tras haber descrito los elementos que forman parte del nuestro sistema, se procede a la selección de la serie histórica común para todos ellos.

Una vez analizadas las series históricas dato de cada uno de los elementos, los años comunes para todos ellos corresponden a la serie hidrológica 1991-2014, con un total de 24 años hidrológicos completos.

6.3. Procedimiento de obtención de los caudales simulados diarios de los manantiales, en base a sus datos mensuales en modelo PATRICAL.

1. A partir de la serie histórica diaria real de caudales de la estación ROEA “El Terde”, se calcula, para cada mes y año, el sumatorio total de los caudales.
2. Se calcula la proporción entre el dato de caudal diario real de cada día con la suma de caudales de ese mes y año, proporcionando para cada día un valor en porcentaje.
3. Se multiplica dicha proporción diaria por el caudal diario medio de cada manantial (proporcionado por PATRICAL).
4. Por último, se multiplica este último resultado por el número de días de cada mes.

Con esto se consigue conocer cómo es la distribución de caudales diarios de una serie, en principio desconocida, a partir del comportamiento diario de un elemento real que se sitúa justo aguas arriba, como es la estación ROEA “El Terde”.

El resultado para el manantial Más del Rollo se puede observar en la siguiente gráfica:

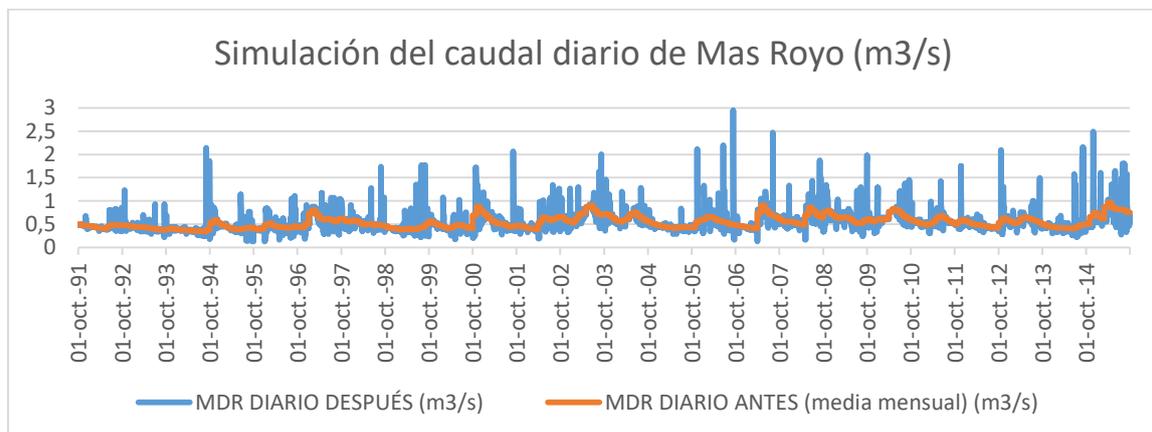


Figura 15. Caudales diarios simulados del manantial Mas Royo. Elaboración propia.

6.4. Aforo diferencial para el cálculo de las series de los elementos no registrados.

El cálculo de aportación superficial y subterránea puntual de estos elementos nace de la problemática de no disponer de serie histórica de los mismos. Una buena aproximación de estos permite que el modelo simule unos volúmenes turbinados en las centrales que pertenecen al tramo afectado por el aforo diferencial muy ajustadas a la realidad. Los ríos de los cuales no disponemos de serie histórica son: Mora, Palomarejas, Rubielos de Mora y Morrón.

El procedimiento empleado es el siguiente:

1. Cálculo de la diferencia de caudal diaria entre la ROEA 08134 “Entrada Arenós” y el sumatorio de las entradas iniciales del tramo alto estudiado.

Para entender este primer apartado es importante saber que este tramo de río es completamente ganador, partiendo de un caudal medio diario en la estación ROEA 08030 “El Terde” de alrededor de $0,35 \text{ m}^3/\text{s}$ y finalizando en la entrada de Arenós con unos $4,5 \text{ m}^3/\text{s}$.

De esta manera, podemos calcular una linealidad de aportación en los caudales al tramo de río afectado.

El hecho de sumar al caudal de entrada de la estación “El Terde” las entradas a través de los manantiales de Más del Rollo, Babor y La Escaleruela se debe a dos factores principalmente:

- El hecho de estar prácticamente pegados a la estación de entrada (con respecto a la totalidad del tramo alto).
- El hecho de no pertenecer al tramo en el que se encuentran los cuatro ríos de los que no disponemos serie histórica.

2. Cálculo de la constante de aportación por cada kilómetro de cauce.

Como ya hemos comentado, al tratarse de una ecuación lineal de primer grado, la constante de aportación por cada kilómetro de cauce se obtiene dividiendo la diferencia de caudales calculada en el apartado primero entre la distancia total existente entre ambos puntos de referencia.

Esta distancia, consultada en el apartado SIA de la Confederación Hidrográfica del Júcar (de aquí en adelante CHJ), son aproximadamente 22 kilómetros de cauce.

3. Cálculo de la aportación acumulada en cada punto.

En cada uno de los puntos (o ríos), el caudal acumulado en dicho punto es igual a la constante de aportación lineal (calculada en apartado 2) multiplicada por la distancia entre el origen (El Terde) hasta dicho punto o río.

4. Cálculo de la aportación en cada punto (no acumulada, sino puntual).

DOCUMENTO 1: MEMORIA.

Para cada uno de los puntos, el caudal que le pertenece a cada uno de ellos es igual al caudal acumulado hasta ese punto (apartado 3) menos el caudal acumulado hasta el punto anterior.

Con ello, tendremos calculado para cada día y cada río su caudal diario medio.

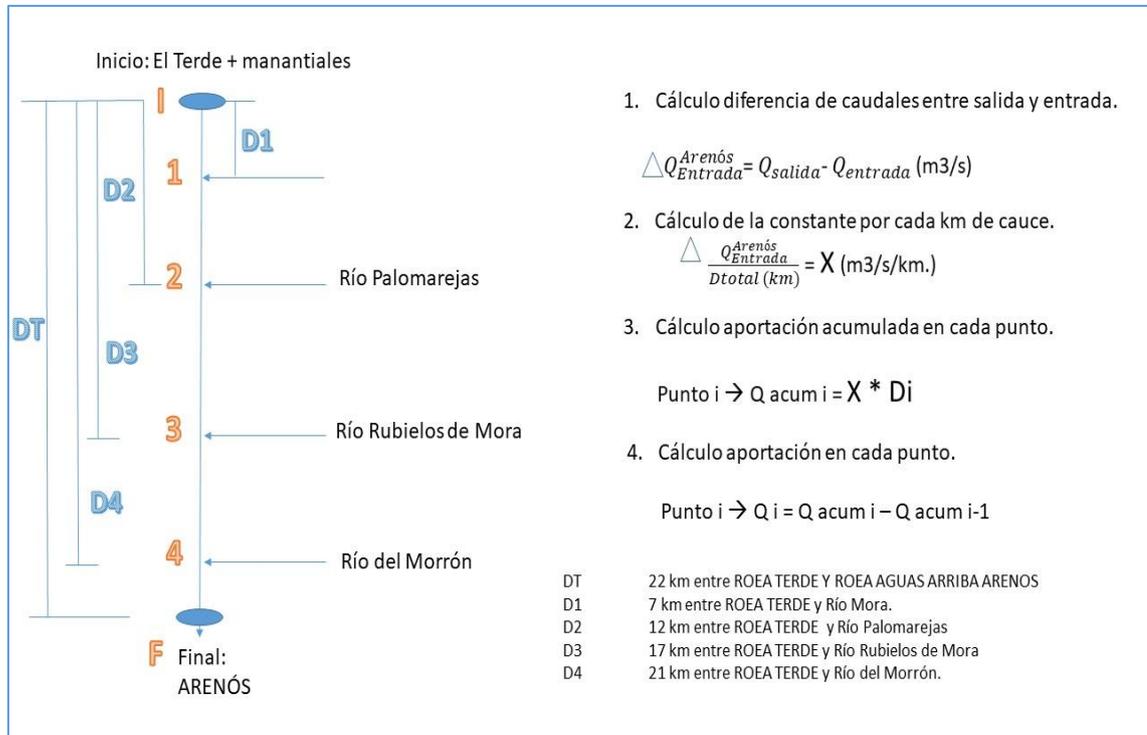


Figura 16. Procedimiento para el aforo diferencial. Elaboración propia.

6.5. Procedimiento para la obtención de los caudales derivados y turbinados de las centrales hidroeléctricas.

La realidad nos muestra que las centrales hidroeléctricas no captan más agua de la necesaria, es decir, captan únicamente aquella cantidad de agua que son capaces de turbinar. Esto lo consiguen gracias a las redes de aforo y cuantificación de las masas de agua que existen a la entrada de cada embalse.

En definitiva, el objetivo principal para las centrales es captar la mayor cantidad de agua posible que pueda ser turbinada sin perjudicar, dos aspectos:

- El caudal ecológico delimitado en ese tramo de río.
- El sistema de turbinación de la central.

El primero de estos aspectos parece razonable y lógico, dado que se debe a una restricción ambiental impuesta y de obligado cumplimiento, tal y como se recoge en el apartado número "9. Normativa". Sin embargo, el segundo concepto es una mera cuestión de optimización del funcionamiento de la central. Captar únicamente el agua que se puede turbinar no sólo dependiendo de la cantidad sino también de la calidad ayuda a prolongar el buen estado de las turbinas.

En este modelo sólo se analizarán las redes de cantidad y no las de calidad, por lo tanto, será común observar cómo en distintos espacios temporales en cualquiera de las centrales existen valores de volumen turbinado superiores a los datos reales.

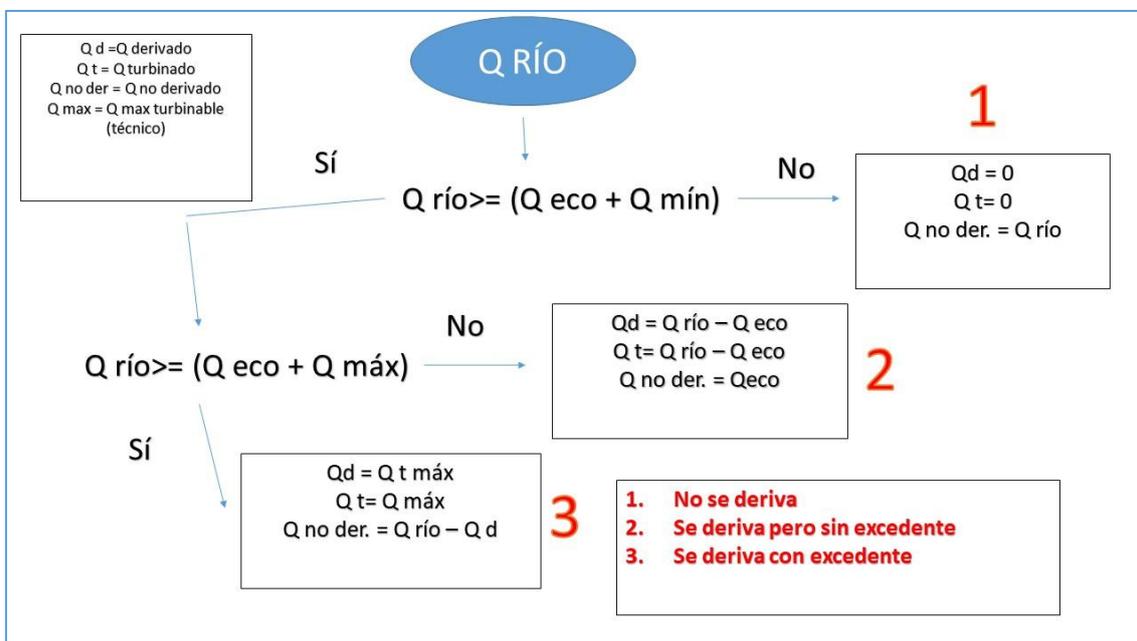


Figura 17. Procedimiento empleado para la determinación de los caudales derivados y turbinados de las centrales hidroeléctricas. Elaboración propia.

En primer lugar, observando el caudal que viene por el cauce ($Q \text{ río}$), nos preguntamos si ese caudal es mayor o igual a la suma del caudal ecológico (mínimo obligatorio aguas abajo del embalse) y el caudal mínimo de funcionamiento de las turbinas. Si la respuesta

DOCUMENTO 1: MEMORIA.

es que no (situación 1), nos encontramos ante una situación única, en la que no existe caudal derivado debido a que no hay agua suficiente como para cumplir el caudal ecológico y poder turbinar, simultáneamente.

Si la respuesta es afirmativa, entramos en otra cuestión, la de si el caudal que viene aguas arriba por el cauce es igual o superior a la suma del caudal ecológico y, esta vez, el caudal máximo turbinable de la central.

Si es que no, nos encontramos en una situación intermedia entre la 1 y la 3, donde se deriva aquella cantidad que no es estrictamente necesaria mantener en el cauce para el cumplimiento del caudal ecológico.

Por último, si la segunda cuestión resulta afirmativa, nos encontramos ante, a priori, el mejor escenario posible tanto para el comportamiento natural del cauce como para la propia central, escenario en el cual la central puede captar tanta agua como quiera hasta llegar a su capacidad de turbinación máxima y además respetando el cumplimiento de caudales ecológicos en el cauce aguas debajo de la presa.

Como se puede observar, en cualquiera de los tres escenarios posibles, el caudal turbinado es exactamente igual al derivado, siguiendo la premisa que se citó anteriormente, derivar únicamente el agua que sea posible turbinar.

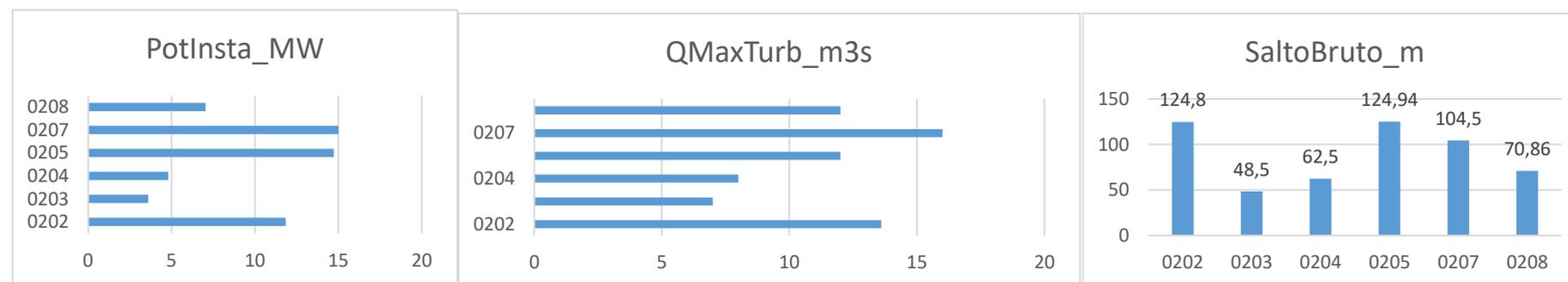
Con todo ello, queda definido el procedimiento empleado para la obtención de los caudales turbinados por las centrales en todo el tramo de río estudiado.

DOCUMENTO 1: MEMORIA.

6.6. Datos técnicos de las centrales hidroeléctricas.

CodCHE	NomCHE	Municipio	Titular	Coordenadas Central			TenMasaTom	Coordenadas Toma			DenMasaRes	Coordenadas Restitución		PotInsta_MW	Turbinas	MaxTurb_m	SaltoBruto_m
				TRS89_XCH	TRS89_YCH	MasAguSup		TRS89_XTom	TRS89_YTom	MasAguSup		TRS89_XRes	TRS89_YRes				
0202	ALBENTOSA/LOS TORANES/SAN AGUSTÍN	San Agustín	IBERDROLA, S.A.	697390,42	4444603	10.03	Río Mijares: Loma de la Ceja - Río Mora	692524,443	4446334,95	10.04	Río Mijares: Río Mora - E. Arenós	697380,417	4444620,95	11,84	2	13,6	124,8
0203	LOS VILLANUEVAS	Olba	IBERDROLA, S.A.	699971,42	4444805	10.04	Río Mora - E. Arenós	697434,417	4444610,95	10.04	Río Mora - E. Arenós	700050,415	4444769,95	3,6	3	7	48,5
0204	LOS CANTOS	Puebla de Arenoso	IBERDROLA, S.A.	703765,4	4443641	10.04	Río Mijares: Río Mora - E. Arenós	700159,414	4444734,95	10.05	E. Arenós	703865,396	4443621,97	4,8	2	8	62,5
0205	CIRAT	Cirat	IBERDROLA, S.A.	717538,36	4437386	10.05	E. Arenós	709926,355	4439281,99	10.06	Río Mijares: E. Arenós - Az. Huertacha	717657,355	4437300,96	14,72	2	12	124,94
0207	VALLAT	Vallat	IBERDROLA, S.A.	727728,26	4434441	10.06	Río Mijares: E. Arenós - Az. Huertacha	717931,349	4436675,97	10.07	Río Mijares: Az. Huertacha - E. Vallat	727860,262	4434582,91	15	2	16	104,5
0208	RIBESALBES	Ribesalbes	IBERDROLA, S.A.	732269,2	4433224	10.07	Río Mijares: Az. Huertacha - E. Vallat	728620,247	4434130,91	10.09	E. Sichar	732506,198	4433448,89	7,04	2	12	70,86

Figura 18. Datos técnicos de las centrales hidroeléctricas. CHJ.



6.7. Cálculo del coeficiente energético.

En este apartado se pretende dar a conocer el procedimiento empleado para la obtención del coeficiente energético de cada una de las centrales hidroeléctricas del tramo estudiado.

A continuación, se explica el procedimiento para obtener el coeficiente energético teórico. Sin embargo, en la práctica el coeficiente energético es inferior debido a una serie de factores que afectan al valor teórico, y que son fundamentalmente las pérdidas en el circuito hidráulico de conducción del caudal de agua a turbinar, así como en el conjunto de turbina, generador y transformador. De manera aproximada podemos suponer unas pérdidas de un 10 % asociadas a estos factores.

Cálculo del coeficiente energético teórico

El denominado coeficiente energético es un parámetro que depende de las características de cada central hidroeléctrica y que representa la energía que es posible producir en esa central con cada unidad de volumen. A continuación se desarrolla el procedimiento a seguir para obtener la expresión que permite el cálculo del coeficiente energético teórico de una central hidroeléctrica.

La energía se obtiene de la siguiente expresión:

$$\text{Energía} = \text{Volumen de agua turbinado} \times \text{Coeficiente energético}$$

Para obtener el coeficiente energético teórico partimos de la expresión:

$$P = p \cdot g \cdot Q \cdot h$$

Donde P es potencia en W (vatios), p es la densidad del agua (1000 kg/m³), g es el valor de aceleración de la gravedad en m/s², Q es el caudal turbinado en m³/s y h es la altura del salto expresada en m. Con estas unidades obtenemos la potencia en vatios, y para obtenerla en kilovatios dividimos entre 1000.

Dado que la energía E es igual a la potencia por el tiempo t, obtendremos la expresión:

$$E = \frac{p \cdot g \cdot Q \cdot h}{1000} * t$$

Empleando los valores habituales de la densidad del agua p=1000 kg/m³ y de la aceleración de la gravedad g = 9.8 m/s², para t = 1 hora, se obtiene:

$$E = \frac{1000 \cdot 9'8 \cdot Q \cdot h}{1000} * 1 = 9'8 * Q * h$$

El volumen en metros cúbicos turbinado durante dicha hora será (considerando que cada hora equivale a 3600 s):

$$V = Q * 3600$$

DOCUMENTO 1: MEMORIA.

Por tanto, el coeficiente energético teórico, energía por unidad de volumen, es:

$$\text{CoeficienteEnergético} = \frac{E}{V} = \frac{9'8 * Q * h}{Q * 3600} = \frac{9'8}{3600} * h = 0'002722 * h$$

Esta expresión nos da el valor del coeficiente energético teórico (expresado en kWh/m³), en función del salto (expresado en m}. Este coeficiente teórico es superior al obtenido en la práctica, debido a una serie de factores que afectan al valor teórico, y que son fundamentalmente las pérdidas en el circuito hidráulico de conducción del caudal de agua a turbinar, así como en el conjunto de turbina, generador y transformador.

Volviendo al ejemplo de Albentosa, el salto del aprovechamiento es un dato que se ha tomado de su concesión administrativa, siendo h = 124.8 m.

De acuerdo con el Anexo 1 y considerando unas pérdidas del 10%, el Coeficiente Energético real resulta:

$$\text{Coeficiente Energético Real} = 0'002722 * h * (1 - 0'1) = 0'306kWh/m^3$$

6.8. Gestión conjunta de los embalses Arenós y Sichar.

En este apartado se va a proceder a la explicación del procedimiento empleado para la gestión de los dos embalses más importantes del río Mijares en cuanto a aprovechamientos hidroeléctricos.

6.8.1. Gestión conjunta. Datos de partida.

Los datos técnicos iniciales con los que cuenta cada embalse son:

Tabla 7. Datos técnicos del embalse de Arenós. CHJ.

ARENÓS

MES	CAP. MÁX	VOL. MIN			DEMANDAS			TASA EVAP		VOL. OBJETIVO	
10	52	2			0,318			57,4		40	
11	52	2			0,092			36,4		40	
12	52	2			0,21			30,1		40	
1	65	2			0,124			34,3		40	
2	65	2			0,162			52,5		45	
3	65	2			0,426			63,7		45	
4	65	2			0,323			83,3		45	
5	65	2			0,458			109,2		40	
6	65	2			0,857			126,7		40	
7	65	2			1,132			153,3		40	
8	65	2			0,852			127,4		40	
9	52	2			0,437			90,3		40	
CURVA ARENÓS	SUP (ha)	89	137	180	221	260,8	300,1	339	378	416	
	VOL (hm3)	14	20,4	42,7	56,9	71,11	85,33	99,6	114	128	

Tabla 8. Datos técnicos del embalse de Sichar. CHJ.

SICHAR

MES	CAP. MÁX	VOL. MIN			DEMANDAS			TASA EVAP		VOL. OBJETIVO	
10	35	3			6,146			65,6		10,2	
11	35	3			1,895			41,6		10,2	
12	35	3			3,915			34,4		11,9	
1	45	3			2,327			39,2		12,7	
2	45	3			3,02			60		33	
3	45	3			7,863			72,8		33,4	
4	45	3			5,819			95,2		33,6	
5	45	3			8,643			124,8		32,7	
6	45	3			15,995			144,8		39,9	
7	45	3			21,275			175,2		37,7	
8	45	3			15,432			145,6		35	
9	35	3			8,338			103,2		35	
CURVA SICHAR	VOL (hm3)	4,9	9,78	14,7	19,6	24,44	29,33	34,2	39,1	44	
	SUP (ha)	75	112	144	175	203,9	232,4	260	288	316	

DOCUMENTO 1: MEMORIA.

Las curvas volumen-superficie resultantes de cada embalse son las siguientes:

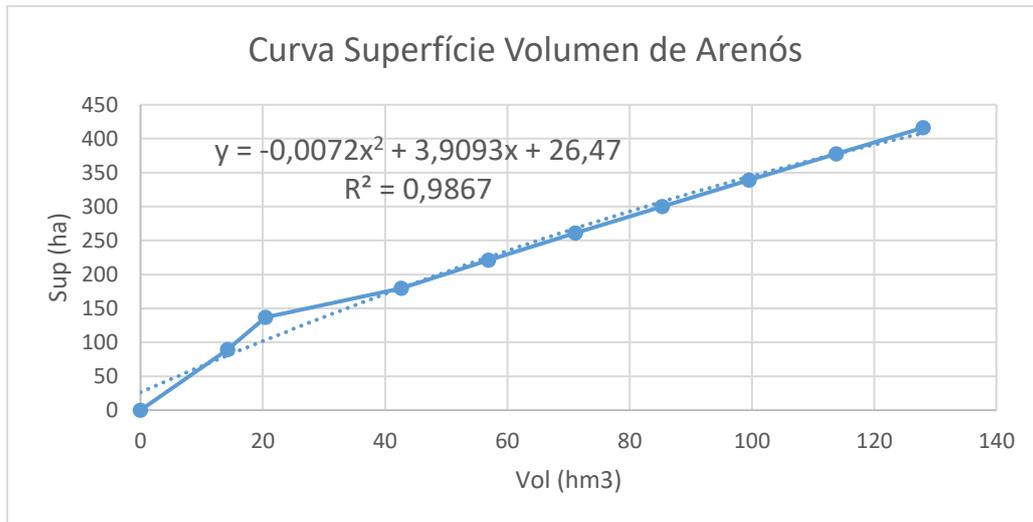


Figura 19. Curva superficie-volumen del embalse de Arenós. Elaboración propia.

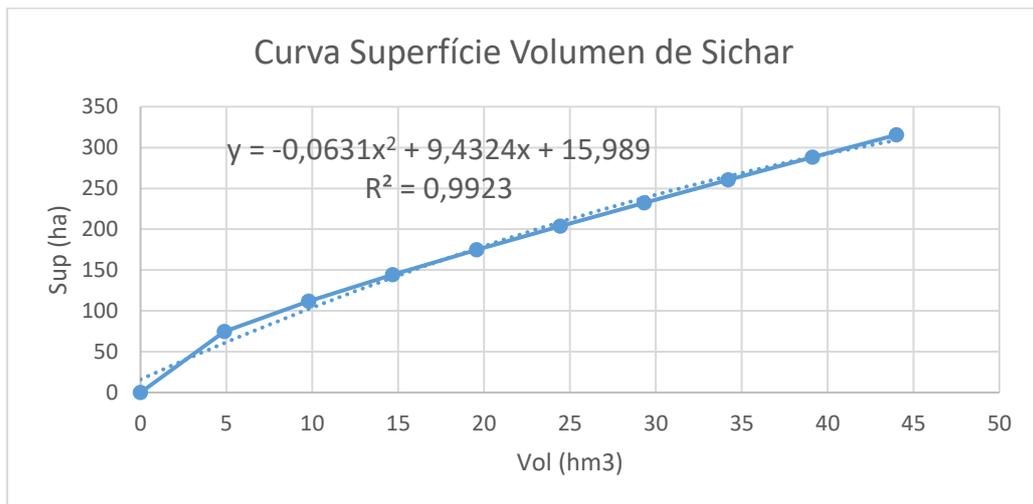


Figura 20. Curva superficie-volumen del embalse de Sichar. Elaboración propia.

La expresión matemática de ambas curvas se ha aproximado a una ecuación polinómica de orden 2. Con ello, se puede apreciar que se consigue una correcta aproximación a la ecuación real de cada embalse.

Estos datos provienen de los modelos de Aquatool (Andreu, J., Capilla, J. y Sanchís, E., 1996.) que actualmente están implementados en la Oficina de Planificación Hidrológica de la Confederación Hidrográfica del Júcar.

6.8.2. Esquema de la gestión conjunta de los embalses de Arenós y Sichar.

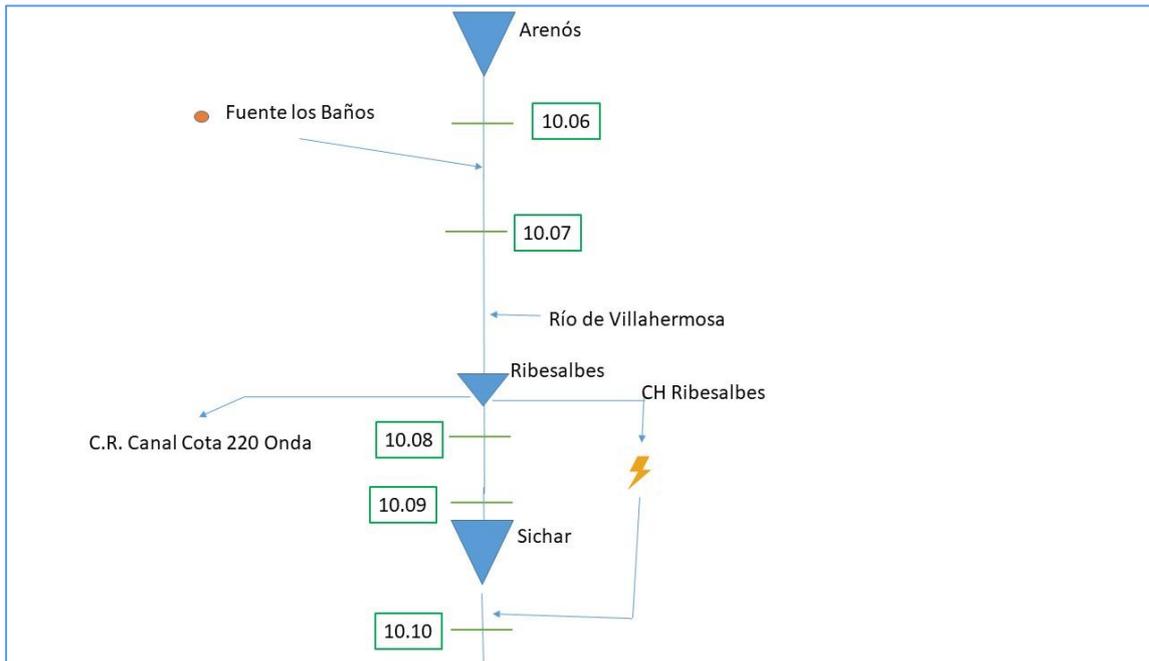


Figura 21. Esquema de la gestión conjunta de Arenós y Sichar. Elaboración propia.

Para la gestión conjunta de ambos embalses, se ha suprimido la intervención de las centrales de Cirat y Vallat, situadas aguas arriba de Ribesalbes. Esto es debido a que no intervienen en la formulación de esta gestión, dado que, como restituyen la misma cantidad de agua que derivan y, además, lo hacen en unos tramos donde en su formulación constaría de tener como sumando positivo y negativo a la vez el volumen derivado (o restituido según el caso), podemos dar por hecho que son irrelevantes en este aspecto, aunque no lo sean en el cómputo global del objetivo estudiado.

6.8.3. Zonificación de los volúmenes de embalse y regla de operación para la coordinación entre embalses.

En este apartado se expone la distinción que se hace entre cada una de las zonas del embalse en cuanto a su volumen, quedando perfectamente definido el límite en cada una de ellas conociendo previamente el volumen máximo, mínimo y objetivo.

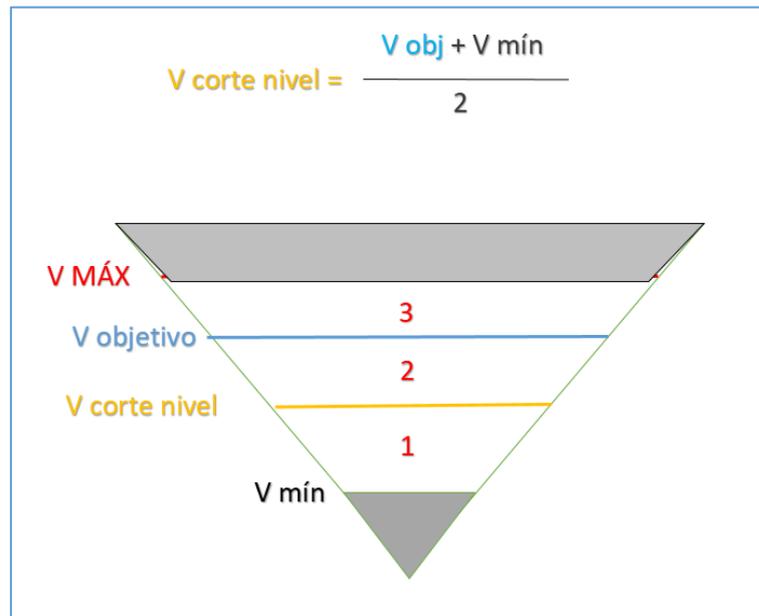


Figura 22. Esquema conceptual de la zonificación de los embalses de Arenós y Sichar. Elaboración propia.

Conociendo el volumen inicial de cada embalse, podemos saber en qué zona se encuentra cada uno de ellos y, por lo tanto, en base a eso, se puede proceder a gestionar la coordinación entre ellos mediante una regla de operación.

Teniendo en cuenta que el volumen de Arenós es mucho mayor que el de Sichar, que se encuentra en cabecera y que su relevancia en todo el tramo de río Mijares es muy superior a la de Sichar, es comprensible que la tendencia sea mantener el mayor de los embalses lo más lleno posible, haciendo que trabaje más el de Sichar, siempre y cuando sea posible. De este modo, se prevé una constante modificación de la zonificación de Sichar y, por lo tanto, es fácil pensar que la zona de Sichar, en comparación con la de Arenós, sea inferior. Habiendo introducido esto, para evitar en la medida de lo posible que el embalse de Sichar llegue a su volumen mínimo, **se coordinan ambos embalses a través de la siguiente regla de operación:**

Las demandas superficiales del embalse de Sichar serán satisfechas desde el embalse de Arenós cuando, según la zonificación de embalses calculada, la zona en la que se sitúa el embalse de Sichar sea inferior a la zona en la que se encuentra el embalse de Arenós.

Debido a que se trata de un modelo de simulación a escala diaria, esta regla de operación se establecerá también a escala diaria.

6.8.4. Procedimiento para el cálculo de la gestión de ambos embalses.

Hipótesis principal de inicio:

Tal y como se puede observar en el esquema de gestión conjunta, la suelta mínima que tendría que realizar el embalse de Arenós para, como mínimo, cumplir con el caudal ecológico en el primer punto donde se requiere (inicio de la masa de agua 10.06), corresponde con el volumen equivalente al valor de dicho caudal mínimo. Por lo tanto, partimos de la base de iniciar el cálculo con esa premisa, probando con una primera suelta mínima obligatoria del valor de dicho volumen mencionado y comprobando si es suficiente con esa suelta.

1. **Fijamos un volumen inicial dato** para cada embalse. En este caso:

Tabla 9. Volúmenes de partida de cada uno de los embalses. CHJ.

(hm3)	VOL. ARENÓS	VOL. SICHAR
01-oct-91	52	18,8

2. Con dicho volumen inicial, **calculamos la superficie** del embalse mediante su expresión.
3. Con los volúmenes iniciales conocidos, podemos conocer **en qué zona se encuentra** cada embalse. Con ello, siendo Z_A = Zona de Arenós y Z_S = Zona de Sichar, habrá suelta para trasvase si $Z_S < Z_A$.
4. Cálculo de la **evaporación**:

$$Vol. \text{ evap} (hm3) = Suerficie(hm2) * Tasa \text{ Evaporación} \left(\frac{hm}{día} \right)$$

La tasa de evaporación muestra la altura de agua que se evapora por unidad de tiempo, extensible a cualquier unidad de superficie.

5. **Cálculo del volumen inicial (restando el volumen evaporado):**

$$\begin{aligned} Vol. i. \text{ Arenós} (hm3) \\ &= Vol. i \text{ con evap.} (hm3) + Vol. \text{ entrada} (hm3) \\ &- \text{ Evaporación} (hm3) \end{aligned}$$

El volumen de entrada en el embalse de Arenós es un dato calculado que proviene del tramo alto del modelo.

Por el contrario, en el caso de Sichar, no disponemos de volumen de entrada inicial calculado, pues es uno de los objetivos de la gestión conjunta de ambos embalses, por lo tanto, ese único dato de volumen inicial se ha tomado directamente de la Confederación Hidrográfica del Júcar, en el departamento SIA (Sistema de Información del Agua). El resto de valores para dicha variable ya son resultado directo del balance del modelo.

DOCUMENTO 1: MEMORIA.

6. Cálculo del volumen equivalente diario a la masa de agua más restrictiva de cada tramo de embalse:

Para Arenós, se trata de la masa de agua 10.08, que cuenta con un caudal ecológico mínimo de 0,63 m³/s.

Para Sichar, se trata de la masa de agua 10.10 parte 1, que cuenta con un caudal ecológico mínimo de 1,1 m³/s.

El volumen equivalente diario se transformando las unidades adecuadamente entre el caudal (m³/s) y el volumen diario (hm³). El factor de conversión resultante es: 1 m³/s = 0,0864 hm³ (volumen acumulado en 1 día).

7. Cálculo de las sueltas para cumplimiento del caudal ecológico mínimo:

- a) Comprobamos cuánta agua necesitamos una vez hayamos superado el punto más exigente del tramo. Para el caso de Arenós, es la suma de los siguientes volúmenes:

Necesidad Arenós

= Vol. equiv. 10.08 + Vol. Demanda

+ Vol. Derivación Ribesalbes

+ Vol. equiv. 10.06 (mínimo obligatorio)

– Vol. Río Villahermosa – Vol. Fuente los Baños

- Si Necesidad Arenós = Vol. Equivalente suelta mínima obligatoria (vol. Equivalente a la masa de agua 10.06), Suelta_{Qeco} = dicho volumen.
- Si Necesidad Arenós > Vol. Equivalente suelta mínima, Suelta_{Qeco} = Necesidad Arenós + Vol. Equivalente suelta mínima.
- Si Necesidad Arenós < Vol. Equivalente suelta mínima, Suelta_{Qeco} = dicho volumen.

Para el embalse de Sichar, el procedimiento es exactamente igual, cambiando necesidad de este embalse al volumen de la demanda de Sichar más el volumen equivalente al caudal ecológico más restrictivo, que en este caso es el correspondiente a la masa de agua 10.10 parte 1.

- b) Cálculo de la suelta permitida en función del volumen del embalse.

Si el volumen inicial tras restar la evaporación y sumar la entrada, más el volumen mínimo es igual o superior a la suelta definida en el apartado anterior, entonces hay volumen suficiente para realizar la suelta y, por tanto, la suelta total para el cumplimiento del caudal ecológico mínimo será la definida en el apartado anterior.

De lo contrario, si no hay volumen suficiente para realizar esa suelta, aunque suponga una suelta obligatoria, al no disponer de volumen suficiente, no se podría realizar completamente y, por lo tanto, sólo se podría soltar el

DOCUMENTO 1: MEMORIA.

volumen correspondiente al volumen inicial tras la evaporación y la entrada menos el volumen mínimo (límites físicos).

8. Cálculo del volumen disponible para realizar las sueltas para las demandas.

Vol. Disponible = (Vol. Inicial – Evaporación + Entradas) – Seltas totales Q eco

9. Cálculo de las sueltas para el cumplimiento de las demandas.

De igual forma que para las sueltas para el cumplimiento de los caudales ecológicos, debemos fijarnos en la necesidad de agua existente en el punto del tramo más estricto. Tras ello, se realiza la comparación entre el volumen total que llegaría a ese punto una vez satisfecho el caudal ecológico y el volumen necesario.

Si el primer volumen es igual al segundo, la demanda se cumple exactamente con las sueltas para caudal ecológico y no haría falta realizar una suelta para demanda.

Si el primer volumen es mayor al segundo, nos encontramos ante un escenario en el que con la suelta mínima para caudal ecológico cumplimos de sobra ante éste y ante la demanda y, por lo tanto, no haría falta realizar suelta para la segunda.

Por último, si el primer volumen es inferior al segundo, el volumen de agua que llega al punto más crítico del tramo es inferior al volumen necesario y, por lo tanto, sí que sería necesario realizar una suelta para el cumplimiento de la demanda.

En este caso, esta suelta constaría de (Vol. Necesario – Vol. Que llegaría sin suelta para demanda).

Como **cualquier suelta del embalse está sujeta físicamente al volumen de agua que este retiene**, una vez conocida la suelta teórica para la demanda, y de la misma forma que para el cálculo de las sueltas para caudal ecológico, se compara este último cálculo con el volumen del embalse, esto es:

Seltas totales demanda = mín [Seltas demanda; (Vol. Dispo. – Vol. Mín)].

10. Cálculo de las sueltas para el trasvase.

Tal y como se indicó inicialmente, las sueltas para trasvase desde Arenós a Sichar siguen la misma premisa: habrá trasvase si, y sólo si, la zona de Sichar se encuentra por debajo de la de Arenós.

11. Volumen antes de los vertidos.

Será igual al volumen disponible menos las sueltas para demanda y menos las sueltas para trasvase.

12. Cálculo de los vertidos.

Si el volumen final antes de los vertidos es superior al volumen máximo del embalse, los vertidos serán la diferencia entre ellos. Si no es el caso, los vertidos serán cero.

13. Volumen final.

Corresponde al último volumen de embalse calculado (volumen antes de vertidos) menos los propios vertidos.

14. Entrada final de Sichar.

Volumen diario de entrada al embalse de Sichar.

15. Salida total de Arenós.

Salida total = Seltas totales (caudal ecológico, demanda y trasvase) + Vertidos

Tras esta gestión, los resultados obtenidos de volúmenes de salida del embalse de Arenós son:

DOCUMENTO 1: MEMORIA.

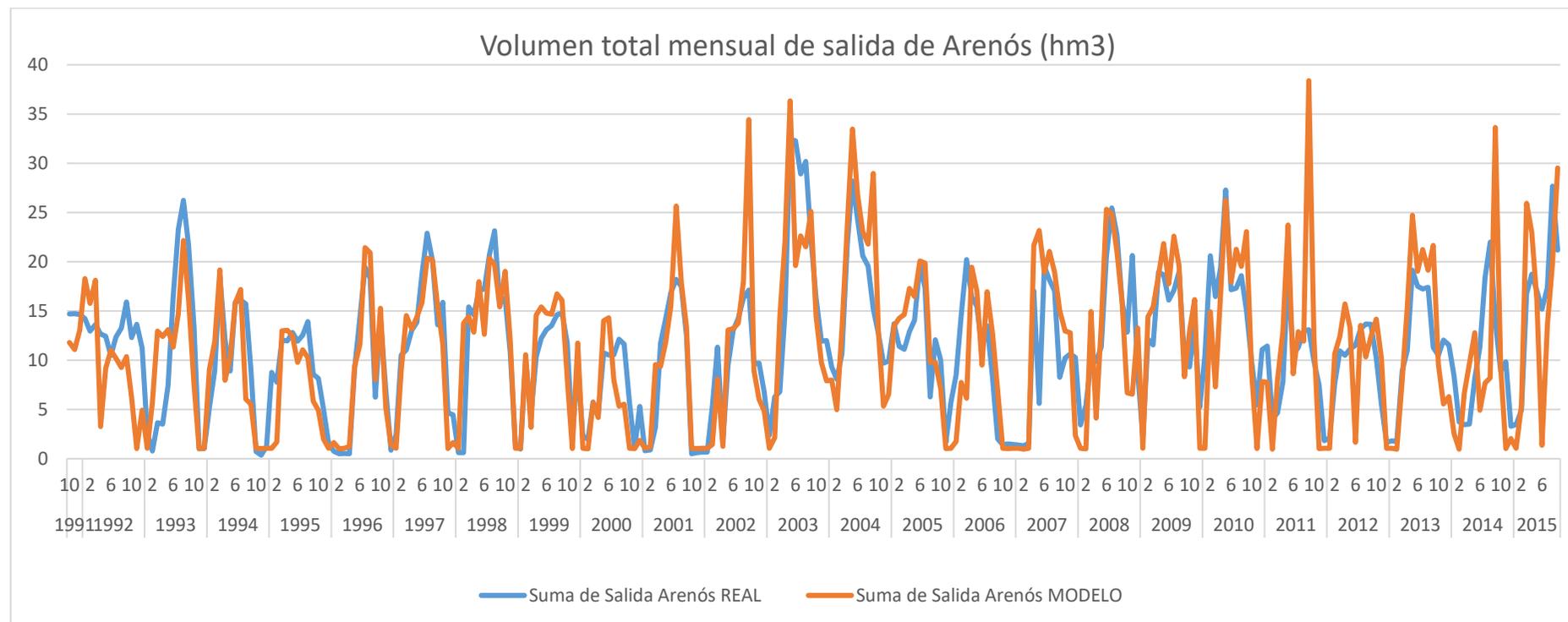


Figura 23. Volúmenes totales mensuales de salida del embalse de Arenós. Elaboración propia.

Como se puede observar, los resultados obtenidos en la gestión conjunta de ambos embalses muestran un comportamiento prácticamente igual a la realidad, puesto que así lo muestran los picos de volumen turbinado, así como la tendencia general de las variables representadas.

7. Simulaciones y resultados.

En el presente apartado se procede a enumerar y explicar cada una de las simulaciones realizadas tras la construcción y validación del modelo, procediendo así a la visualización de los datos simulados con respecto a la realidad.

De una manera introductoria, se va a partir de un elemento base como elemento con el cual compararemos todos y cada uno de los resultados de los escenarios, así como de las simulaciones de los que disponga cada uno de ellos. **De aquí en adelante llamaremos a dicho elemento fijo base “Producción Hidroeléctrica Patrón”.**

Este elemento patrón es el resultado de la simulación inicial del modelo, es decir, aquella que trata de obtener los datos más aproximados a la actualidad, con objeto de valorar la precisión del modelo.

Por otro lado, y también de manera introductoria a todo el apartado de simulaciones, cabe destacar que se va a plantear la posibilidad de aumentar el volumen máximo del embalse de Arenós, a costa de reducir el resguardo, para así contar con más capacidad de almacenamiento, exactamente entre 10 y 12 Hm³ extra. Con esto, quedan creados los dos escenarios en los que se van a simular diferentes ensayos:

- Escenario 1 → Volumen máximo del embalse de Arenós fijado en la actualidad.
- Escenario 2 → Volumen máximo del embalse de Arenós incrementado en 10 Hm³ como posible plan de acción futuro.

Como se ha comentado anteriormente, en cada uno de los escenarios se van a realizar diferentes simulaciones del modelo, estas son:

- a) Simulación primera → Régimen de caudales ecológicos actual del PHJ 15-21, simulación de la que se obtiene para ambos escenarios la Producción Hidroeléctrica Patrón.
- b) Simulación segunda → Incremento lineal de los caudales ecológicos.

DOCUMENTO 1: MEMORIA.

7.1. Escenario 1. Volumen máximo del embalse de Arenós fijado en la actualidad.

El volumen máximo dato del embalse de Arenós en hectómetros cúbicos para cada mes es el siguiente:

Tabla 10. Capacidad máxima para cada mes del embalse de Arenós. CHJ.

MES	10	11	12	1	2	3	4	5	6	7	8	9
CAP. MÁX	52	52	52	65	65	65	65	65	65	65	65	52

Además, las masas de agua consideradas para esta simulación, que son las mismas que se aprueban en el PHJ 15-21, además de las hidrorregiones, son:

Tabla 11. Caudales ecológicos mínimos para todas las masas de agua del tramo estudiado. Elaboración propia.

MASAS DE AGUA. Q ECO MÍNIMO EN SITUACIÓN ORDINARIA (m3/s)												
	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB.	MAR.	ABR.	MAY.	JUN.	JUL.	AGO.	SEP.
	10	11	12	1	2	3	4	5	6	7	8	9
10.03	0,31	0,31	0,31	0,31	0,31	0,31	0,31	0,31	0,31	0,31	0,31	0,31
10.04	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4
10.05	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
10.06	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4
10.07	0,56	0,56	0,56	0,56	0,56	0,56	0,56	0,56	0,56	0,56	0,56	0,56
10.08	0,63	0,63	0,63	0,63	0,63	0,63	0,63	0,63	0,63	0,63	0,63	0,63
10.09	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
10.10.1	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1
10.10.2	0,95	0,95	0,95	0,95	0,95	0,95	0,95	0,95	0,95	0,95	0,95	0,95
10.11	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2
10.12	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
10.13	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1

Tabla 12. Factores multiplicadores de cada mes para los valores de caudal ecológico mínimo. Elaboración propia.

HIDRORREGIONES												
	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB.	MAR.	ABR.	MAY.	JUN.	JUL.	AGO.	SEP.
MIJARES	1	1	1	1	1	1	1,2	1,2	1	1	1	1

Para cualquiera de las simulaciones, los valores de caudales ecológicos que se utilizarán en el modelo serán el resultado de multiplicar cada uno de los valores de la tabla de caudales ecológicos mínimos en situación ordinario con su hidrorregión correspondiente.

Con todo ello, se procede a mostrar el resultado obtenido para esta simulación base, obteniendo, por tanto, el **resultado de la Producción Hidroeléctrica Patrón**.

DOCUMENTO 1: MEMORIA.

7.1.0. Situación actual. Producción hidroeléctrica actual.

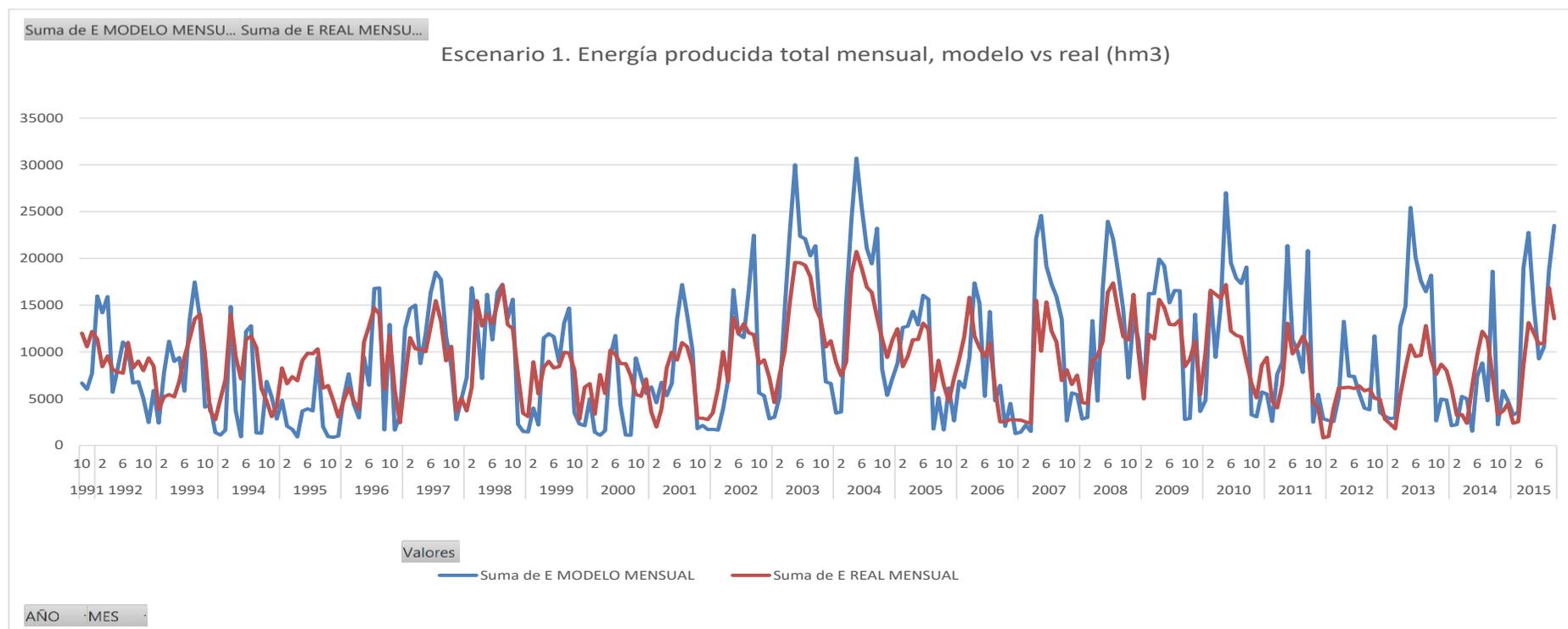


Figura 24. Energía producida total mensual del modelo y real para el escenario 1. Elaboración propia.

Tabla 13. Energía producida total del modelo y real para el escenario 1. Elaboración propia.

ESCENARIO	FACTOR		ENERGÍA PRODUCIDA TOTAL (MWh)							
	1	1	ALBENTOSA	VILLANUEVAS	LOS CANTOS	CIRAT	VALLAT	RIBESALBES	TRAMO ALTO	TRAMO MEDIO
MODELO	332850	201536	324279	588399	558656	723501	858666	1870556	2729222	
REAL	368510	160024	259211	634569	651074	511059	787745	1796702	2584447	
% DIF.	-9,68%	25,94%	25,10%	-7,28%	-14,19%	41,57%	9,00%	4,11%	5,60%	

DOCUMENTO 1: MEMORIA.

Tal y como se puede observar, en términos generales se ha conseguido un error general del orden del 6% con respecto a los valores reales de energía producida total. Esto significa que el modelo presenta unas cifras algo superiores a la realidad, como era de esperar cuando se comenzó el planteamiento del presente estudio.

Según los resultados mostrados, podemos apreciar como cada una de las centrales hidroeléctricas presenta un grado de diferencia con la realidad distinto al de las otras centrales. Esto es debido a las particularidades de cada tramo y al conjunto de simulaciones y aproximaciones que se han realizado en los distintos tramos del estudio.

Los resultados obtenidos de cada una de las centrales hidroeléctricas estudiadas en relación a la producción total de energía se encuentran en *“Anejo 2. Energía producida de cada una de las centrales para el escenario 1 en la situación actual.”*

DOCUMENTO 1: MEMORIA.

7.1.1. Variaciones lineales de los caudales ecológicos.

En este apartado, se muestran los resultados obtenidos del modelo frente a la simulación de la variación lineal de los caudales ecológicos y se compara, para cada uno de los factores de modulación, el resultado obtenido con la Producción Hidroeléctrica Patrón.

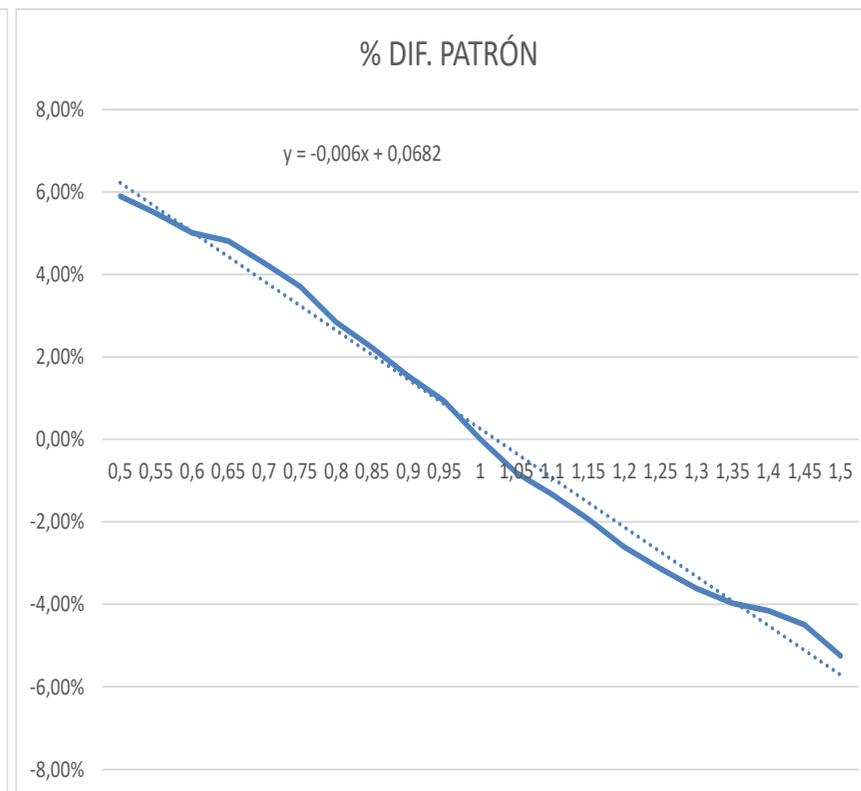
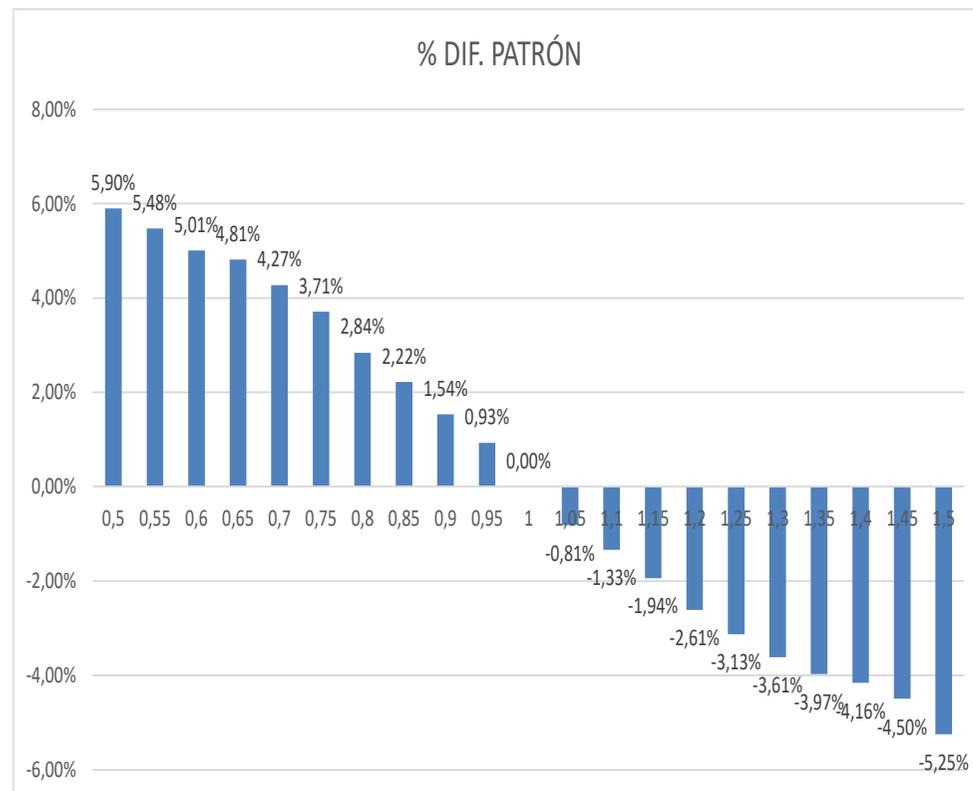
El rango de los factores de modulación utilizados es: [-0'5; +1'5] con una distribución constante de 0'05. Esto indica que se han realizado simulaciones desde una disminución del 50% del valor del caudal ecológico hasta un aumento de la misma cantidad, con un valor de paso entre factores del 5%. Con todo ello, se entiende que la distribución queda perfectamente definida y otorga un grado de precisión considerable.

Puesto que el objetivo de este apartado es mostrar la afección en la energía producida total del modelo en función del factor de modulación escogido, se procede a mostrar los resultados del cómputo global del sistema. De esta manera, conseguimos una visión general más compacta de cómo se comporta el sistema ante cambios sensibles en los valores de caudal ecológico.

DOCUMENTO 1: MEMORIA.

Tabla 14. Diferencia de energía producida total entre la situación actual y la variación lineal de caudal ecológico para cada factor de modulación.

FACTOR	0,5	0,55	0,6	0,65	0,7	0,75	0,8	0,85	0,9	0,95	1	1,05	1,1	1,15	1,2	1,25	1,3	1,35	1,4	1,45	1,5
% DIF. PATRÓN	5,90%	5,48%	5,01%	4,81%	4,27%	3,71%	2,84%	2,22%	1,54%	0,93%	0,00%	-0,81%	-1,33%	-1,94%	-2,61%	-3,13%	-3,61%	-3,97%	-4,16%	-4,50%	-5,25%



DOCUMENTO 1: MEMORIA.

Tal y como se puede observar en la simulación de la variación lineal de los caudales ecológicos, se muestra una relación prácticamente lineal en el porcentaje de diferencia con la Producción Hidroeléctrica Patrón para cada uno de los factores de modulación escogidos. Además, los resultados muestran una equivalencia en cuanto al valor absoluto de dicha diferencia, lo que nos indica un comportamiento prácticamente lineal, que así se refleja en la línea de tendencia aproximada.

Tras obtener el comportamiento lineal del modelo, nace la inquietud por conocer cuál es el límite de dicho comportamiento, conocer a partir de qué valor de factor de modulación o porcentaje de variación del caudal ecológico se rompe ese comportamiento lineal, en resumen, **¿a partir de qué restricción máxima de caudal ecológico cambia el comportamiento lineal del sistema?**

Tras un estudio detallado, se obtiene que a partir de un factor de modulación de 2, que corresponde con un aumento del 100% en el caudal ecológico, se puede observar como el sistema deja de comportarse como un elemento prácticamente lineal, puesto que pasa a duplicar el porcentaje de diferencia en la energía producida respecto al Patrón.

Es decir, si en una situación inicial, en la que entre cambios de factor de 25% obteníamos una diferencia porcentual del orden del 2-3%, a partir del factor de modulación 2, esta diferencia asciende hasta un orden del 10% entre los mismos cambios en el factor de modulación. Esto es una muestra clara de que a partir de este valor de factor de modulación el comportamiento de sistema cambia radicalmente.

Por otra parte, los resultados globales obtenidos en cuanto a producción de energía para cada uno de los factores de modulación estudiados se observan en *“Anejo 3. Energía producida total para cada factor de modulación en el escenario 1”*.

DOCUMENTO 1: MEMORIA.

7.2. Escenario 2. Volumen máximo del embalse de Arenós propuesto para un futuro próximo.

El volumen máximo dato del embalse de Arenós en hectómetros cúbicos para cada mes es el siguiente (volumen máximo dispuesto en el escenario 1 más 10 hm³):

MES	10	11	12	1	2	3	4	5	6	7	8	9
CAP. MÁX	62	62	62	75	75	75	75	75	75	75	75	62

Además, las masas de agua consideradas para esta simulación, que son las mismas que se aprueban en el PHJ 15-21, además de las hidrorregiones, son:

MASAS DE AGUA. Q ECO MÍNIMO EN SITUACIÓN ORDINARIA (m3/s)												
	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB.	MAR.	ABR.	MAY.	JUN.	JUL.	AGO.	SEP.
	10	11	12	1	2	3	4	5	6	7	8	9
10.03	0,31	0,31	0,31	0,31	0,31	0,31	0,31	0,31	0,31	0,31	0,31	0,31
10.04	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4
10.05	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
10.06	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4
10.07	0,56	0,56	0,56	0,56	0,56	0,56	0,56	0,56	0,56	0,56	0,56	0,56
10.08	0,63	0,63	0,63	0,63	0,63	0,63	0,63	0,63	0,63	0,63	0,63	0,63
10.09	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
10.10.1	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1
10.10.2	0,95	0,95	0,95	0,95	0,95	0,95	0,95	0,95	0,95	0,95	0,95	0,95
10.11	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2
10.12	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
10.13	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1

HIDRORREGIONES												
	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB.	MAR.	ABR.	MAY.	JUN.	JUL.	AGO.	SEP.
MIJARES	1	1	1	1	1	1	1,2	1,2	1	1	1	1

DOCUMENTO 1: MEMORIA.

7.2.0. Situación posible futura.

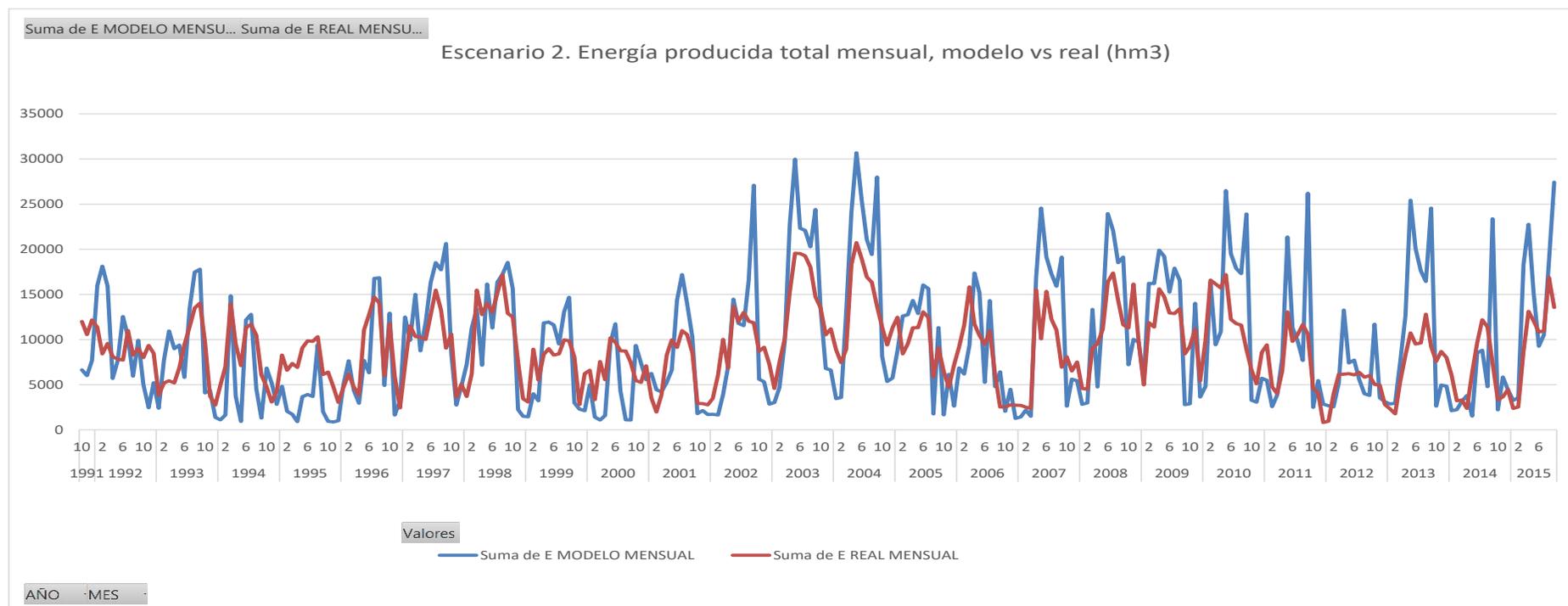


Figura 25. Energía producida total mensual del modelo y real para el escenario 2. Elaboración propia

ESCENARIO	FACTOR		1		ENERGÍA PRODUCIDA TOTAL (MWh)				
	2	VILLANUEVAS	LOS CANTOS	CIRAT	VALLAT	RIBESALBES	TRAMO ALTO	TRAMO MEDIO	TODO
MODELO	332850	201536	324279	603096	570025	725812	858666	1898933	2757599
REAL	368510	160024	259211	634569	651074	511059	787745	1796702	2584447
% DIF.	-9,68%	25,94%	25,10%	-4,96%	-12,45%	42,02%	9,00%	5,69%	6,70%

DOCUMENTO 1: MEMORIA.

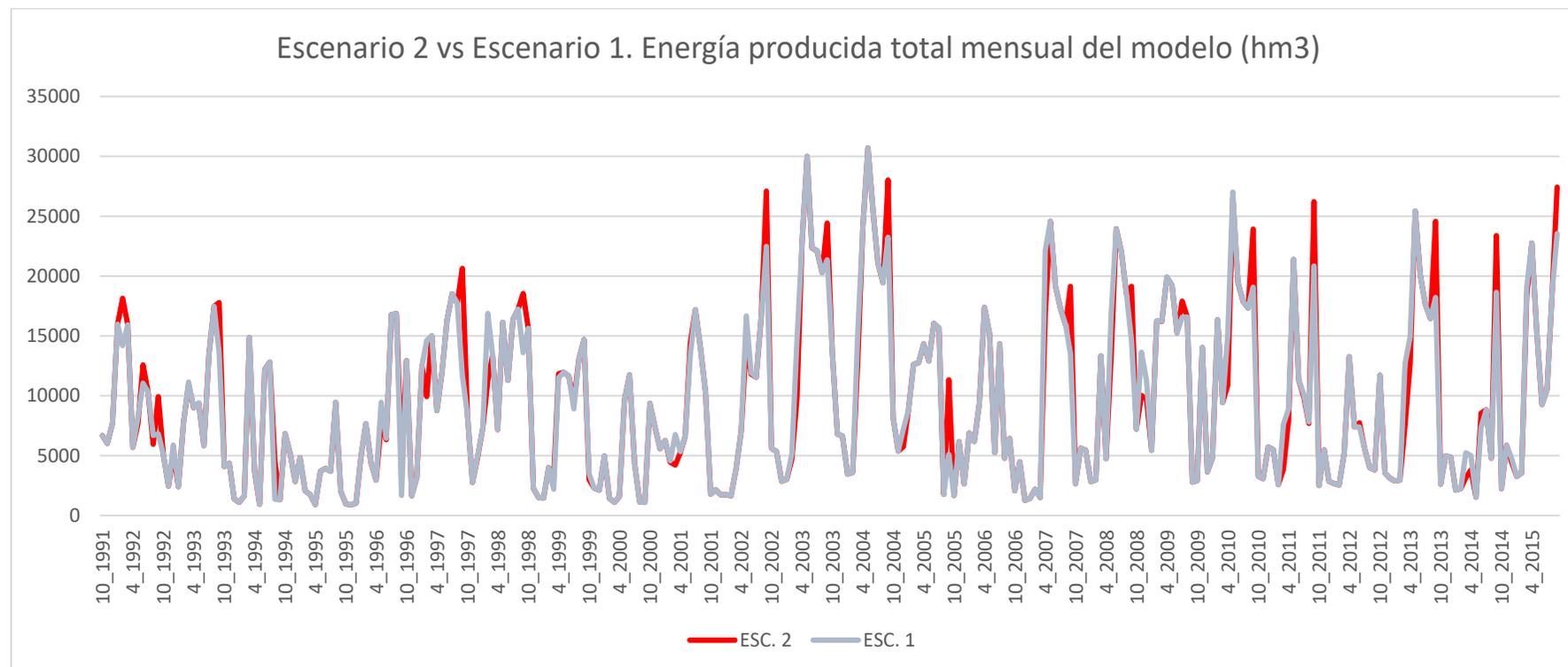


Figura 26. Comparación energía producida en el escenario 1 y el escenario 2.

COMPARACIÓN ENERGÍA PRODUCIDA TOTAL MODELO (MWh) DEL ESCENARIO 2 CON EL ESCENARIO 1 (PATRÓN)									
	ALBENTOSA	VILLANUEVAS	LOS CANTOS	CIRAT	VALLAT	RIBESALBES	TRAMO ALTO	TRAMO MEDIO	TODO
ESCENARIO 2	332850	201536	324279	603096	570025	725812	858666	1898933	2757599
ESCENARIO 1	332850	201536	324279	588399	558656	723501	858666	1870556	2729222
% DIF.	0,00%	0,00%	0,00%	2,50%	2,04%	0,32%	0,00%	1,52%	1,04%

DOCUMENTO 1: MEMORIA.

La primera pareja gráfica-tabla representada en este apartado compara la energía producida para el escenario futuro (aumento de 10 hm³ en el embalse de Arenós) con la situación actual real (volumen de Arenós sin aumento de tal volumen).

Como era de esperar, se obtiene un volumen turbinado total mayor al del escenario 1 en las mismas condiciones, debido al aumento del volumen de Arenós.

Por otro lado, cabe destacar la diferencia existente entre los resultados de energía total producida para ambos escenarios. En este aspecto, podemos observar como el aumento en el embalse de Arenós de 10 hm³ sólo tiene un incremento de producción hidroeléctrica respecto al escenario 1 del orden del uno por ciento.

DOCUMENTO 1: MEMORIA.

7.2.1. Variaciones lineales de los caudales ecológicos.

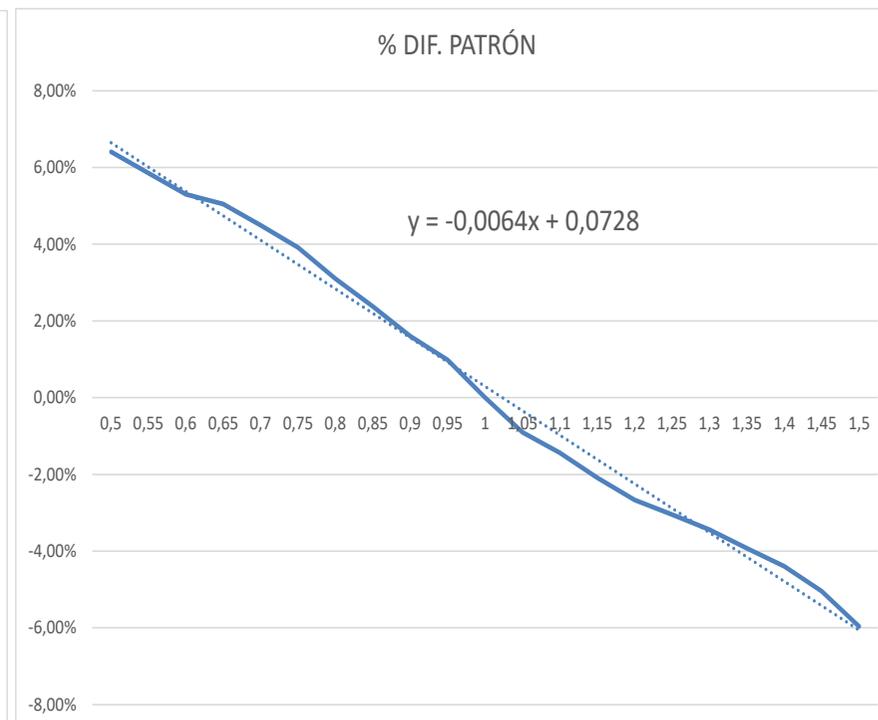
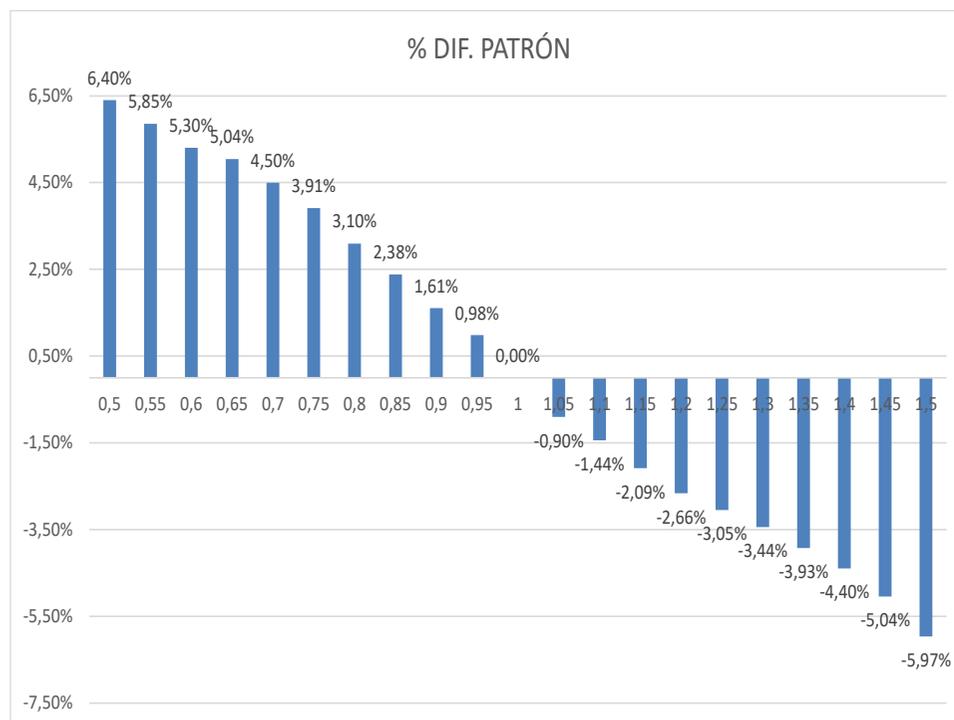
La metodología empleada y el rango de factores de modulación utilizado para esta simulación del escenario 2 es la misma que la introducida en el apartado 7.1.1.

Con esto, los resultados obtenidos son:

DOCUMENTO 1: MEMORIA.

Tabla 15. Diferencia de energía producida total entre la situación posible futura y la variación lineal de caudal ecológico para cada factor de modulación.

FACTOR	0,5	0,55	0,6	0,65	0,7	0,75	0,8	0,85	0,9	0,95	1	1,05	1,1	1,15	1,2	1,25	1,3	1,35	1,4	1,45	1,5
% DIF. PATRÓN	6,40%	5,85%	5,30%	5,04%	4,50%	3,91%	3,10%	2,38%	1,61%	0,98%	0,00%	-0,90%	-1,44%	-2,09%	-2,66%	-3,05%	-3,44%	-3,93%	-4,40%	-5,04%	-5,97%



DOCUMENTO 1: MEMORIA.

Tal y como se puede observar en la simulación de la variación lineal de los caudales ecológicos para el escenario 2, se muestra una relación prácticamente lineal en el porcentaje de diferencia con la Producción Hidroeléctrica Patrón para cada uno de los factores de modulación escogidos. Además, los resultados muestran una equivalencia en cuanto al valor absoluto de dicha diferencia, lo que nos indica un comportamiento prácticamente lineal, que así se refleja en la línea de tendencia aproximada.

La búsqueda de la no linealidad del modelo se realiza exactamente de la misma manera que para el escenario 1 y, además, con los mismos resultados (apartado 7.1.1. Variaciones lineales de los caudales ecológicos).

8. Conclusiones.

El comportamiento que muestra la producción hidroeléctrica de las centrales estudiadas en función de los valores de caudal ecológico establecidos **es prácticamente lineal entre los rangos de disminución y aumento del 50%** de los mismos. Además, **podemos encontrar un valor absoluto semejante para cualquier pareja de factor de simulación disminución-aumento.**

Por otra parte, como ya se ha comentado en el apartado “7. Simulaciones y resultados”, **este comportamiento lineal desaparece tras rebasar la barrera del 100% de aumento en los valores de caudal ecológico.** Esto quiere decir que si en estos momentos se establece un régimen de caudales ecológicos de valor del doble al que está en la actualidad, **el sistema dejaría de comportarse de manera lineal, y además, siendo mucho más sensible a pequeños cambios de los valores de caudal ecológico.**

Este comportamiento no sólo se observa para el escenario 1 y actual, sino **también para el segundo, el de un posible plan acción futuro.** Podemos observar que un aumento del volumen de Arenós de 10 hectómetros cúbicos, sólo se obtiene un uno por ciento de producción hidroeléctrica extra con respecto a la producción hidroeléctrica patrón. Es decir, en general, el sistema en **este tramo estudiado se muestra prácticamente inmune a cambios sensibles en los valores de caudal ecológico.**

Esto puede ser debido a que tanto el caudal mínimo de funcionamiento de las turbinas como el máximo turbinable dominan un gran rango de caudales de funcionamiento y de ese modo, tengan un gran abanico de posibilidades de trabajo.

Como posible línea de estudio futura, el presente estudio puede servir de ayuda para optimizar más si cabe la gestión realizada en cuanto a la determinación de los regímenes de caudales ecológicos en el sistema de explotación Mijares-Plana de Castellón, aplicable a cualquier otro sistema de explotación de la Demarcación Hidrográfica del Júcar.

9. Normativa.

Real Decreto 1/2016, de 8 de enero, por el que se aprueba la revisión de los Planes Hidrológicos de las demarcaciones hidrográficas del Cantábrico Occidental, Guadalquivir, Ceuta, Melilla, Segura y Júcar, y de la parte española de las demarcaciones hidrográficas del Cantábrico Oriental, Miño-Sil, Duero, Tajo, Guadiana y Ebro.

La planificación hidrológica ha tenido que ampliar su concepto para recoger el enfoque y los contenidos exigidos por la **Directiva 2000/60/CE**, de 23 de octubre, por la que se establece un marco comunitario de actuación en el ámbito de la política de aguas, denominada en adelante Directiva Marco del Agua (DMA). Ahora, la planificación hidrológica aporta una visión más completa e integradora, teniendo tres ejes muy marcados de actuación: la sostenibilidad ambiental, la racionalidad económica y la transparencia y participación social.

Los conceptos de mayor calado jurídico exigidos por la DMA se incorporaron a la legislación española en el año 2003 mediante el **Texto Refundido de la Ley de Aguas** (TRLA), aprobado por el Real Decreto Legislativo 1/20001, de 20 de julio.

El desarrollo de estos conceptos se ha materializado en el **Reglamento de la Planificación Hidrológica** (RPH), aprobado por el **Real Decreto 907/2007**, de 6 de julio, en el que se plasma la dualidad de contenidos que integra la planificación hidrológica española, de protección y de utilización de los recursos hídricos. También, mediante el **Reglamento del Dominio Público Hidráulico**, aprobado por el **Real Decreto 849/1986**, de 11 de abril. Con ambos reglamentos se establece un segundo nivel de transposición, recogiendo aspectos de alto contenido y detalle técnico.

Finalmente, con un marcado carácter técnico, se completa la transposición de la DMA con la **Instrucción de Planificación Hidrológica**, aprobada por la **Orden ARM/2656/2008**, de 10 de septiembre, en la que se establecen los criterios para la homogeneización y sistematización de los trabajos de elaboración de los planes hidrológicos de cuenca para los ámbitos intercomunitarios, constituyendo esta norma el tercer nivel de transposición.

Por otra parte, la planificación hidrológica se extiende a las aguas costeras y de transición que, no siendo dominio público hidráulico, se incorporan en el concepto de demarcación hidrográfica introducido por la DMA, configurando así el ámbito territorial de los planes hidrológicos, por lo que es preciso tener en cuenta la **Ley 22/1988**, de 28 de julio, **de Costas**, y el resto de legislación específica aplicable a estas aguas.

El marco normativo de la planificación hidrológica no estaría completo sin la obligada referencia a la **Ley 10/2001**, de 5 de julio, **del Plan Hidrológico Nacional**, que se ofrece como instrumento para dar adecuada respuesta a los problemas que no pueden resolverse desde un único ámbito de planificación.

DOCUMENTO 1: MEMORIA.

De igual modo, es preciso citar la **Ley 21/2013**, de 9 de diciembre, **de evaluación ambiental**, que garantiza la máxima protección ambiental y da un nuevo impulso al desarrollo sostenible mediante el análisis de los efectos significativos sobre el medio ambiente de los planes, programas y proyectos antes de su adopción, aprobación o autorización; a través de principios tales como los de precaución, acción preventiva y cautelar, corrección y compensación de los impactos y proporcionalidad.

Ya de una manera más específica en cuanto a lo relacionado con los regímenes de caudales ecológicos, entra en acción más detalladamente la normativa que se expone a continuación según el Anejo XI, de disposiciones normativas del plan hidrológico de la demarcación hidrográfica del Júcar.

Capítulo III. Regímenes de caudales ecológicos y otras demandas ambientales

Artículo 10. Definición del régimen de caudales ecológicos.

1. Conforme a los estudios realizados y al proceso de concertación llevado a cabo, se fija el régimen de caudales ecológicos para condiciones ordinarias para las masas de agua de la categoría río.
2. Los caudales mínimos del régimen de caudales ecológicos se incrementarán según el factor de modulación estacional correspondiente a la hidrorregión donde se ubique la masa de agua, que se indica en el apéndice 6.1.

Artículo 11. Mantenimiento del régimen de caudales ecológicos.

1. La exigencia en el cumplimiento de los caudales ecológicos se mantendrá en todas las masas de agua de la categoría río recogidas en el apéndice 6.1., excepto de aquellas situaciones en que su aplicación ponga en riesgo la garantía del abastecimiento a las poblaciones.
2. El régimen de caudales mínimos establecido en el apéndice 6.1. deberá cumplirse por los titulares de los aprovechamientos de tal modo que las derivaciones de caudal estarán limitadas por esta restricción no siendo exigibles, en cualquier caso, caudales mínimos superiores al régimen natural existente en cada momento.

Artículo 12. Caudales de desembalse.

Los caudales de desembalse contribuirán al cumplimiento del régimen de caudales ecológicos en los puntos de seguimiento situados aguas debajo de los embalses, no siendo exigibles, con carácter general, caudales mínimos de desembalse superiores, a las aportaciones en régimen natural al propio embalse. Tampoco serán exigibles caudales de desembalse cuando circulen caudales superiores a los mínimos del régimen de caudales ecológicos en los puntos de control situados aguas abajo del propio embalse.

Artículo 13. Control y seguimiento del régimen de caudales ecológicos.

1. El Organismo de cuenca vigilará el cumplimiento de los regímenes de caudales ecológicos en las estaciones de aforo pertenecientes a la Red Oficial de Estaciones de Aforo y a la Red del Sistema Automático de Información Hidrológica, que aparecen detalladas en el apéndice 6.2.
2. Adicionalmente, el Organismo de cuenca podrá valorar el cumplimiento de los regímenes de caudales ecológicos mediante campañas de aforo específicas u otros procedimientos.
3. A falta de disposición normativa de carácter general, en caso de que existan imposibilidades técnicas debidamente justificadas para adecuar los órganos e instalaciones de desagüe de las presas para mejorar el cumplimiento del régimen de caudales mínimos, se podrá autorizar, excepcionalmente, un plazo de adecuación, que será objeto de seguimiento y validación en la siguiente revisión del Plan.

10. Referencias.

Documentos:

- ✓ Memoria, Plan Hidrológico de la Demarcación Hidrográfica del Júcar, Ciclo de planificación hidrológica 2015 – 2021.
https://www.chj.es/Descargas/ProyectosOPH/Consulta%20publica/PHC-2015-2021/PHJ1521_Memoria_151126.pdf
- ✓ Memoria, Anejo 5, “Régimen de caudales ecológicos”, Plan Hidrológico de la Demarcación Hidrográfica del Júcar, Ciclo de planificación hidrológica 2015 – 2021.
https://www.chj.es/Descargas/ProyectosOPH/Consulta%20publica/PHC-2015-2021/PHJ1521_Anejo05_Qeco_151126.pdf
- ✓ Memoria, Anejo 6, “Sistemas de explotación y balances”, Plan Hidrológico de la Demarcación Hidrográfica del Júcar, Ciclo de planificación hidrológica 2015 – 2021.
https://www.chj.es/Descargas/ProyectosOPH/Consulta%20publica/PHC-2015-2021/PHJ1521_Anejo06_SE-Balances_151126.pdf
- ✓ Normativa, Plan Hidrológico de la Demarcación Hidrográfica del Júcar, Ciclo de planificación hidrológica 2015 – 2021.
https://www.chj.es/Descargas/ProyectosOPH/Consulta%20publica/PHC-2015-2021/RD1_2016_ArtGral_Jucar.pdf
- ✓ “Análisis de viabilidad del estudio de la CHJ de régimen de caudales en las principales centrales hidroeléctricas de Iberdrola”, Generación Mediterráneo, Febrero 2013.
- ✓ “Informe sobre el perjuicio económico causado por la menor producción hidroeléctrica en la central de Albentosa debido a la aprobación de los caudales ecológicos del embalse de Toranes”. Preparado para Iberdrola. Enero 2017.
Andrés Ramos; Instituto de Investigación Tecnológica – IIT; Escuela Técnica Superior de Ingeniería Industrial; Universidad Pontificia de Comillas.
- ✓ “Informe sobre las actuaciones necesarias en la presa de los Toranes para su adecuación a los nuevos caudales ecológicos”; Dº Jesús Granell, Ingenieros Consultores, Enero de 2017.
- ✓ “Informe sobre el perjuicio económico causado por la menor producción hidroeléctrica en la central Los Villanuevas debido a la aprobación de los caudales ecológicos del río Mijares entre el río Mora y el embalse de Arenós”. Preparado para Iberdrola. Enero 2017. Andrés Ramos; Instituto de Investigación Tecnológica – IIT; Escuela Técnica Superior de Ingeniería Industrial; Universidad Pontificia de Comillas.
- ✓ “Informe sobre el perjuicio económico causado por la menor producción hidroeléctrica en la central de Los Cantos debido a la aprobación de los caudales ecológicos del río Mijares entre el río Mora y el embalse de Arenós”. Preparado para Iberdrola. Enero 2017. Andrés Ramos; Instituto de Investigación Tecnológica – IIT; Escuela Técnica Superior de Ingeniería Industrial; Universidad Pontificia de Comillas.

DOCUMENTO 1: MEMORIA.

- ✓ “Informe sobre el perjuicio económico causado por la menor producción hidroeléctrica de la central de Vallat debido a la aprobación de los caudales ecológicos del río Mijares entre el embalse de Arenós y el embalse de Ribesalbes”. Preparado para Iberdrola. Enero 2017. Andrés Ramos; Instituto de Investigación Tecnológica – IIT; Escuela Técnica Superior de Ingeniería Industrial; Universidad Pontificia de Comillas.
- ✓ “Informe sobre las actuaciones necesarias en la presa de Vallat para su adecuación a los nuevos caudales ecológicos”. D^o Jesús Granell, Ingenieros Consultores, Enero de 2017.
- ✓ “Informe sobre el perjuicio económico causado por la menor producción hidroeléctrica de la central de Ribesalbes debido a la aprobación de los caudales ecológicos del río Mijares entre el embalse de Ribesalbes y el embalse de Sitjar”. Preparado para Iberdrola. Enero 2017. Andrés Ramos; Instituto de Investigación Tecnológica – IIT; Escuela Técnica Superior de Ingeniería Industrial; Universidad Pontificia de Comillas.

Páginas web:

- ✓ Confederación Hidrográfica del Júcar. <https://www.chj.es/es-es/Organismo/Paginas/Organismo.aspx>. [Consulta: permanente].
- ✓ Sistema de Información del Agua (SIA), de la Confederación Hidrográfica del Júcar. <http://aps.chj.es/idejucar/>. [Consulta: permanente].
- ✓ Red Oficial de Estaciones de Aforos (ROEA). <https://www.chj.es/es-es/medioambiente/redescontrol/Paginas/RedEstacionesAforosyEmbalses.aspx>. [Consulta: permanente].
- ✓ Sistema de Información del Anuario de Aforos, del Ministerio para la Transición Ecológica. <https://www.miteco.gob.es/es/agua/temas/evaluacion-de-los-recursos-hidricos/sistema-informacion-anuario-aforos/>. [Consulta: permanente].
- ✓ Centro de Estudios y Experimentación de Obras Públicas (CEDEX). http://www.cedex.es/CEDEX/lang_castellano/. [Consulta: permanente].
- ✓ Federación Nacional de Comunidades de Regantes de España (FENACORE). <http://www.fenacore.org/>. [Consulta: marzo de 2019].
- ✓ Sociedad Española de Ornitología (SEO/BirdLife). www.seo.org. Consultada para las noticias sobre caudales ecológicos. [Consulta: marzo de 2019].
- ✓ Periódico El País. https://elpais.com/sociedad/2019/03/16/actualidad/1552752365_301811.html. Consultada para noticias sobre caudales ecológicos. [Consulta: marzo de 2019].
- ✓ Periódico Heraldo (Comunidad de Aragón). Consultada para las noticias sobre caudales ecológicos. [Consulta: marzo de 2019]. <https://www.heraldo.es/noticias/aragon/teruel/2018/05/11/la-extraccion-agua-del-rio-mijares-olba-reanuda-pesar-oposicion-vecinal-1243247-2261128.html#>.
- ✓ Google Maps. <https://www.google.es/maps/?hl=es>. [Consulta: permanente].
- ✓ Google Earth. <https://www.google.com/intl/es/earth/>. [Consulta: permanente].

Vídeos de internet:

- ✓ “El Millars, de Gúdar a la Plana (1/9)”, en Youtube.
<https://www.youtube.com/watch?v=12s7OXvPjSE&list=PLB1wTEgPhitrrGHs13s5ZV9Gxkbbk4TSZa&index=2&t=1s>. [Consulta: 13 de febrero de 2019].
- ✓ “Paisatge protegit de la Desembocadura (2/9)”, en Youtube.
<https://www.youtube.com/watch?v=p9GDZEH1Yzc&list=PLB1wTEgPhitrrGHs13s5ZV9Gxkbbk4TSZa&index=2>. [Consulta: 13 de febrero de 2019].
- ✓ “A cagar al riu (3/9)”, en Youtube.
<https://www.youtube.com/watch?v=GdvEivKVb5A&list=PLB1wTEgPhitrrGHs13s5ZV9Gxkbbk4TSZa&index=3>. [Consulta: 13 de febrero de 2019].
- ✓ “Volant pel Millars (4/9)”, en Youtube.
<https://www.youtube.com/watch?v=sSdzQNjynP4&list=PLB1wTEgPhitrrGHs13s5ZV9Gxkbbk4TSZa&index=4>. [Consulta: 13 de febrero de 2019].
- ✓ “Les aus de la desembocadura del riu Millars (5/9)”, en Youtube.
<https://www.youtube.com/watch?v=kZXSfStqdSg&list=PLB1wTEgPhitrrGHs13s5ZV9Gxkbbk4TSZa&index=5>. [Consulta: 13 de febrero de 2019].
- ✓ “L'artèria vital de la Plana (6/9)”, en Youtube.
<https://www.youtube.com/watch?v=EKf4PmH4D4&list=PLB1wTEgPhitrrGHs13s5ZV9Gxkbbk4TSZa&index=6>. [Consulta: 13 de febrero de 2019].
- ✓ “els antics pobladors (7/9)”, en Youtube.
<https://www.youtube.com/watch?v=mInFuP7s168&list=PLB1wTEgPhitrrGHs13s5ZV9Gxkbbk4TSZa&index=7>. [Consulta: 13 de febrero de 2019].
- ✓ “Els molins de la desembocadura del Millars (8/9)”, en Youtube.
<https://www.youtube.com/watch?v=bJrMzpd1mxk&list=PLB1wTEgPhitrrGHs13s5ZV9Gxkbbk4TSZa&index=8>. [Consulta: 13 de febrero de 2019].
- ✓ “Almassora i el riu Millars (9/9)”, en Youtube.
<https://www.youtube.com/watch?v=tuis9uuMB8&list=PLB1wTEgPhitrrGHs13s5ZV9Gxkbbk4TSZa&index=9>. [Consulta: 13 de febrero de 2019].

DOCUMENTO 1: MEMORIA.