



## Trabajo de final de grado

# ***Adecuación de la producción energética de las centrales hidroeléctricas al cumplimiento de los caudales ecológicos en la Demarcación del Júcar. Río Mijares.***

**Valencia, diciembre 2019**

Titulación: Grado en ingeniería Civil

Curso: 2019/2020

Autor: Amoedo Fernández, Sergio

Tutor: Pérez Martín, Miguel Ángel

Tutor: Estrela Monreal, Teodoro

Tutor empresa: Regidor Perona, María del Carmen



ADECUACIÓN DE LA PRODUCCIÓN ENERGÉTICA DE LAS CENTRALES HIDROELÉCTRICAS AL CUMPLIMIENTO DE LOS CAUDALES ECOLÓGICOS EN LA DEMARCACIÓN DEL JÚCAR. RÍO MIJARES





## ÍNDICE

ÍNDICE DE FIGURAS.....	6
INDICE DE TABLAS.....	9
ABREVIATURAS USADAS EN EL DOCUMENTO .....	10
1. INTRODUCCIÓN Y OBJETIVOS .....	11
2. ÁMBITO DE ESTUDIO: Río Mijares .....	17
2.1 Sistema de explotación Mijares-Plana de Castellón.....	17
2.2 Centrales del río Mijares.....	39
2.2.1 Central hidroeléctrica de Albentosa .....	39
2.2.2 Central hidroeléctrica de Los Villanuevas .....	41
2.2.3 Central hidroeléctrica de Los Cantos .....	43
2.2.4 Central hidroeléctrica de Cirat .....	45
2.2.5 Central hidroeléctrica de Vallat.....	47
2.2.6 Central hidroeléctrica de Ribesalbes .....	48
2.2.7 Central hidroeléctrica de Colmenar.....	50
2.2.8 Central hidroeléctrica de Onda .....	51
2.2.9 Central hidroeléctrica de Hidro .....	53
2.2.10 Central hidroeléctrica de Villarreal.....	54
3. ANTECEDENTES.....	57
3.1 Plan Hidrológico .....	57
3.2 Caudales ecológicos para las distintas masas de agua .....	59
4. Metodología.....	69
4.1 Recogida de datos .....	69
4.1.1 Datos ambientales .....	70
4.1.2 Datos hidrológicos .....	70
4.1.3 Datos estructurales.....	71
4.2 Procesamiento de datos. ....	72
4.3 Curva de caudales clasificados (CCC).....	72
4.4 Potencia .....	73
4.5 Producción energética .....	73
4.6 Factor de uso.....	74
4.7 Escenarios .....	74
4.8 Interpretación de los resultados .....	77
5. Aplicación .....	78
5.1 Recopilación de datos.....	78
5.1.1 Datos Ambientales.....	78



# ADECUACIÓN DE LA PRODUCCIÓN ENERGÉTICA DE LAS CENTRALES HIDROELÉCTRICAS AL CUMPLIMIENTO DE LOS CAUDALES ECOLÓGICOS EN LA DEMARCACIÓN DEL JÚCAR. RÍO MIJARES



5.1.2 Datos hidrológicos .....	78
5.1.3 Datos funcionales .....	78
5.2 Procesamiento de datos .....	79
Escenario 1: Caudal ecológico= 0 m <sup>3</sup> /s.....	79
Escenario 2: Caudal ecológico = 0,4 m <sup>3</sup> /s.....	79
Escenario 3: Caudal ecológico = 1 m <sup>3</sup> /s .....	79
Escenario 4: Caudal ecológico= 2 m <sup>3</sup> /s .....	80
Escenario 5: Caudal ecológico= 3 m <sup>3</sup> /s .....	80
Escenario 6: Caudal ecológico = 4 m <sup>3</sup> /s .....	81
5.3 Cálculo de la potencia.....	81
Escenario 1: Caudal ecológico= 0 m <sup>3</sup> /s.....	82
Escenario 2: Caudal ecológico = 0,4 m <sup>3</sup> /s.....	82
Escenario 3: Caudal ecológico = 1 m <sup>3</sup> /s .....	82
Escenario 4: Caudal ecológico= 2 m <sup>3</sup> /s .....	83
Escenario 5: Caudal ecológico= 3 m <sup>3</sup> /s .....	83
Escenario 6: Caudal ecológico = 4 m <sup>3</sup> /s .....	83
5.4 Cálculo de la producción de energía .....	84
5.5 Energía media anual .....	84
5.6 Factor de uso.....	85
5.7 Resultados reflejados en la pérdida económica debido al decrecimiento en la producción .....	85
5.8 Resultados.....	86
5.8.1 Resultados Centrales Hidroeléctricas .....	86
5.8.2 Resultados según el tramo.....	90
5.8.2.1 Cuenca alta.....	91
5.8.2.2 Cuenca media .....	92
5.8.2.3 Cuenca baja .....	95
5.8.3 Resultados a lo largo de todo el río Mijares.....	97
5.9 Propuestas .....	99
Central hidroeléctrica de Albentosa.....	101
Central hidroeléctrica de Los Villanuevas.....	102
Central hidroeléctrica de Los Cantos.....	102
Central hidroeléctrica de Cirat.....	102
Central hidroeléctrica de Vallat .....	103
Central hidroeléctrica de Ribesalbes.....	103
Central hidroeléctrica de Colmenar .....	103
Central hidroeléctrica de Onda.....	103



# ADECUACIÓN DE LA PRODUCCIÓN ENERGÉTICA DE LAS CENTRALES HIDROELÉCTRICAS AL CUMPLIMIENTO DE LOS CAUDALES ECOLÓGICOS EN LA DEMARCACIÓN DEL JÚCAR. RÍO MIJARES



Central hidroeléctrica de Hidro.....	104
Central hidroeléctrica de Villarreal .....	104
Coste total de las propuestas .....	104
6. Resumen y conclusiones.....	105
7. Líneas futuras.....	109
8. Referencias .....	112



## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Huerta de Valencia. Fuente: Plan de Acción Territorial de Protección de la huerta de Valencia. ....	12
Figura 2. Río Mijares a su paso por la central de Los Villanuevas. Foto del autor.....	17
Figura 3. Demarcación hidrográfica del Júcar y sus masas de agua. Fuente: PHJ 2015.....	18
Figura 4. Sistemas de explotación de la DHJ. Fuente: PHJ 2015.....	19
Figura 5. Situación de la cuenca alta del río Mijares.....	21
Figura 6. Situación de la cuenca media del Mijares.....	21
Figura 7. Situación de la cuenca baja del río Mijares.....	22
Figura 8. Ríos Mijares, Veo y Seco en el sistema Mijares-Plana de Castellón.....	22
Figura 9. Naturaleza de las masas de agua del río Mijares en la DHJ. Fuente: PHJ 2015 .....	23
Figura 10. Relación de los ríos en el sistema Mijares-Plana de Castellón con los acuíferos. Fuente: PHJ 2015 .....	24
Figura 11. Imagen de la presa y desagüe del embalse de Arenós. Fuente: Google Earth. ....	25
Figura 12. Sección tipo de la presa de Arenós. Fuente: Anuario de aforos 2015-16 (CEDEX, 2019) .....	26
Figura 13. Imagen de la presa de Sichar. Fuente: Google Earth.....	26
Figura 14. Sección tipo de la presa de Sichar. Fuente: Anuario de aforos 2015-16 (CEDEX, 2019) .....	26
Figura 15. Imagen de la presa de Cirat. Fuente: Inventario de presas y embalses (MITECO).....	27
Figura 16. Imagen de la presa de Vallat. Fuente: Inventario de presas y embalses (MITECO) ...	27
Figura 17. Imagen de la presa de Ribesalbes y las derivaciones para las centrales y el canal de cota 220. Fuente: Inventario de presas y embalses (MITECO).....	28
Figura 18. Canales del sistema Mijares-Plana de Castellón. Fuente: PHJ 2015.....	29
Figura 19. Situación del canal de cota 220 a la salida del embalse de Ribesalbes. ....	29
Figura 20. Situación del canal de cota 100 cerca de la ciudad de Villarreal.....	30
Figura 21. Diagrama de la disposición de los canales en la cuenca baja del río Mijares. Fuente: Teodoro Estrela. ....	31
Figura 22. Imagen de la derivación mediante azud a la central de Onda. Fuente: Google Earth. ....	31
Figura 23. Situación de los aforos de la ROEA en el río Mijares. ....	32
Figura 24. Situación del aforo 8134 respecto a la central hidroeléctrica de Los Cantos. ....	33
Figura 25. Sección tipo del aforo 8134. Fuente: Anuario de aforos 2015-16 (CEDEX, 2019) .....	33
Figura 26. Situación del aforo 8145 respecto a las presas de Arenós y de Cirat. ....	34
Figura 27. Sección tipo aforo 8145. Fuente: Anuario de aforos 2015-16 (CEDEX, 2019) .....	34
Figura 28. Situación del aforo 8119 respecto a la presa de Sichar y a la central de Colmenar. ...	35
Figura 29. Sección tipo del aforo 8119. Fuente: Anuario de aforos 2015-16 (CEDEX, 2019) .....	35
Figura 30. Situación de todas las unidades de producción de la DHJ. Fuente: PHJ 2015. ....	37
Figura 31. Situación de las centrales hidroeléctricas de la cuenca alta del Mijares. ....	38
Figura 32. Situación de las centrales hidroeléctricas de la cuenca media del Mijares. ....	38
Figura 33. Situación de las centrales hidroeléctricas de la cuenca baja del Mijares. ....	38
Figura 34. Margen derecha de la presa de los Toranes. Fuente: Vicente Llop Rovira, 2016. ....	40
Figura 35. Central hidroeléctrica de Albentosa. Fuente: Vicente Llop Rovira, 2016. ....	40
Figura 36. Diagrama de la central de Albentosa.....	41
Figura 37. Central de Los Villanuevas. Fuente: Vicente Llop Rovira, 2016.....	42
Figura 38. Tuberías de la central de Los Villanuevas. Foto del Autor .....	42
Figura 39. Diagrama de la central de Los Villanuevas.....	43
Figura 40. Central de Los Cantos. Foto del Autor .....	44



Figura 41. Diagrama de la central de Los Cantos.....	44
Figura 42. Toma de la central de Cirat. Foto del Autor. ....	45
Figura 43. Central de Cirat. Fuente: Vicente Llop Rovira, 2016.....	46
Figura 44. Diagrama de la central de Cirat. ....	46
Figura 45. Central de Vallat. Fuente: Vicente Llop Rovira, 2016. ....	47
Figura 46. Diagrama de la central de Vallat. ....	48
Figura 47. Central de Vallat. Fuente: Vicente Llop Rovira, 2016 ....	49
Figura 48. Diagrama de la central de Ribesalbes. ....	49
Figura 49. Central de Colmenar. Fuente: Vicente Llop Rovira, 2016. ....	50
Figura 50. Diagrama de la central de Colmenar. ....	50
Figura 51. Central de Onda. Fuente: Vicente Llop Rovira, 2016.....	52
Figura 52. Diagrama de la central de Onda. ....	52
Figura 53. Central de Hidro. Fuente: Vicente Llop Rovira, 2016 ....	53
Figura 54. Diagrama de la central de Hidro.....	53
Figura 55. Central de Villarreal. Fuente: Vicente Llop Rovira, 2016. ....	54
Figura 56. Diagrama de la central de Villarreal. ....	55
Figura 57. Situación de las masas de agua del eje principal del río Mijares. ....	58
Figura 58. Masas de agua con caudal ecológico en el plan hidrológico del ciclo 2015-21. Fuente: PHJ 2015.....	60
Figura 59. Red Natura 2000 en la comunidad Valenciana. Fuente: Conselleria de Agricultura, Desarrollo Rural, Emergencia Climática y Transición Ecológica. ....	62
Figura 60. Reserva natural fluvial del río Mijares. Fuente: MITECO ....	62
Figura 61. Esquema del método para determinar los caudales ecológicos. Fuente: PHJ 2015. .	63
Figura 62. Barbo. Fuente: <a href="http://www.farnhamanglingsociety.com">www.farnhamanglingsociety.com</a> .....	64
Figura 63. Cacho. Fuente: <a href="http://www.farnhamanglingsociety.com">www.farnhamanglingsociety.com</a> .....	64
Figura 64. Trucha. Fuente: <a href="http://www.farnhamanglingsociety.com">www.farnhamanglingsociety.com</a> .....	64
Figura 65. Caudales ecológicos en el sistema Mijares-Plana de Castellón. Fuente: PHJ 2015....	66
Figura 66. Metodología. ....	69
Figura 67. Curva de Caudales Clasificados .....	73
Figura 68. Cálculo de GWh/año.....	74
Figura 69. Hábitat potencial útil del barbo. Fuente: PHJ 2015.....	76
Figura 70. Hábitat potencial útil de la trucha. Fuente: PHJ 2015 .....	76
Figura 71. Caudal ecológico mínimo de 0 m <sup>3</sup> /s .....	79
Figura 72. Caudal ecológico mínimo de 0,4 m <sup>3</sup> /s.....	79
Figura 73. Caudal ecológico mínimo de 1 m <sup>3</sup> /s.....	80
Figura 74. Caudal ecológico mínimo de 2 m <sup>3</sup> /s.....	80
Figura 75. Caudal ecológico mínimo de 3 m <sup>3</sup> /s.....	81
Figura 76. Caudal ecológico mínimo de 4 m <sup>3</sup> /s.....	81
Figura 77. Ganancias cuenca alta .....	91
Figura 78. Pérdidas cuenca alta .....	92
Figura 79. Reducción de Ingresos cuenca alta.....	92
Figura 80. Reducción de Ingresos cuenca media.....	94
Figura 81. Reducción de Ingresos cuenca media.....	94
Figura 82. Reducción de Ingresos cuenca media.....	95
Figura 83. Ganancias cuenca baja.....	96
Figura 84. Pérdidas cuenca baja. ....	96
Figura 85. Reducción de Ingresos cuenca baja.....	97
Figura 86. Ganancias río Mijares. ....	98
Figura 87. Pérdidas río Mijares.....	98
Figura 88. Reducción de Ingresos río Mijares.....	99



## ADECUACIÓN DE LA PRODUCCIÓN ENERGÉTICA DE LAS CENTRALES HIDROELÉCTRICAS AL CUMPLIMIENTO DE LOS CAUDALES ECOLÓGICOS EN LA DEMARCACIÓN DEL JÚCAR. RÍO MIJARES



Figura 89. Evolución del %HPUmax frente a las Pérdidas de cada caudal. Barbo en Cauce Alto. .....	100
Figura 90. Evolución del %HPUmax frente a las Pérdidas de cada caudal. Trucha en Cauce Alto. .....	100
Figura 91. Evolución del %HPUmax frente a las Pérdidas de cada caudal. Barbo en Cauce Medio. .....	101
Figura 92. Evolución del %HPUmax frente a las Pérdidas de cada caudal. Barbo en Cauce Bajo. .....	101



## INDICE DE TABLAS

Tabla 4. Diferentes tramos para la masa de agua 10.10. Fuente: PHJ 2015 .....	30
Tabla 5. Masas de agua superficiales del eje principal del río Mijares. Fuente: PHJ 2015. ....	36
Tabla 6. Características de la central de Albentosa. ....	41
Tabla 7. Características de la central de Los Villanuevas. ....	43
Tabla 8. Características de la central de Los Cantos. ....	44
Tabla 9. Características de la central de Cirat. ....	47
Tabla 10. Características de la central de Vallat. ....	48
Tabla 11. Características de la Central de Ribesalbes.....	50
Tabla 12. Características de la central de Colmenar.....	51
Tabla 13. Características de la central de Onda. ....	52
Tabla 14. Características de la central de Hidro. ....	54
Tabla 15. Características de la central de Villarreal.....	55
Tabla 1. Caudales ecológicos de las masas de agua del plan del ciclo 2009-15. Fuente: PHJ 2009. ....	59
Tabla 2. Caudales ecológicos de las masas de agua del eje principal del río Mijares.....	67
Tabla 3. Centrales hidroeléctricas afectadas por un caudal ecológico. Fuente: PHJ 2015. ....	67
Tabla 16. Potencia de las centrales.....	74
Tabla 18. Resultados de la central de Onda para cada escenario .....	86
Tabla 19. Resultados de la central de Albentosa para cada escenario .....	86
Tabla 20. Resultados de la central de Los Villanuevas para cada escenario .....	87
Tabla 21. Resultados de la central de Los Cantos para cada escenario .....	87
Tabla 22. Resultados de la central de Cirat para cada escenario .....	88
Tabla 23. Resultados de la central de Vallat para cada escenario.....	88
Tabla 24. Resultados de la central de Ribesalbes para cada escenario .....	89
Tabla 25. Resultados de la central de Colmenar para cada escenario.....	89
Tabla 26. Resultados de la central de Onda para cada escenario .....	89
Tabla 27. Resultados de la central de Hidro para cada escenario .....	90
Tabla 28. Resultados de la central de Villarreal para cada escenario.....	90



## ABREVIATURAS USADAS EN EL DOCUMENTO

BOE	Boletín Oficial del Estado
CEDEX	Centro de estudios y Experimentación de Obras Públicas
CHJ	Confederación Hidrográfica del Júcar
DHJ	Demarcación Hidrográfica del Júcar
DMA	Directiva 2000/60/CE, por la que se establece un marco comunitario de actuación en el ámbito de la política de aguas. Directiva Marco del Agua
IPH	Instrucción de planificación hidrológica
MITECO	Ministerio para la transición ecológica
MITYC	Ministerio de Industria, Comercio y Turismo
CCC	Curva de caudales clasificados



## 1. INTRODUCCIÓN Y OBJETIVOS

Este trabajo ha sido realizado en equipo, pues se ha tratado un temática similar, sin embargo, ya que cada miembro del equipo ha realizado un tramo diferente, Júcar, Turia o Mijares, y el sistema de centrales hidroeléctricas de cada río funciona de una manera distinta la metodología a seguir, aunque similar, es diferente pues la problemática encontrada en cada uno de los trabajos ha sido particular.

Con la realización de este estudio se pretende evaluar el funcionamiento futuro de las centrales hidroeléctricas en el río Mijares y como se pueden adaptar estas centrales al aumento del régimen de caudales ecológicos en el río.

En España pese a que la planificación de recursos hídricos ha estado presente desde principios del siglo XX los problemas que puede acarrear el uso indiscriminado de las aguas ya sean superficiales o subterráneas no se ha tenido en mente, y consecuentemente, en zonas donde el recurso no era tan abundante ha habido problemas de sobreexplotación y de sostenibilidad.

El hecho de la aparición de problemas tales como la reducción de los niveles de acuíferos, sequías más pronunciadas junto con el incipiente cambio climático a finales del siglo XX ha hecho que tanto Europa con la Directiva Marco del Agua (DMA, 2000), como en España con la evolución de la Ley de Aguas de 1879 que paso de tratar al agua como un recurso ilimitado a en el año 2003 transponer la DMA a la Ley de Aguas creando nuevos objetivos e introduciendo y rebautizando conceptos.

Un caso del empleo del agua como recurso ilimitado se encuentra dentro de la propia Comunidad Valenciana con la cultura de riego de *“l’horta de València”*. Pese a que en Valencia se encuentra el Tribunal de las aguas, se tiene como costumbre o tradición que las acequias siempre porten agua, incluso cuando esta no se está aprovechando y por lo tanto esta termina desperdiciada en el mar Mediterráneo.



Figura 1. Huerta de Valencia. Fuente: Plan de Acción Territorial de Protección de la huerta de Valencia.

Este tipo de prácticas se han extendido por toda España y con la legislación de finales del siglo XX y principios del XXI se pretendía adoptar principios de planificación y gestión del agua en España para equilibrar el correcto desarrollo de los sectores económicos con el objetivo de alcanzar un buen estado en ríos o aguas de transición.

La planificación y gestión del agua no vendría recogida hasta la Ley de Aguas de 1985. Hasta entonces, como se ha mencionado, el agua era tratada como un recurso ilimitado donde los únicos planes que había eran para la explotación mediante obras hidráulicas como el Plan Nacional de Obras Hidráulicas de 1902. Con la aprobación de la Ley de Aguas, el agua como recurso sería gestionada por el Plan Hidrológico Nacional y por los Planes Hidrológicos de Cuenca que serían gestionados a su vez por las Confederaciones hidrográficas. Los planes a nivel de cuenca se encargan tanto de gestionar los derechos del uso del agua como de su protección mientras que el Plan Hidrológico Nacional coordina los planes de cuenca (Plan Hidrológico de la demarcación hidrográfica del Júcar, 2015).



En el Texto Refundido de la ley de aguas se marcan los contenidos que deben contener dichos planes, el que nos interesa es uno de ellos donde se habla de la asignación y reserva de recursos que indudablemente nos deriva a establecer un régimen de caudales mínimos para mantener el buen estado de las masas de agua superficiales.

El problema a la hora de mantener el buen estado de las masas de agua son los conflictos de intereses pues el agua es un recurso renovable pero no inagotable y por tanto se ha de gestionar su uso es que se ha de asignar una serie de derechos de uso para el agua. El agua tanto de origen superficial (ríos, lagos o embalses) como subterráneo (acuíferos) se emplea para uso urbano, es decir abastecer a poblaciones siendo este el más importante, para uso agrícola, el más extenso, y para uso industrial ya sea para elaboración de cualquier tipo de producto, como para la refrigeración de centrales térmicas o para la generación de energía eléctrica con la propia agua (centrales hidroeléctricas).

Luego, tratando de repartir el agua para los distintos usos se han de establecer acuerdos que traten de beneficiar a todos los sectores sacrificando lo menos posible. El caudal destinado a las centrales hidroeléctricas no supone una demanda constitutiva pues el agua siempre retorna al cauce, pero en las masas de agua entre toma y retorno se puede producir una reducción considerable del caudal del río que puede afectar al correcto funcionamiento del ecosistema del río incluyendo la vegetación de ribera. Por lo tanto, se establecerán una serie de caudales mínimos, o ecológicos, para prevenir esto. Luego al estar retirando agua para las centrales hidroeléctricas para mantener unos caudales en el río estas dañando en mayor o menor medida el funcionamiento de dichas centrales por lo que en el proceso de establecimiento de mencionados caudales el acuerdo entre sectores será una de las partes más imprescindibles de los planes.

Los derechos de uso para la generación de energía hidroeléctrica los ejercen 10 centrales hidroeléctricas a lo largo del río, 3 en el cauce alto, 3 en el cauce medio y 4 en el cauce bajo. El papel que ejerce la energía hidroeléctrica en la Red Española de Energía es esencial por su capacidad de regulación, es capaz de



arranques, paradas y variaciones rápidas (PHJ 2015) aparte de ser capaz de “almacenar” la energía gracias a las balsas reguladoras que algunas centrales emplean.

El uso de centrales hidroeléctricas empezó a hacerse efectivo a principios del siglo XX, la escasez de otros recursos energéticos baratos supuso la búsqueda de métodos de abastecimiento de energía alternativos. Dadas las características de los sectores en la España de principios de siglo la principal demanda de energía eléctrica era el alumbrado y el transporte en las ciudades, lo que obligó a la producción eléctrica con generadores de vapor situados en los mismos lugares de consumo. Sin embargo, con el descubrimiento del transformador de corriente alterna permitió el transporte de electricidad a mayor distancia, lo cual permitió la formación de compañías que cambiaron el esquema de la red eléctrica al poder transportar la energía eléctrica desde las centrales en grandes presas hasta las ciudades e industrias (**Arroyo, F., 2012**)

Las centrales que componen, en orden de aguas arriba a aguas abajo del río, el sistema de generación hidroeléctrica del río Mijares:

(Imagen con la localización de las centrales)

1. CH Albentosa
2. CH Los Villanuevas
3. CH Los Cantos
4. CH Cirat
5. CH Vallat
6. CH Ribesalbes
7. CH Colmenar
8. CH Onda
9. CH Hidro
10. CH Villarreal.

Donde según el Instituto de la Diversificación y Ahorro de la Energía, 7 de estas centrales son consideradas minicentrales hidroeléctricas (centrales con una potencia instalada menor a 10 MW).



Las minicentrales hidroeléctricas de Onda, Hidro y Villarreal son centrales de agua fluyente pues al no tener capacidad de regulación (no poseen una balsa de regulación) dependen directamente de la hidrología y el caudal turbinado es, por tanto, muy variable.

La situación de la energía minihidráulica ha quedado por debajo de las previsiones de los planes energéticos, esto se puede deber a los obstáculos, tanto de problemas de recursos como de obstrucciones por parte de la administración a las empresas dedicadas a esta energía renovable. As autorizaciones que se necesitan para construir una central hidroeléctrica y el marco legal y económico en el cual se regirán estas empresas en el futuro cercano genera un estancamiento y retroceso del sector pues los inversores se muestran reticentes a invertir en esta industria debido a la problemática a la hora de obtener concesiones. Por otro lado, las concesiones ya existentes se encuentran con obstáculos para la renovación de las mismas, lo cual puede suponer, una reducción del mantenimiento, y por tanto en el deterioro, de las instalaciones. En general en España hay falta de conocimiento de conocimiento en detalle del potencial de recurso hidráulico por emplazamientos que pueden ser susceptibles de aprovechamiento hidroeléctrico (Cayetano, M et al., 2017).

Sin embargo, en el caso del río Mijares no se dan estas circunstancias, pues el aprovechamiento hidroeléctrico es máximo, prácticamente no hay kilómetros de río, una vez pasado el embalse de los Toranes, donde no se aprovechen sus aguas para la generación de energía eléctrica hasta la última central en Villarreal.

Por lo que, entran en conflicto los intereses de las empresas dedicadas a los aprovechamientos hidroeléctricos con los intereses de mantener el buen estado de las aguas, en este trabajo se analizará cuáles de las centrales hidroeléctricas situadas en el río Mijares se ven más afectadas y posibles soluciones a la problemática.



ADECUACIÓN DE LA PRODUCCIÓN ENERGÉTICA DE LAS CENTRALES HIDROELÉCTRICAS AL CUMPLIMIENTO DE LOS CAUDALES ECOLÓGICOS EN LA DEMARCACIÓN DEL JÚCAR. RÍO MIJARES



## 2. ÁMBITO DE ESTUDIO: Río Mijares

### 2.1 Sistema de explotación Mijares-Plana de Castellón

Este estudio se va a centrar en el río Mijares, pero para entender el comportamiento del río se ha de conocer su situación geográfica y que papel toma en el Sistema de explotación del Mijares-Plana de Castellón y más allá en la Confederación Hidrográfica del Júcar (CHJ).



*Figura 2. Río Mijares a su paso por la central de Los Villanuevas. Foto del autor*

En España, como se ha comentado, las Confederaciones Hidrográficas han tenido un papel protagonista en la planificación hidrológica, gestión de recursos y en general gestión de las aguas. España se divide, según el ministerio para la transición ecológica en 9 Confederaciones hidrográficas:

- Confederación Hidrográfica del Cantábrico
- Confederación Hidrográfica del Duero
- Confederación Hidrográfica del Ebro
- Confederación Hidrográfica del Guadalquivir

- Confederación Hidrográfica del Guadiana
- **Confederación Hidrográfica del Júcar**
- Confederación Hidrográfica del Miño-Sil
- Confederación Hidrográfica del Segura
- Confederación Hidrográfica del Tajo

En la siguiente figura se ven las demarcaciones hidrográficas contiguas y la situación de la demarcación hidrográfica del Júcar (DHJ) en la península ibérica y las provincias que pertenecen a esta demarcación.



Figura 3. Demarcación hidrográfica del Júcar y sus masas de agua. Fuente: PHJ 2015

El río Mijares pertenece a la CHJ que está situada en el levante español. La CHJ ocupa territorios de distintas comunidades autónomas españolas, principalmente Aragón, la Comunidad Valenciana y Castilla la Mancha, aunque también pequeñas zonas de la Región de Murcia o Tarragona (Cataluña) y, por lo tanto, es denominada una cuenca intracomunitaria. Por otro lado la CHJ tiene una

superficie de 42.735,32 km<sup>2</sup> (CHJ 2019) y está dividida, como ha sido mencionado, en 9 sistemas de explotación:

- Cenia- Maestrazgo
- **Mijares-Plana de Castellón**
- Palancia-Los Valles
- Turia
- Júcar
- Serpis
- Marina Alta
- Marina Baja
- Vinalopó-Alicantí

En la siguiente figura se muestran los sistemas de explotación dentro de la demarcación hidrográfica del Júcar y la situación del sistema Mijares-Plana de Castellón dentro de la DHJ.

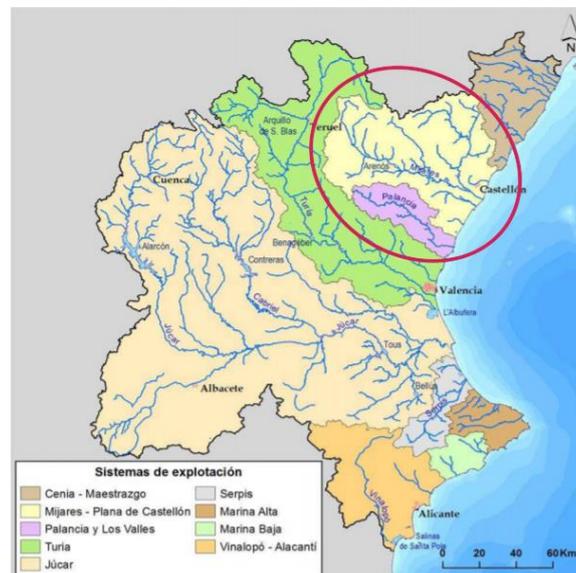


Figura 4. Sistemas de explotación de la DHJ. Fuente: PHJ 2015

En el caso que nos atañe el sistema de explotación es el sistema Mijares-Plana de Castellón que cuenta con una población total equivalente de 512.147 heq (PHJ 2015).



Es el sistema al que pertenece el río Mijares y por tanto es el sistema que nos ocupa. Tiene una extensión total de 4.818 km<sup>2</sup> lo que supone, aproximadamente, un 11% de la extensión total de la demarcación. Los principales ríos que conforman el sistema son los ríos Mijares, Seco, Veo y Belcaire. Siendo el Mijares el más importante de ellos y sobre el que se va a realizar el estudio.

El río Mijares cuenta con una longitud de 156 km. Es un río que nace en la Sierra de Gudar (Teruel) a una cota máxima de 2.024 m.s.n.m y desemboca en el delta del Mijares situado en la Plana de Castellón.

La superficie de la cuenca del Mijares, siendo la más importante, supone un 83,6% de la superficie total del sistema de explotación Mijares-Plana de Castellón, es decir 4.028,2 km<sup>2</sup> de cuenca frente a 4.818 km<sup>2</sup> del sistema de explotación.

El Mijares, a la hora de analizarlo, se puede dividir en tres partes en función de los dos embalses principales que hay en el río. Desde la presa de Los Toranes hasta el embalse de Arenós se trata de la cuenca alta del Mijares, entre el embalse de Arenós y el de Sichar está la cuenca media y aguas abajo del embalse de Sichar, por tanto, se define como la cuenca baja del río Mijares.

En la cuenca alta, desde el embalse de los Toranes se localizan las poblaciones de Los Villanuevas, Olba y Los Cantos, donde dos de ellas dan nombre a las centrales hidroeléctricas cercanas.

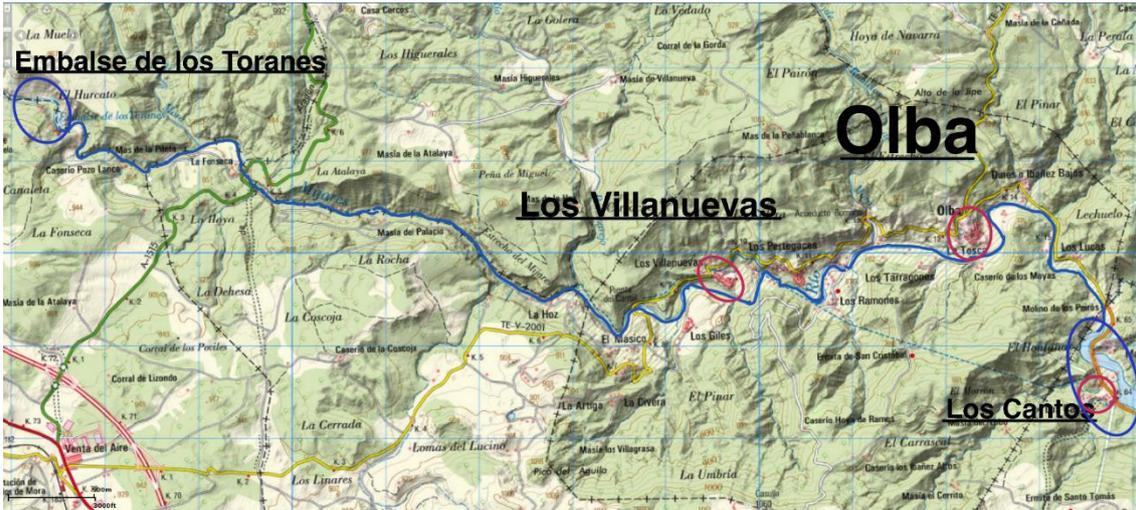


Figura 5. Situación de la cuenca alta del río Mijares.

En la cuenca media, se encuentran las poblaciones de Cirat, Vallat y Ribesalbes, homónimas de las centrales hidroeléctricas que se emplazan en estas poblaciones o cerca. Los embalses intermedios que hay, como se ha dicho, no actúan de reguladores.

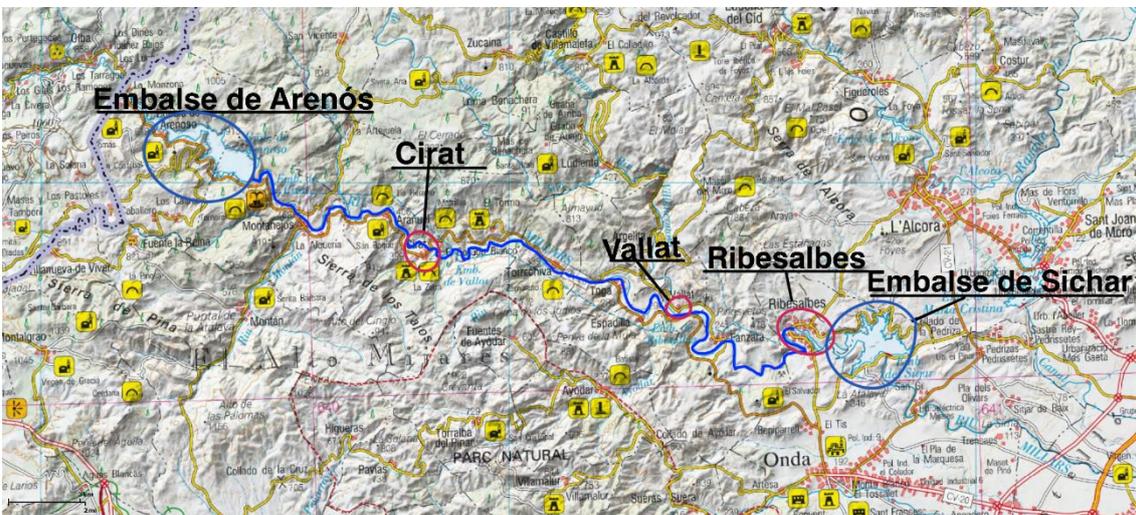


Figura 6. Situación de la cuenca media del Mijares.

Finalmente, desde el embalse de Sichar hasta el delta del Mijares, define la cuenca baja del río.

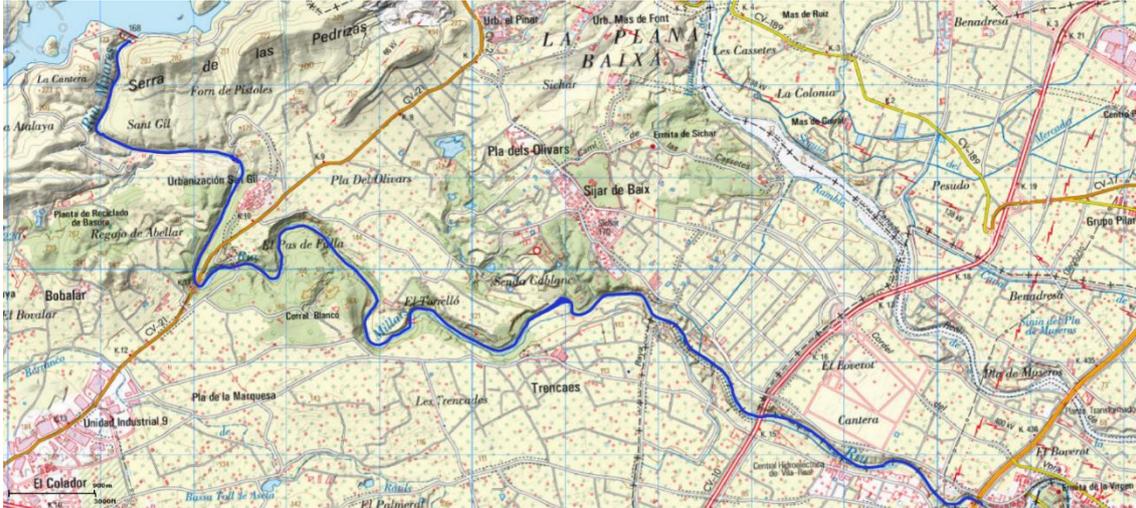


Figura 7. Situación de la cuenca baja del río Mijares.

En la siguiente figura se muestra el río Mijares y sus principales afluyentes además de los embalses previamente mencionados.



Figura 8. Ríos Mijares, Vero y Seco en el sistema Mijares-Plana de Castellón.

Una vez conocida la situación del río Mijares en la demarcación hidrográfica del Júcar se ha de conocer la importancia de la producción de la energía eléctrica del sistema Mijares-Plana de Castellón con respecto a la demarcación del Júcar.

El sistema cuenta con un 13% de la energía producida en la demarcación y posee instalada un 4,7% de la potencia total con 22 unidades de producción y 65,02 MW, mientras que de esas 22 unidades de producción 20 se encuentran en el río Mijares con 64,572 MW de potencia instalada (**Iberdrola 2012**).

La mayoría de las masas de agua que corresponden a ríos naturales, con la excepción de los embalses de Arenós y Sichar. Aguas abajo del embalse de Sichar la naturaleza del río es muy modificada a excepción de un tramo entre Villarreal y aguas debajo de la población de Almazora como se puede apreciar en la figura 9.



Figura 9. Naturaleza de las masas de agua del río Mijares en la DHJ. Fuente: PHJ 2015

El régimen del río es pluvial mediterráneo, lo que implica fuerte torrencialidad con grandes crecidas estacionales con máximos en primavera y otoño debido al fenómeno de la gota fría. Y con un mínimo coincidiendo con la sequía estival. Los principales afluentes del Mijares son los ríos Albentosa, Valbona, Villahermosa, Montán y la Rambla de la Viuda.

En cuanto a las relaciones río-acuífero que hay en el Mijares en la mayoría del recorrido la situación es propensa a que el río sea ganador, exceptuando en el cauce bajo del Mijares donde se revierte el sistema y es el río el que es perdedor. En la figura 10 se muestra esta relación de las masas de agua superficiales del río Mijares con los acuíferos de los cuales, en parte, se nutren o a los cuales aportan.

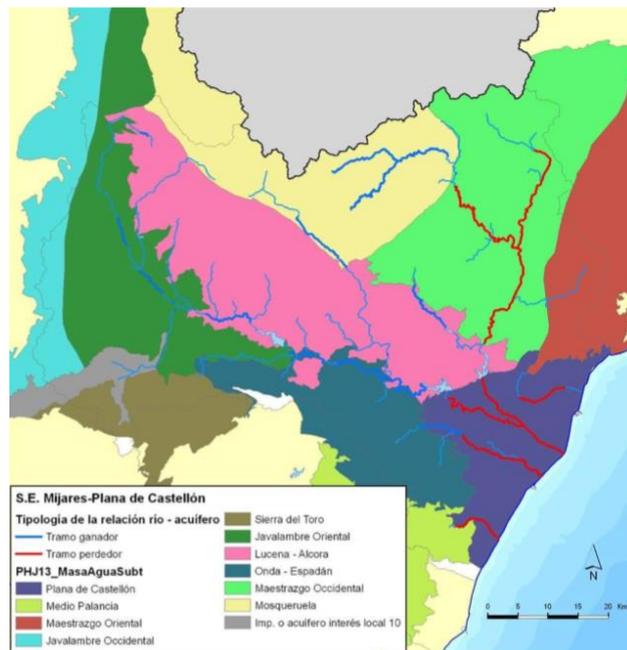


Figura 10. Relación de los ríos en el sistema Mijares-Plana de Castellón con los acuíferos. Fuente: PHJ 2015

En el anejo 6 del Plan Hidrológico del Júcar en el apartado 7.2 “Análisis de la componente superficial del sistema de explotación Mijares-Plana de Castellón” nos plantea y expone un modelo matemático que simula los elementos más representativos del sistema, es decir, los recursos, los acuíferos, las infraestructuras y conducciones, las demandas y los retornos. Con este modelo con respecto a los caudales ecológicos se verifica que para la situación actual las demandas constitutivas (riego tradicional en el río Mijares) no se verán afectadas, mientras que tanto las demandas urbanas más significativas como la demanda industrial se abastecen con recursos de masas de agua subterráneas por lo que no han sido incluidas en la herramienta de modelización (Aquatool). Sin embargo, la demanda de agua para la generación de energía eléctrica al no

ser constitutiva puede verse afectada por los caudales ecológicos o por el aumento de los mismos.

Las principales infraestructuras hidráulicas en el sistema son los embalses de Arenós, Sichar sobre el río Mijares y el de M<sup>a</sup> Cristina en el cauce de la Rambla de la Viuda. También hay otros embalses menos importantes, pero al tener menor capacidad no son considerados relevantes a la hora de ejercer como reguladores del sistema, lo cual supondrá unos ajustes en los cálculos posteriores que serán abordados posteriormente. Estos embalses son el de Alcora, Ribesalbes, Vallat, Cirat y Onda. Los embalses tanto de Arenós como Sichar son empleados para riego y tienen una capacidad de 65 y 45 hm<sup>3</sup> respectivamente. Por su parte el embalse de M<sup>a</sup> Cristina se usa tanto para laminación de avenidas como para regadío y tiene una capacidad de 18,5 hm<sup>3</sup>.

El embalse de Arenós posee una cuenca receptora de 1.430 km<sup>2</sup> estando situado en el término municipal de Montanejos (Castellón). La presa, de materiales sueltos, tiene una altura de 105 m lo que le permite almacenar 136,9 hm<sup>3</sup>. En las siguientes figuras se aprecian la presa y la sección tipo de la misma.



Figura 11. Imagen de la presa y desagüe del embalse de Arenós. Fuente: Google Earth.

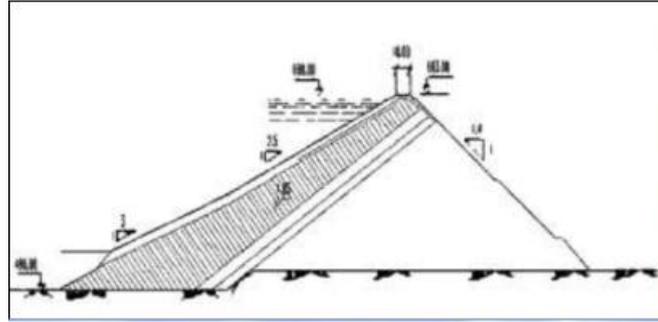


Figura 12. Sección tipo de la presa de Arenós. Fuente: Anuario de aforos 2015-16 (CEDEX, 2019)

El embalse de Sichar, por su parte, tiene una cuenca receptora de 2.488 km<sup>2</sup> y se encuentra en el término municipal de Onda (Castellón). La presa de gravedad, con una altura de 58 m retiene un volumen de 49,3 hm<sup>3</sup>. Del mismo modo que en el anterior embalse en las siguientes figuras se puede ver la presa y la sección tipo de la misma.

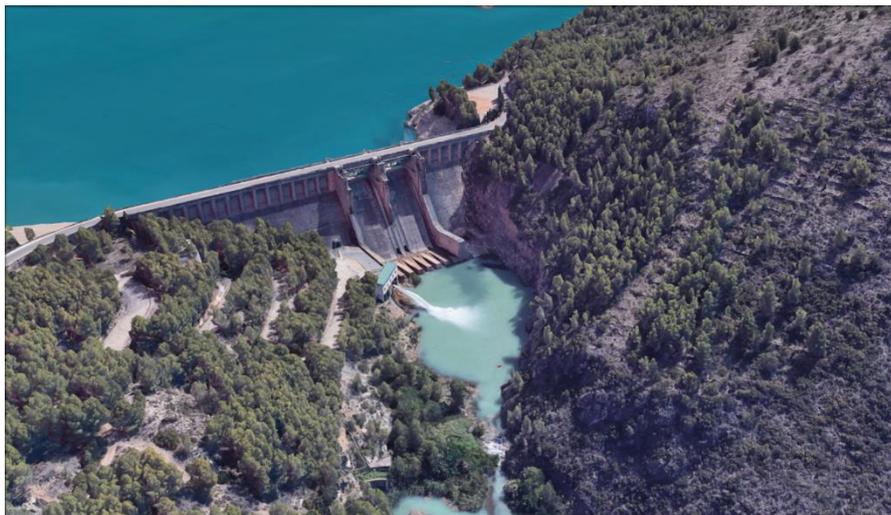


Figura 13. Imagen de la presa de Sichar. Fuente: Google Earth.

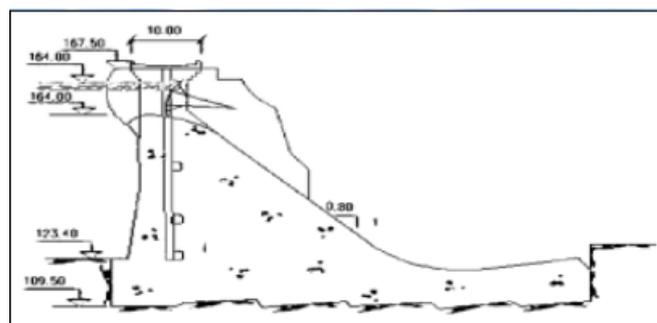


Figura 14. Sección tipo de la presa de Sichar. Fuente: Anuario de aforos 2015-16 (CEDEX, 2019)

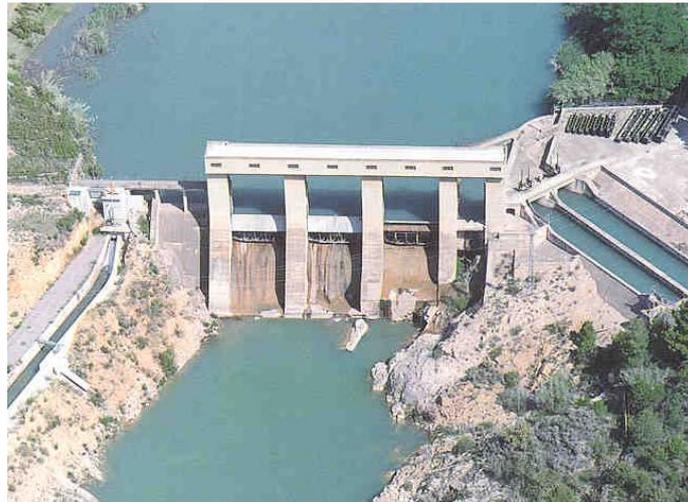
Las presas de Cirat, Vallat y Ribesalbes están situadas en la cuenca media del Mijares y se emplean para elevar el nivel del agua del río hasta las tomas de las Centrales a las cuales se deriva el agua.



*Figura 15. Imagen de la presa de Cirat. Fuente: Inventario de presas y embalses (MITECO)*



*Figura 16. Imagen de la presa de Vallat. Fuente: Inventario de presas y embalses (MITECO)*



*Figura 17. Imagen de la presa de Ribesalbes y las derivaciones para las centrales y el canal de cota 220. Fuente: Inventario de presas y embalses (MITECO)*

Del río Mijares se derivan caudales a través de una serie de canales para regadío, estos a diferencia del agua demandada para la producción de energía eléctrica es una demanda constitutiva pues el agua no retorna directamente sobre el río. Estos canales son:

- El canal de tramo común que depende del embalse de M<sup>a</sup> Cristina y puede recibir a su vez aguas del Mijares
- El canal de la Cota 100
- El canal de la Cota 220

En la figura 18 se muestra la disposición de los canales en el cauce bajo del Mijares.

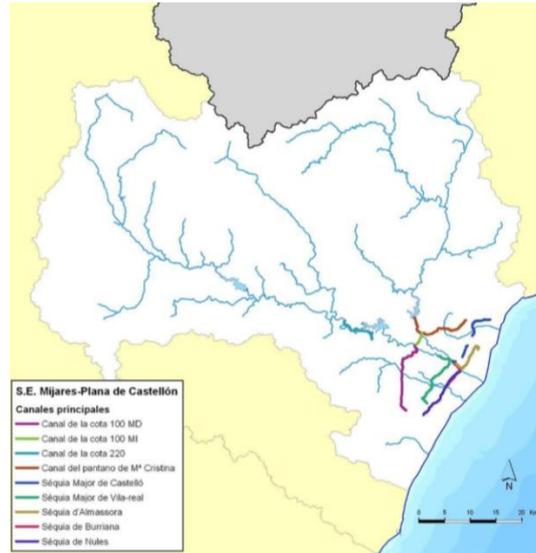


Figura 18. Canales del sistema Mijares-Plana de Castellón. Fuente: PHJ 2015

Normalmente estos canales abastecen zonas de regadío cuyo suministro es mixto, es decir del agua de los canales y aguas subterráneas. En las siguientes figuras se aprecia la distribución de dichos canales.

En la figura próxima se destaca en rojo el trayecto del canal cota 220 desde la toma en la margen derecha de la presa de Ribesalbes.



Figura 19. Situación del canal de cota 220 a la salida del embalse de Ribesalbes.

En la siguiente figura se muestra en rojo la conducción del canal de cota 100 cerca de la población de Villarreal.

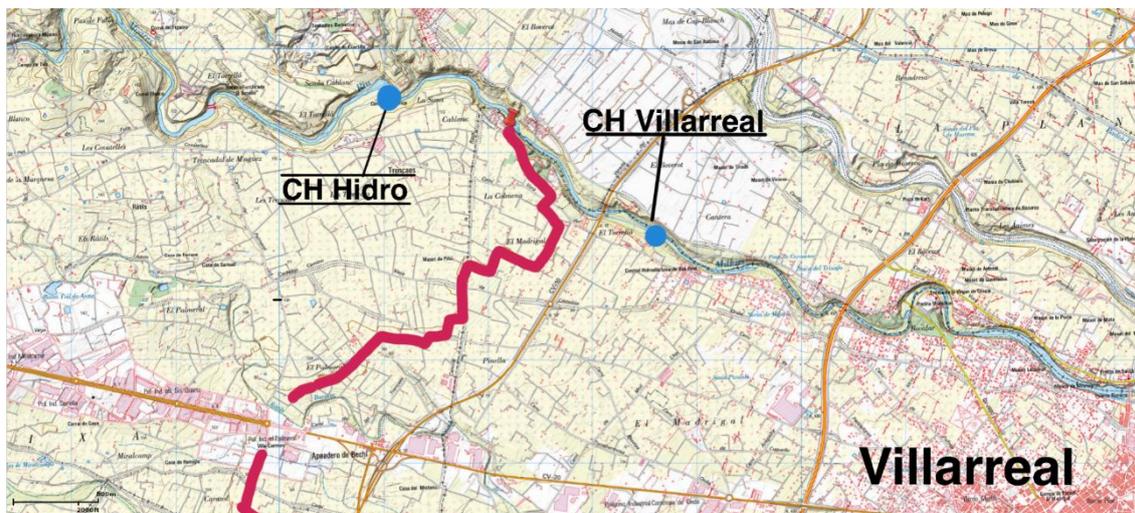


Figura 20. Situación del canal de cota 100 cerca de la ciudad de Villarreal

En este diagrama (T. Estrela) se ve la disposición de los canales con respecto a las poblaciones y al embalse de Sichar de modo que se puede discernir dentro de la masa de agua 10.10 hasta donde se exige cada caudal ecológico.

Código masa de agua	Nombre masa de agua	con protecció	Caudal mínimo (m <sup>3</sup> /s)		glón	Caudal máximo (m <sup>3</sup> /s)												Tasa de cambio	
			Situación ordinaria	Situación de sequía		Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Ascendente (m <sup>3</sup> /s/h)	Descendente (m <sup>3</sup> /s/h)
10.10	E. Sichar - toma Tramo común	No	1,1	0,95	1	12,1	12,1	12,1	12,1	12,1	12,1	14,5	14,5	12,1	12,1	12,1	12,1	-	-
	Toma Tramo común - Canal cota 100	No	0,95	0,95	1													-	-

Tabla 1. Diferentes tramos para la masa de agua 10.10. Fuente: PHJ 2015

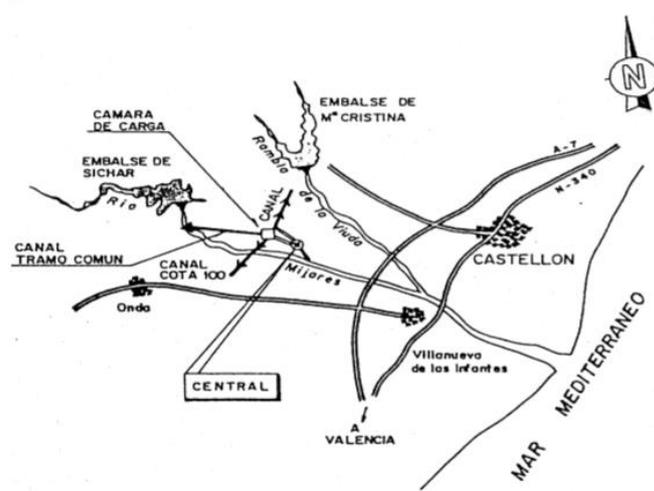


Figura 21. Diagrama de la disposición de los canales en la cuenca baja del río Mijares. Fuente: Teodoro Estrela.

Hay también numerosos azudes de derivación, ya sea a centrales hidroeléctricas o hacia canales para riego. En el caso de la central de Onda el azud de derivación se encuentra aguas debajo de la central de Colmenar a la salida del embalse de Sichar.



Figura 22. Imagen de la derivación mediante azud a la central de Onda. Fuente: Google Earth.

El control y el seguimiento de los caudales que circulan por el río se hace a través de los aforos. En el río Mijares nos interesan 4 de los 5 aforos de la Red Oficial de Estaciones de Aforos (ROEA) situados en la entrada y salida del embalse de Arenós, en la salida del embalse de Sichar y al pasar la central de Villarreal.

En la siguiente figura se ven la posición de los aforos empleados a lo largo del río Mijares.

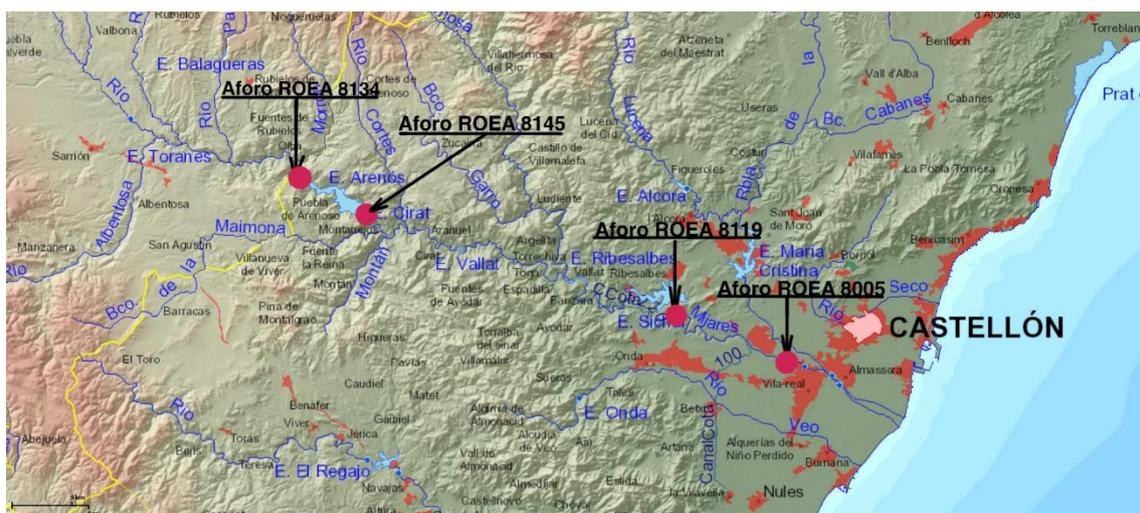


Figura 23. Situación de los aforos de la ROEA en el río Mijares.

El aforo a la entrada del embalse de Arenós, con el código ROEA 8134, es un tipo de estación de encauzamiento con canal de aguas bajas, y se encuentra en el término municipal de Puebla de Arenoso. En las siguientes figuras se ve la posición del aforo respecto a la central de Los Cantos y la sección de la estación. En la sección se aprecia que la estación tiene 17 metros de ancho, hay que tener en cuenta que tiene una longitud de 51,2 metros y una cuenca receptora de 1.396 km<sup>2</sup>.

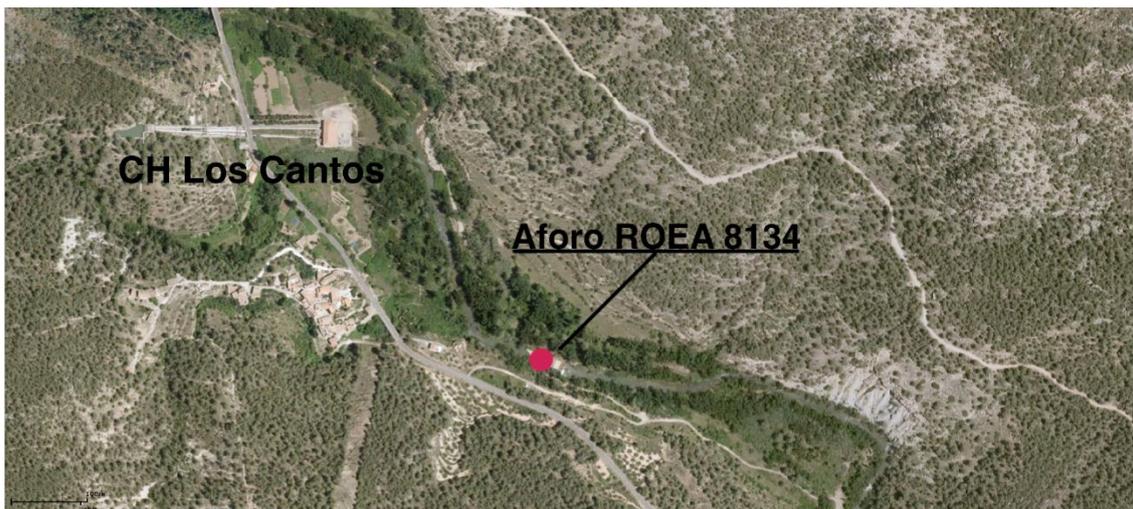


Figura 24. Situación del aforo 8134 respecto a la central hidroeléctrica de Los Cantos.

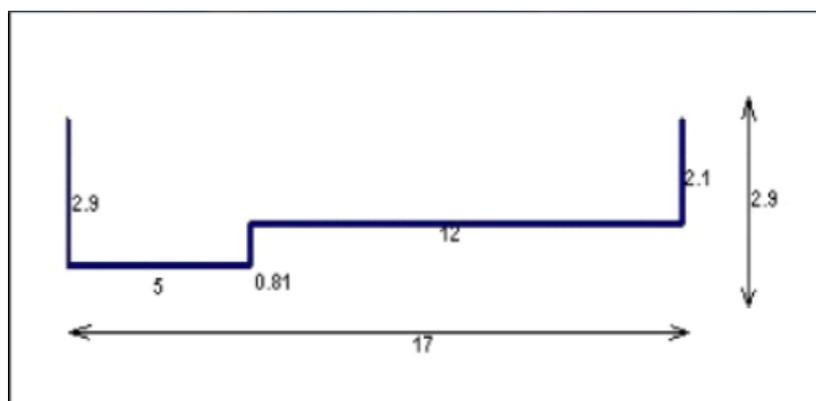


Figura 25. Sección tipo del aforo 8134. Fuente: Anuario de aforos 2015-16 (CEDEX, 2019)

El aforo a la salida del embalse de Arenós, con el código ROEA 8145, de la misma forma que el aforo 8134 es una estación de encauzamiento con canal de aguas bajas. La estación tiene una longitud de 51 metros y como se ve en las siguientes figuras un ancho de 24,9 metros además de una cuenca receptora de 1.430 km<sup>2</sup>. En las siguientes figuras se muestra la posición de la central respecto a la presa de Arenós y a la presa de Cirat además de la sección del aforo.



Figura 26. Situación del aforo 8145 respecto a las presas de Arenós y de Cirat.

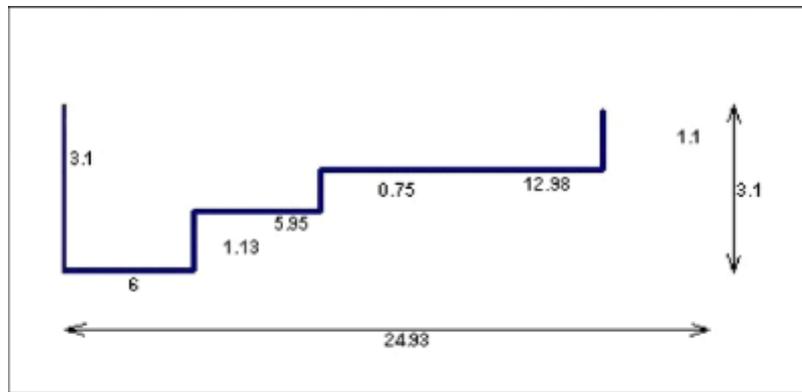


Figura 27. Sección tipo aforo 8145. Fuente: Anuario de aforos 2015-16 (CEDEX, 2019)

De la misma forma que en el embalse de Arenós, hay un aforo a la salida del embalse de Sichar, con código ROEA 8119, de tipo encauzamiento con canal de aguas bajas, una longitud de 31,6 m, un ancho de 35,4 m como se puede ver en la figura 27 y una cuenca receptora de 2.490 km<sup>2</sup>. Situada en el término municipal de onda se puede ver la posición de la estación de aforo con respecto a la central de colmenar y a la presa de Sichar en la figura siguiente.

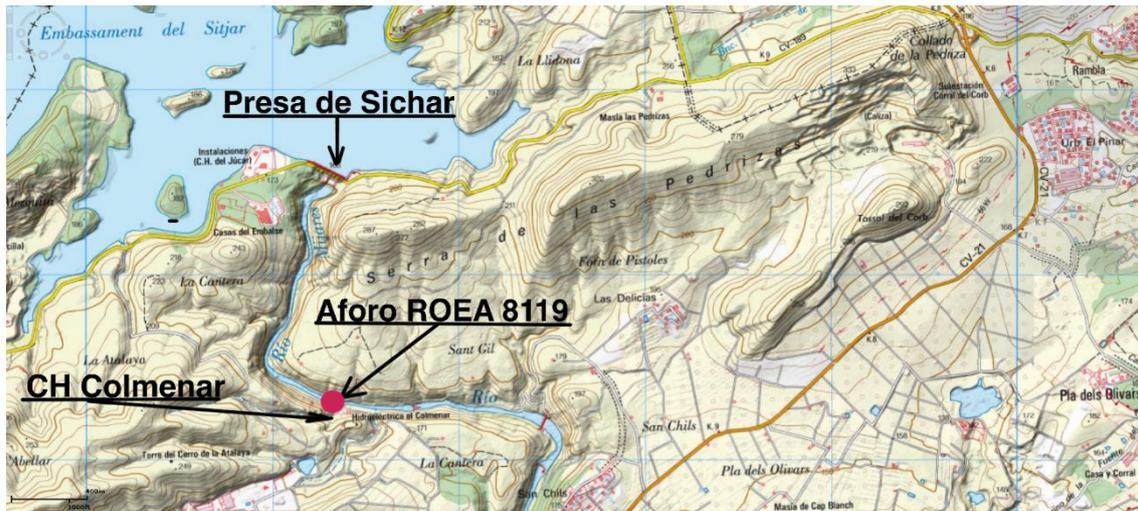


Figura 28. Situación del aforo 8119 respecto a la presa de Sichar y a la central de Colmenar.

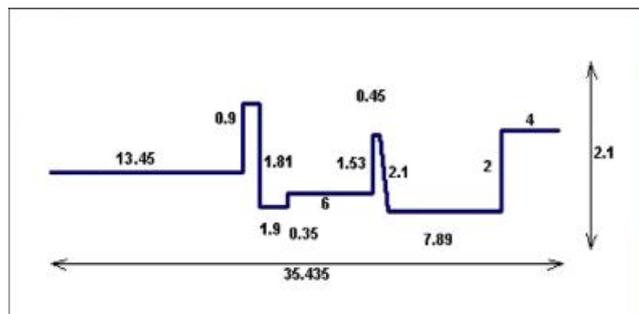


Figura 29. Sección tipo del aforo 8119. Fuente: Anuario de aforos 2015-16 (CEDEX, 2019)

De los tres aforos, con códigos 8134, 8145 y 8119 respectivamente, se verá más adelante que nos permitirán obtener los caudales exactos en esas zonas y estimar a través de métodos indirectos los caudales en otras zonas donde la inexistencia de los aforos nos imposibilita el conocimiento exacto de dichos caudales.

Las masas de agua superficial a tratar son 10 y sobre las cuales se impondrán un régimen de caudales ecológicos y se verá si son, dentro de la categoría río, naturales o artificiales y muy modificadas. Como se puede apreciar en la imagen y en la tabla la mayoría de las masas de agua superficiales categoría río del Mijares son masas de agua naturales.



## ADECUACIÓN DE LA PRODUCCIÓN ENERGÉTICA DE LAS CENTRALES HIDROELÉCTRICAS AL CUMPLIMIENTO DE LOS CAUDALES ECOLÓGICOS EN LA DEMARCACIÓN DEL JÚCAR. RÍO MIJARES



En la siguiente tabla se muestran las masas de agua correspondientes al río Mijares y su naturaleza.

Código UE	Código	Nombre	Ecotipo	X	Y	Naturaleza	Área (km <sup>2</sup> )	Long (km)
ES080MSPF10.01	10.01	Río Mijares: Cabecera - Bco. Charco	R-T12	-0,85	40,43	Natural		17,24
ES080MSPF10.02	10.02	Río Mijares: Bco. Charco - Loma de la Ceja	R-T12	-0,90	40,33	Natural		17,70
ES080MSPF10.03	10.03	Río Mijares: Loma de la Ceja - Río Mora	R-T12	-0,82	40,22	Natural		40,52
ES080MSPF10.04	10.04	Río Mijares: Río Mora - E. Arenós	R-T12	-0,68	40,20	Natural		28,24
ES080MSPF10.05	10.05	E. Arenós	E-T11	-0,57	40,10	Muy modificada	3,96	
ES080MSPF10.06	10.06	Río Mijares: E. Arenós - Az. Huertacha	R-T09	-0,49	40,07	Natural		13,84
ES080MSPF10.07	10.07	Río Mijares: Az. Huertacha - E. Vallat	R-T09	-0,40	40,05	Natural		16,08
ES080MSPF10.08	10.08	Río Mijares: E. Vallat - E. Sichar	R-T09	-0,31	40,01	Natural		11,61
ES080MSPF10.09	10.09	E. Sichar	E-T11	-0,24	40,02	Muy modificada	3,18	
ES080MSPF10.10	10.10	Río Mijares: E. Sichar - Canal cota 100	R-T09-HM	-0,21	39,99	Muy modificada		11,94
ES080MSPF10.11	10.11	Río Mijares: Canal cota 100 - Rbla. de la Viuda	R-T09-HM	-0,12	39,96	Muy modificada		8,34
ES080MSPF10.12	10.12	Río Mijares: Rbla. de la Viuda - Delta Mijares	R-T09	-0,10	39,96	Natural		8,88
ES080MSPF10.13	10.13	Delta del Mijares	R-T14-HM	-0,06	39,93	Muy modificada		10,75

Tabla 2. Masas de agua superficiales del eje principal del río Mijares. Fuente: PHJ 2015.

A lo largo del Mijares hay 10 centrales dedicadas a la generación de energía eléctrica que, divididas según la cuenca, se reparten en tres centrales en la cuenca alta (Albentosa, Los Villanuevas y los Cantos), otras tres en la cuenca media (Cirat, Vallat, Ribesalbes) y 4 en la cuenca baja (Colmenar, Onda, Hidro y Villarreal) aunque la toma de la central hidroeléctrica de Colmenar está en la cuenca alta de la central de Ribesalbes, aguas arriba del embalse de Sichar.

En la figura 29 se señalan las centrales hidroeléctricas de toda la DHJ.

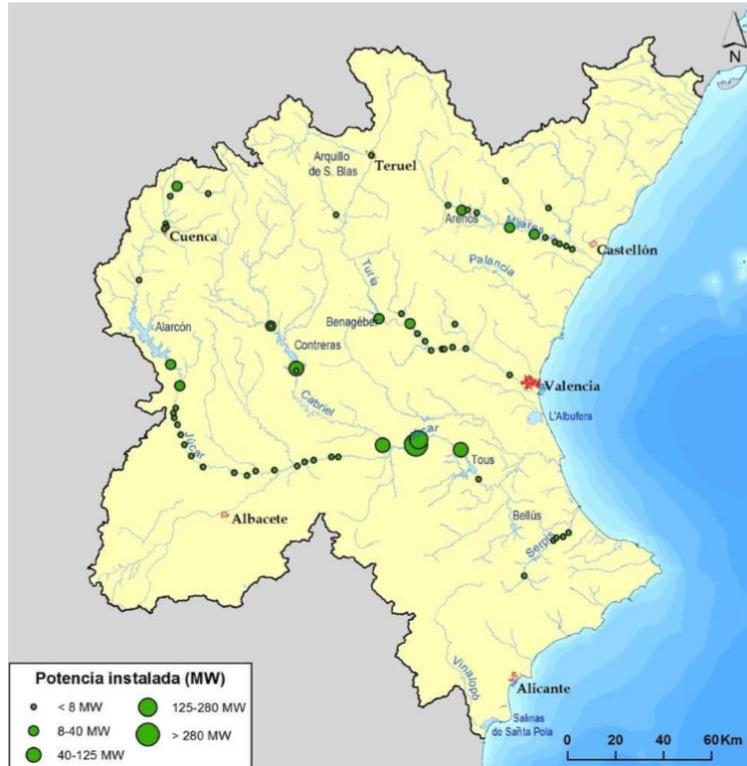


Figura 30. Situación de todas las unidades de producción de la DHJ. Fuente: PHJ 2015.

En las siguientes figuras se muestra la situación de las centrales hidroeléctricas en el cauce del río Mijares según la cuenca asignada.

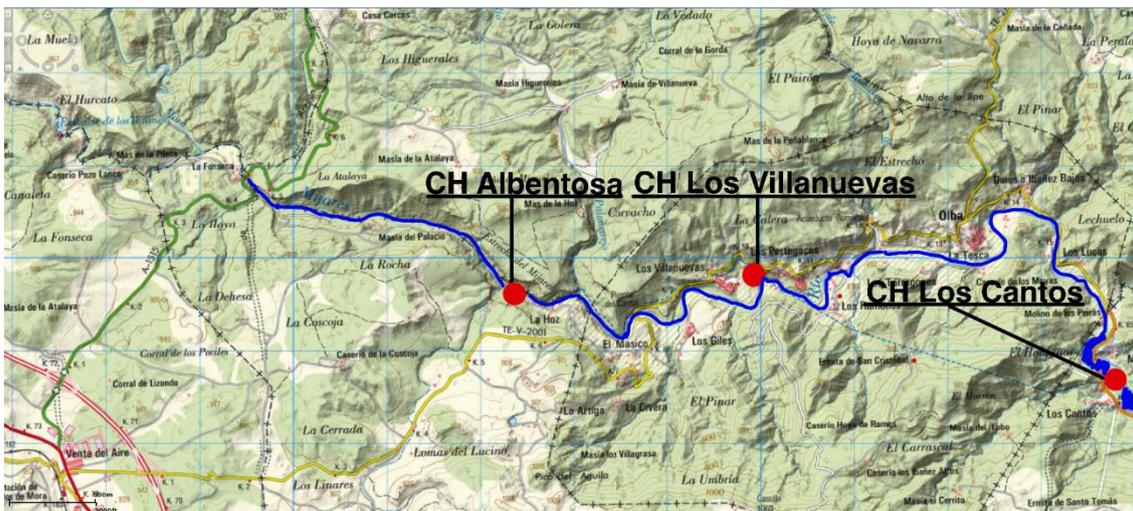


Figura 31. Situación de las centrales hidroeléctricas de la cuenca alta del Mijares.

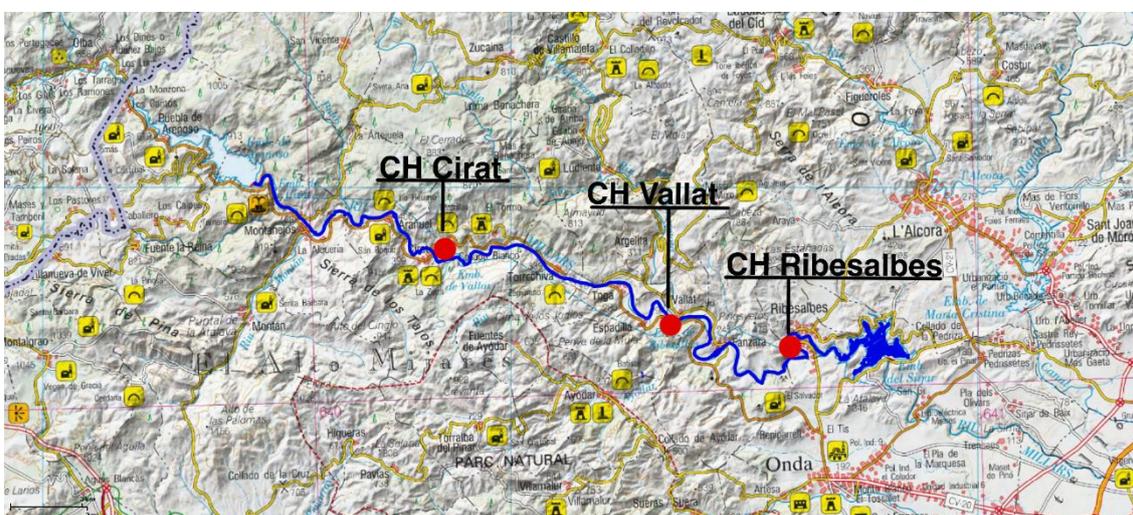


Figura 32. Situación de las centrales hidroeléctricas de la cuenca media del Mijares.

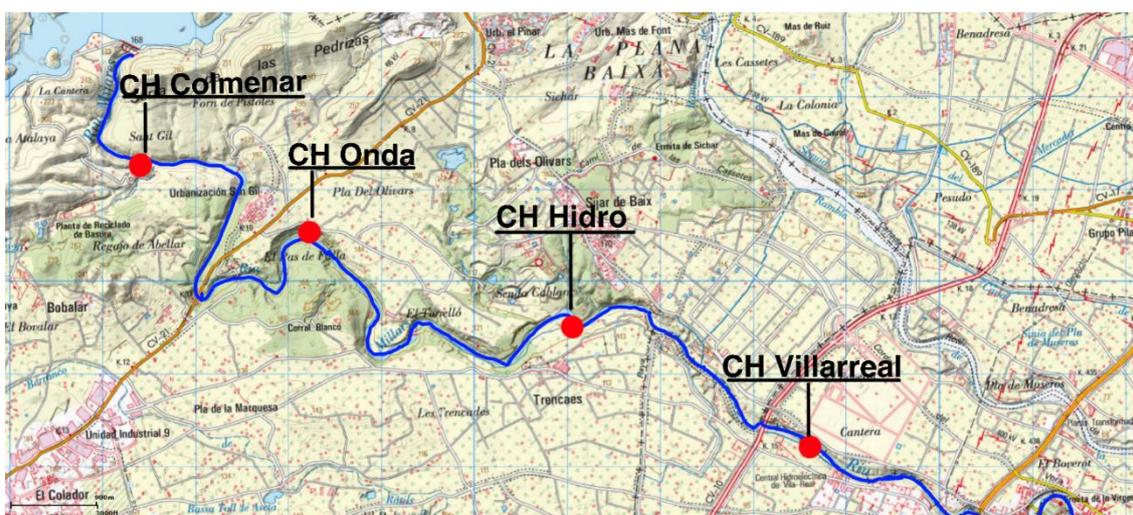


Figura 33. Situación de las centrales hidroeléctricas de la cuenca baja del Mijares.



Las centrales, tienen una dinámica de máximo aprovechamiento posible del río Mijares, los retornos de una central y las tomas de las siguientes se encuentran a menos de 200 metros en la mayoría de los casos, dejando pocos tramos inalterados donde el río no está sometido a las presiones de extracción para las centrales hidroeléctricas.

Se describirán a continuación las centrales mencionadas y localizadas en las figuras anteriores.

## 2.2 Centrales del río Mijares

### 2.2.1 Central hidroeléctrica de Albentosa

La central de Albentosa (San Agustín) está situada aguas debajo de la presa de los Toranes. La presa de los Toranes es una presa de gravedad con cota de coronación a 825 m en el municipio de Mora de Rubielos y San Agustín (Teruel) el titular de la presa es Iberdrola Generación S.A y se encuentra en fase de explotación para la generación de energía hidroeléctrica en la central de Albentosa.

En la margen derecha de la presa se encuentra la toma de la central de Albentosa, es la entrada a un túnel de aproximadamente 10 metros hasta la tubería que lleva el agua a las turbinas generando el salto de para la producción de energía por lo tanto es una central en derivación. En la figura siguiente se muestra la margen derecha de la presa de los Toranes.



Figura 34. Margen derecha de la presa de los Toranes. Fuente: Vicente Llop Rovira, 2016.

En la figura 42 se aprecia la central hidroeléctrica de Albentosa, la tubería que sale del túnel a la central proporcionando un salto bruto de aproximadamente 125 m y el retorno de la central, previo al azud de derivación.



Figura 35. Central hidroeléctrica de Albentosa. Fuente: Vicente Llop Rovira, 2016.



Figura 36. Diagrama de la central de Albentosa.

### Central hidroeléctrica de Albentosa

<b>Toma (masa de agua)</b>	10.03 Río Mijares: Loma de la Ceja- Río Mora
<b>Retorno (masa de agua)</b>	10.04 Río Mijares: Río Mora- E. Arenós
<b>Salto</b>	124,8 m
<b>Nº Turbinas</b>	2
<b>Tipo Turbinas</b>	Francis
<b>Potencia instalada</b>	$5,92 + 5,92 = 11,84$ MW
<b>Caudal máximo</b>	$13,6$ m <sup>3</sup> /s

Tabla 3. Características de la central de Albentosa.

#### 2.2.2 Central hidroeléctrica de Los Villanuevas

La central hidroeléctrica de los Villanuevas se encuentra entre los pueblos de Los Villanuevas y Los Pertegaces a la margen izquierda del río Mijares.

De la misma forma que la anterior central y que el resto de las centrales del río Mijares es una central de derivación, pero a diferencia de la anterior en la mayoría de los tramos de la derivación es a canal a cielo abierto. La toma de

esta central está situada tras el retorno de la central de Albentosa haciendo la derivación mediante un azud y luego un canal hasta un depósito de carga que alimenta las tuberías que llevan el agua hasta las turbinas.

En la figura 44, se presenta una vista desde las escaleras de acceso para el mantenimiento de la compuerta que cierra la balsa de regulación que abastece la central.



Figura 37. Central de Los Villanuevas. Fuente: Vicente Llop Rovira, 2016.

La central de los Villanuevas tiene tres tuberías que salen de una pequeña balsa de regulación hasta los tres grupos que hay en el edificio de máquinas.



Figura 38. Tuberías de la central de Los Villanuevas. Foto del Autor



Figura 39. Diagrama de la central de Los Villanuevas

### Central hidroeléctrica de Los Villanuevas

<b>Toma (masa de agua)</b>	10.04 Río Mijares: Río Mora- E. Arenós
<b>Retorno (masa de agua)</b>	10.04 Río Mijares: Río Mora- E. Arenós
<b>Salto</b>	48,5 m
<b>Nº Turbinas</b>	3
<b>Tipo Turbinas</b>	Francis
<b>Potencia instalada</b>	$1,08 + 1,08 + 1,44 = 3,6$ MW
<b>Caudal máximo</b>	$7 \text{ m}^3/\text{s}$

Tabla 4. Características de la central de Los Villanuevas.

#### 2.2.3 Central hidroeléctrica de Los Cantos

La central de los Cantos está situada aguas arriba de la cola del Embalse de Arenós, es una central de derivación que tiene la toma aguas debajo de la central de Los Villanuevas en Los Pertegaces. Desde la toma hay un túnel de aproximadamente 4 km hasta la balsa de regulación que almacena el agua que irá a través de las 2 tuberías hasta las turbinas para generar electricidad.

En la siguiente figura se muestra la central desde el camino de ascenso hasta la balsa de regulación, donde a la margen derecha de la imagen se encuentran los raíles empleados para transportar materiales durante la construcción de la balsa.



Figura 40. Central de Los Cantos. Foto del Autor

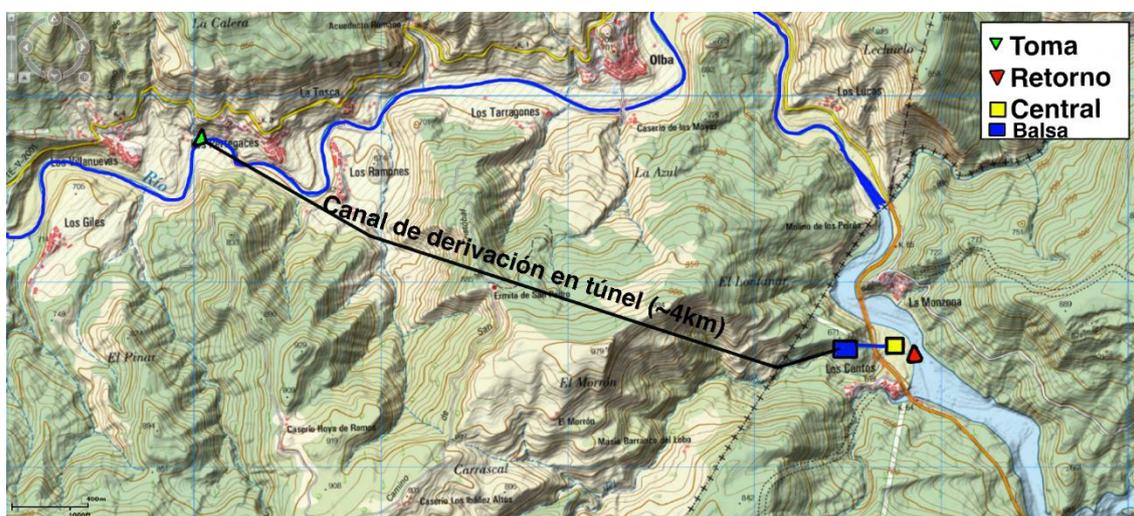


Figura 41. Diagrama de la central de Los Cantos.

### Central hidroeléctrica de Los Cantos

<b>Toma (masa de agua)</b>	10.04 Río Mijares: Río Mora- E. Arenós
<b>Retorno (masa de agua)</b>	10.05 E. Arenós
<b>Salto</b>	62,5 m
<b>Nº Turbinas</b>	2
<b>Tipo Turbinas</b>	Pelton
<b>Potencia instalada</b>	2,4 + 2,4 = 4,8 MW
<b>Caudal máximo</b>	8 m <sup>3</sup> /s

Tabla 5. Características de la central de Los Cantos.

#### 2.2.4 Central hidroeléctrica de Cirat

La central de Cirat, una central de derivación está situada aguas abajo del embalse de Arenós en la cuenca media del Mijares. La central recibe agua a través de una presa que no se emplea para regular el río sino para alimentar la central.

La toma se encuentra en la margen izquierda de la presa y lleva el agua a través de un túnel construido entre 1960 y 1965 de unos 8 km hasta la balsa de regulación que está conectada con la tubería que lleva el agua hasta las turbinas.



*Figura 42. Toma de la central de Cirat. Foto del Autor.*

En la figura se muestra una foto antigua de la central de Cirat, donde hoy en día la ladera está cubierta con una capa mucho más espesa de arboleda.



Figura 43. Central de Cirat. Fuente: Vicente Llop Rovira, 2016

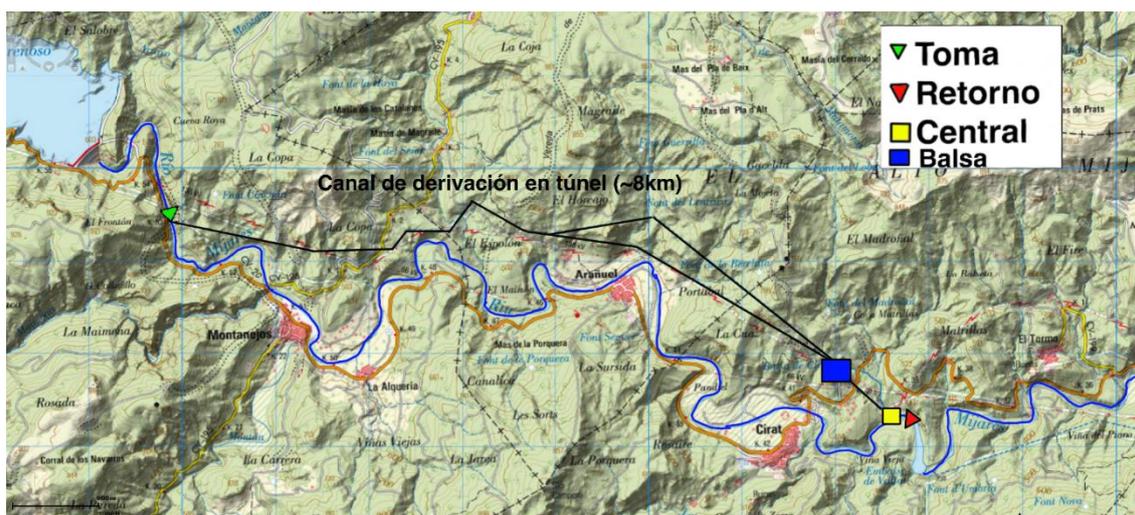


Figura 44. Diagrama de la central de Cirat.

### Central hidroeléctrica de Cirat

<b>Toma (masa de agua)</b>	10.05 E. Arenós
<b>Retorno (masa de agua)</b>	10.06 Río Mijares: E. Arenós- Az. Huertacha
<b>Salto</b>	124,94 m
<b>Nº Turbinas</b>	2
<b>Tipo Turbinas</b>	Francis
<b>Potencia instalada</b>	7,36 + 7,36 = 14,72 MW

**Caudal máximo**

12 m<sup>3</sup>/s

Tabla 6. Características de la central de Cirat.

### 2.2.5 Central hidroeléctrica de Vallat

Inmediatamente tras el retorno de la central de Cirat se encuentra el embalse de Vallat que alimenta a la central y como los otros dos embalses (Cirat y Ribesalbes) que hay en el cauce medio del Mijares, lleva el nombre de la central a la cual suministra agua y no ejerce como embalse de regulación al tener un volumen reducido y ser por tanto despreciable al trabajar en una escala diaria.

La central es de derivación, el agua circula desde el embalse de Vallat a través de un túnel de unos 4 km hasta la balsa de regulación. La balsa de regulación almacena el agua que irá por las tuberías hasta las turbinas para ser retornada inmediatamente tras la central al embalse de Ribesalbes.

En la figura próxima se muestra una imagen de la central donde se aprecia a central, el retorno, la tubería y la balsa de regulación. El poco caudal que transporta el río en la imagen permite apreciar con mayor claridad la salida de la central de Vallat, situada en el margen opuesto del río a la población de Vallat.

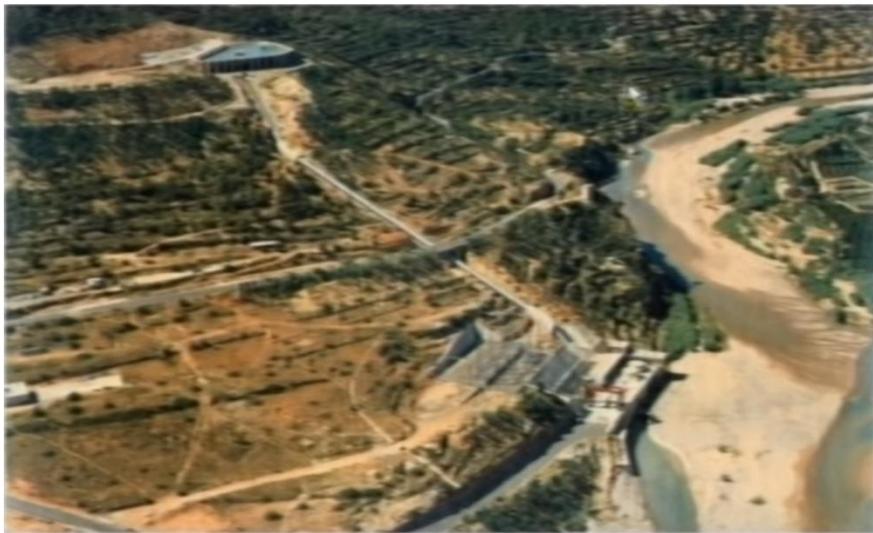


Figura 45. Central de Vallat. Fuente: Vicente Llop Rovira, 2016.

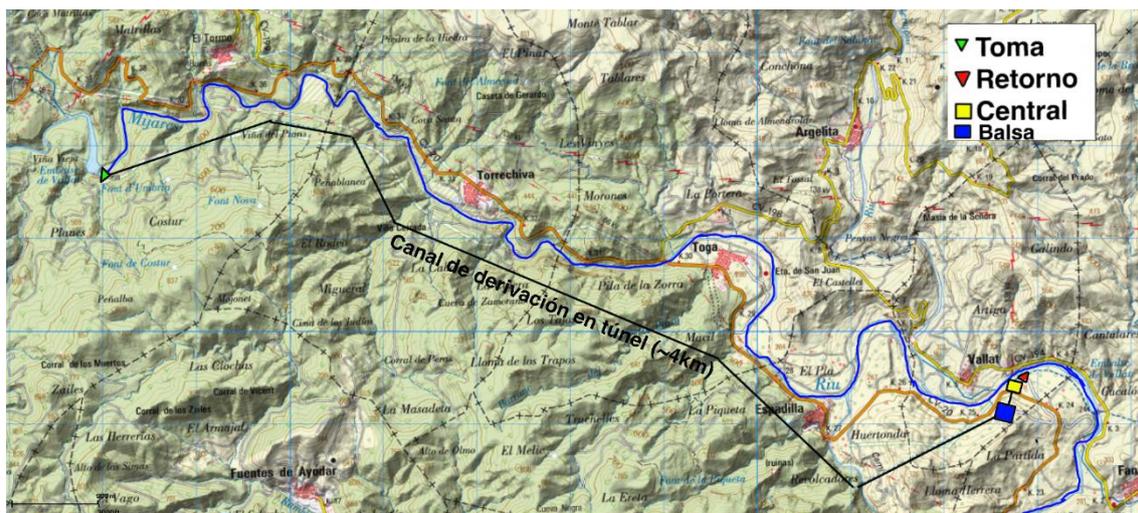


Figura 46. Diagrama de la central de Vallat.

### Central hidroeléctrica de Vallat

<b>Toma (masa de agua)</b>	10.06 Río Mijares: E. Arenós- Az. Huertacha
<b>Retorno (masa de agua)</b>	10.07 Río Mijares: Az. Huertacha- E. Vallat
<b>Salto</b>	104,5 m
<b>Nº Turbinas</b>	2
<b>Tipo Turbinas</b>	Pelton
<b>Potencia instalada</b>	7,5 + 7,5 = 15 MW
<b>Caudal máximo</b>	6 m <sup>3</sup> /s

Tabla 7. Características de la central de Vallat.

#### 2.2.6 Central hidroeléctrica de Ribesalbes

La central de Ribesalbes, como todas en el río Mijares es una central de derivación que toma agua del embalse de Ribesalbes, formado por una presa de gravedad con una altura de 21 metros y una capacidad de 0,3 hm<sup>3</sup>, a unos 50 metros tras la restitución de la anterior central.

Desde la central de Ribesalbes se deriva agua tanto para la central de Ribesalbes, y por tanto colmenar, como para el canal Cota 220 de riego. Desde la toma hay una derivación en túnel hasta la tubería que alimenta la central que carece de balsa de regulación.

El retorno de esta central se divide en dos, pues la mayor parte de las aguas turbinadas en esta central se llevan hasta la central de Colmenar situada 200 m aguas debajo de la presa de Sichar y la otra parte va a parar al embalse de Sichar.



Figura 47. Central de Vallat. Fuente: Vicente Llop Rovira, 2016



Figura 48. Diagrama de la central de Ribesalbes.

### Central hidroeléctrica de Ribesalbes

<b>Toma (masa de agua)</b>	10.07 Río Mijares: Az. Huertacha- E. Vallat
<b>Retorno (masa de agua)</b>	10.08 Río Mijares: E. Vallat- E. Sichar
<b>Salto</b>	70,86 m
<b>Nº Turbinas</b>	2
<b>Tipo Turbinas</b>	Francis
<b>Potencia instalada</b>	3,52 + 3,52 = 7,04 MW

**Caudal máximo**

12 m<sup>3</sup>/s

Tabla 8. Características de la Central de Ribesalbes

### 2.2.7 Central hidroeléctrica de Colmenar

La central de Colmenar se alimenta a través de un túnel de unos 2 km con los retornos de la central de Ribesalbes que no van al embalse de Sicha.

Es una central de derivación con el retorno inmediatamente tras la central y aguas debajo de la estación de aforo. Esta central se encuentra a la altura de una estación de aforo de la ROEA, la estación con código 8119 como se ha mencionado.

En la siguiente imagen, se parecía la central y la balsa de regulación arriba de la tubería antes de que se construyese la estación de aforo mencionada anteriormente.



Figura 49. Central de Colmenar. Fuente: Vicente Llop Rovira, 2016.



Figura 50. Diagrama de la central de Colmenar.

### **Central hidroeléctrica de Colmenar**

<b>Toma (masa de agua)</b>	10.08 Río Mijares: E. Vallat- E. Sichar
<b>Retorno (masa de agua)</b>	10.10 Río Mijares: E. Sichar- Canal cota 100
<b>Salto</b>	56,6 m
<b>Nº Turbinas</b>	2
<b>Tipo Turbinas</b>	Francis
<b>Potencia instalada</b>	2,8 + 2,8 = 5,6 MW
<b>Caudal máximo</b>	12 m <sup>3</sup> /s

Tabla 9. Características de la central de Colmenar.

#### 2.2.8 Central hidroeléctrica de Onda

La central hidroeléctrica de Onda se sitúa en la margen izquierda del río Mijares aproximadamente 450 metros aguas debajo de la central de Colmenar.

A diferencia del cauce medio y similar al cauce alto las derivaciones del cauce bajo se realizan mediante azudes. El azud derivará el agua mediante un canal de alrededor de 1,2 km hasta la central para turbinar el agua y devolverla al río mediante una pequeña derivación.

En el cauce bajo se encuentran centrales con una potencia instalada menor a 1 MW, es una zona donde como en el orden natural de los ríos de estas características conforme se aproximan a la desembocadura los meandros se vuelven más suaves y grandes allanando el terreno, con lo que la orografía del lugar no permite saltos como los de Cirat, Vallat o Albentosa.



Figura 51. Central de Onda. Fuente: Vicente Llop Rovira, 2016.

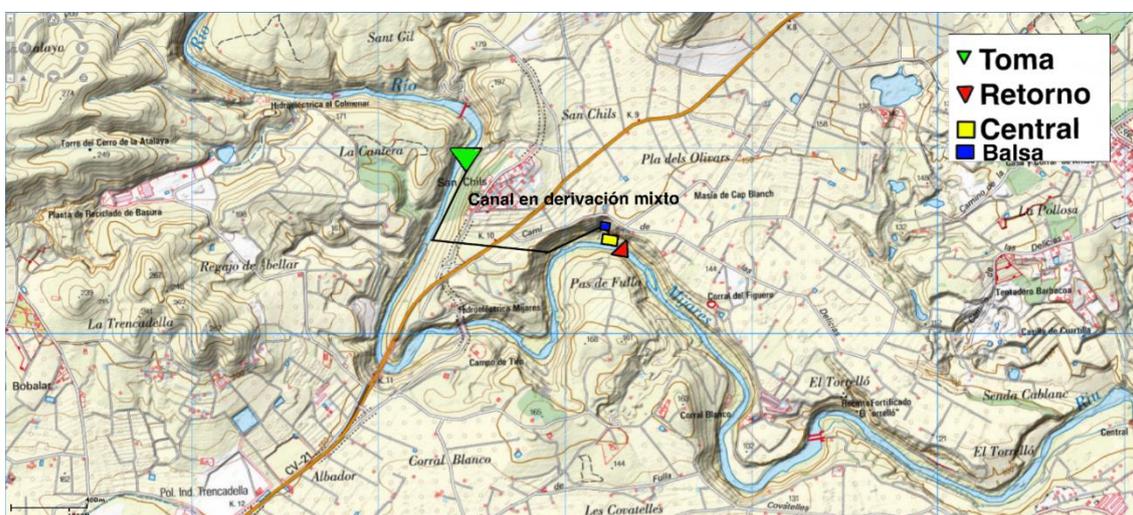


Figura 52. Diagrama de la central de Onda.

### Central hidroeléctrica de Onda

<b>Toma (masa de agua)</b>	10.10 Río Mijares: E. Sichar- Canal cota 100
<b>Retorno (masa de agua)</b>	10.10 Río Mijares: E. Sichar- Canal cota 100
<b>Salto</b>	13,15 m
<b>Nº Turbinas</b>	2
<b>Tipo Turbinas</b>	Turgo
<b>Potencia instalada</b>	0,45 + 0,45 = 0,9 MW
<b>Caudal máximo</b>	8 m <sup>3</sup> /s

Tabla 10. Características de la central de Onda.

### 2.2.9 Central hidroeléctrica de Hidro

La central de Hidro es la tercera central desde el embalse de Sichar en el cauce bajo del Mijares, esta central deriva agua de un azud mediante un canal de 2 km hasta la central situada entre Trencaes y Sijar de Baix.



Figura 53. Central de Hidro. Fuente: Vicente Llop Rovira, 2016

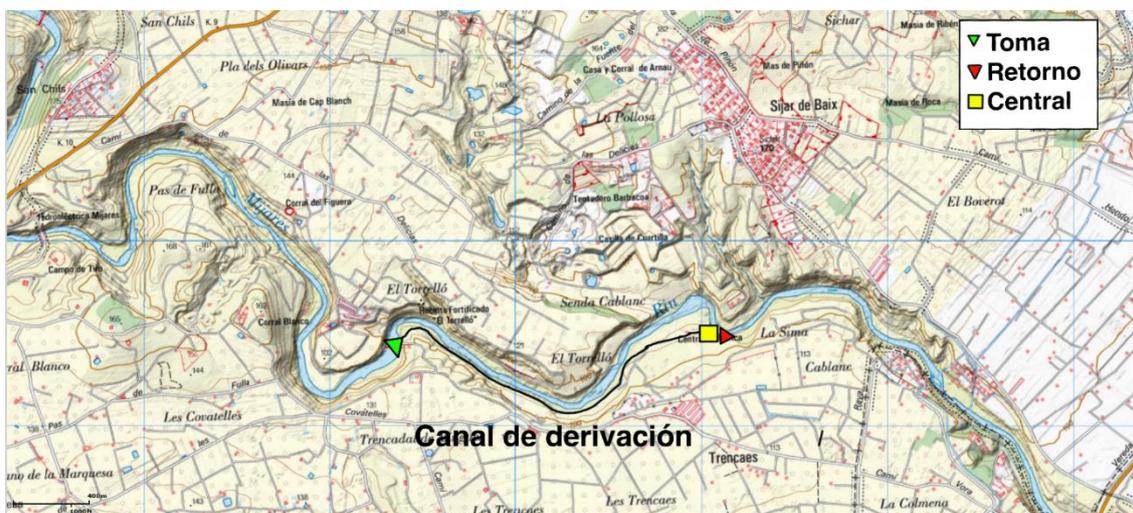


Figura 54. Diagrama de la central de Hidro.

#### Central hidroeléctrica de hidro

**Toma (masa de agua)**

10.10 Río Mijares: E. Sichar- Canal cota 100

**Retorno (masa de agua)**

10.10 Río Mijares: E. Sichar- Canal cota 100

**Salto**

13,15 m

<b>Nº Turbinas</b>	2
<b>Tipo Turbinas</b>	Turgo
<b>Potencia instalada</b>	0,32 + 0,32 = 0,64 MW
<b>Caudal máximo</b>	7,5 m <sup>3</sup> /s

Tabla 11. Características de la central de Hidro.

### 2.2.10 Central hidroeléctrica de Villarreal

La central de Villarreal, situada a unos 5 km al oeste en la margen derecha del río Mijares deriva agua con un azud hacia un canal de 600 m hasta la central para posteriormente retornar el agua al río mediante otro canal de aproximadamente 400 metros.



Figura 55. Central de Villarreal. Fuente: Vicente Llop Rovira, 2016.



Figura 56. Diagrama de la central de Villarreal.

### Central hidroeléctrica de Villarreal

<b>Toma (masa de agua)</b>	10.11 Río Mijares: Canal cota 100- Rbla. Viuda
<b>Retorno (masa de agua)</b>	10.11 Río Mijares: Canal cota 100- Rbla. Viuda
<b>Salto</b>	7,28 m
<b>Nº Turbinas</b>	1
<b>Tipo Turbinas</b>	Turgo
<b>Potencia instalada</b>	0,472 MW
<b>Caudal máximo</b>	7,2 m <sup>3</sup> /s

Tabla 12. Características de la central de Villarreal.



ADECUACIÓN DE LA PRODUCCIÓN ENERGÉTICA DE LAS CENTRALES HIDROELÉCTRICAS AL CUMPLIMIENTO DE LOS CAUDALES ECOLÓGICOS EN LA DEMARCACIÓN DEL JÚCAR. RÍO MIJARES





### 3. ANTECEDENTES

#### 3.1 Plan Hidrológico

Con la Directiva Marco del Agua (DMA, 2000) que establece un marco comunitario en el ámbito de la política de agua. España mediante el Texto Refundido de la Ley de Aguas (TRLA) cambió los objetivos de la planificación hidrológica para adaptarse a la normativa europea y tratando de equilibrar el objetivo de alcanzar el buen estado de las masas de agua superficiales y subterráneas con el desarrollo económico intentando promover un uso sostenible del agua como recurso.

En el art. 40 del TRLA se indican los objetivos de la planificación hidrológica:

- a) La planificación hidrológica tendrá por objetivos generales conseguir el buen estado y la adecuada protección del dominio público hidráulico y de las aguas objeto de esta ley, la satisfacción de las demandas de agua, el equilibrio y armonización del desarrollo regional y sectorial, incrementando las disponibilidades del recurso, protegiendo su calidad, economizando su empleo y racionalizando sus usos en armonía con el medio ambiente y los demás recursos naturales.
  
- b) La política del agua está al servicio de las estrategias y planes sectoriales que sobre los distintos usos establezcan las Administraciones públicas, sin perjuicio de la gestión racional y sostenible del recurso que debe ser aplicada por el Ministerio de Medio Ambiente, o por las Administraciones hidráulicas competentes, que condicionará toda autorización, concesión o infraestructura futura que se solicite.

Para alcanzar estos objetivos y de acuerdo con el artículo 19 del Reglamento de la Planificación Hidrográfica (RPH) el plan hidrológico definirá los sistemas de explotación en los que funcionalmente se divida el territorio de la demarcación.

Cada sistema de explotación de recursos está constituido por masas de agua superficial y subterránea, obras e instalaciones de infraestructura hidráulica, normas de utilización del agua derivadas de las características de las demandas y reglas de explotación que, aprovechando los recursos hídricos naturales, y de acuerdo con su calidad, permiten establecer los suministros de agua que configuran la oferta de recursos disponibles del sistema de explotación, cumpliendo los objetivos medioambientales (RPH, 2016).

Las masas de agua superficiales que afectarán a las centrales del río Mijares, hasta la Rambla de la Viuda, son las mostradas en la figura 33.

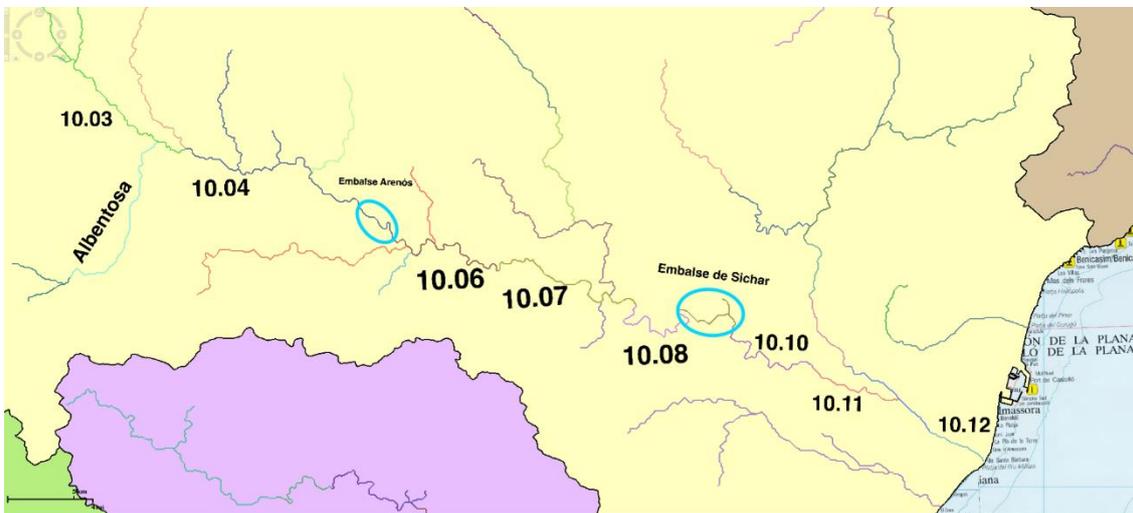


Figura 57. Situación de las masas de agua del eje principal del río Mijares.

En el artículo 42 del TRLA se señalan los contenidos que han de comprender los planes hidrológicos, entre ellos en el apartado 42.b y subapartado 42.c.c' se menciona la asignación y reserva de recursos para usos y demandas actuales y futuros, así como para la conservación y recuperación del medio natural. Para ello se determinarán los caudales ecológicos, entendidos como tales los que mantiene como mínimo la vida piscícola que de manera natural habitaría o pudiera habitar en el río, así como su vegetación de ribera. Pese a que mantener un caudal ecológico es elemental para alcanzar un buen estado de las masas de agua el hecho de establecer un régimen hidrológico puede causar conflicto de

intereses, lo cual requerirá de un estudio multidisciplinar además de un proceso de concertación para establecer este régimen de caudales mínimos.

La Instrucción de Planificación Hidrológica (IPH) indica los procedimientos que hay que llevar a cabo y conceptos a tener en cuenta a la hora de establecer un régimen de caudales mínimos, como determinar la repercusión que tendrá la implantación de los caudales ecológicos sobre los usos del agua, entre ellos el uso de agua para las centrales hidroeléctricas.

### 3.2 Caudales ecológicos para las distintas masas de agua

En el Plan de 2009 se establecen caudales mínimos en 4 puntos del río Mijares en 3 masas de agua, en la 10.03, 10.06 y 10.10 donde se encuentran 2 de los puntos. En la masa de agua 10.10 se divide en dos tramos, salida del embalse de Sichar y aguas debajo de la toma del Tramo común tal y como se ve en la siguiente tabla.

Masa de agua superficial		Nombre del punto de implantación	Caudal (m <sup>3</sup> /s)	
			Situación ordinaria	Situación de sequía
10.03	Río Mijares: Loma de la Ceja – Río Mora	Aguas arriba del E. de Arenós	0,4	
10.06	Río Mijares: E. Arenós-Az. Huertacha	Salida del E. de Arenós	0,5	
10.10	Río Mijares: E. Sichar-Canal Cota 100	Salida del E. de Sichar	1,1	0,95
		Aguas abajo de la toma del Tramo común	0,95	
10.07.02.02	Río Villahermosa: Bco. Canaleta - Bco.Cimorraeta	Villahermosa	0,06	

Tabla 13. Caudales ecológicos de las masas de agua del plan del ciclo 2009-15. Fuente: PHJ 2009.

Sin embargo, el Plan del año 2015 supone el establecimiento de un régimen de caudales mínimos en 185 masas de agua, en este caso superficiales, siendo la definición, según el artículo 40 bis del TRLA, una parte diferenciada y significativa de agua superficial, como un lago, un embalse, una corriente, río o canal, parte de una corriente, río o canal, unas aguas de transición o un tramo de aguas costeras. Por lo que en el sistema Mijares-Plana de Castellón se han fijado

caudales ecológicos en 27 masas de agua, entre ellas el eje principal del río Mijares.

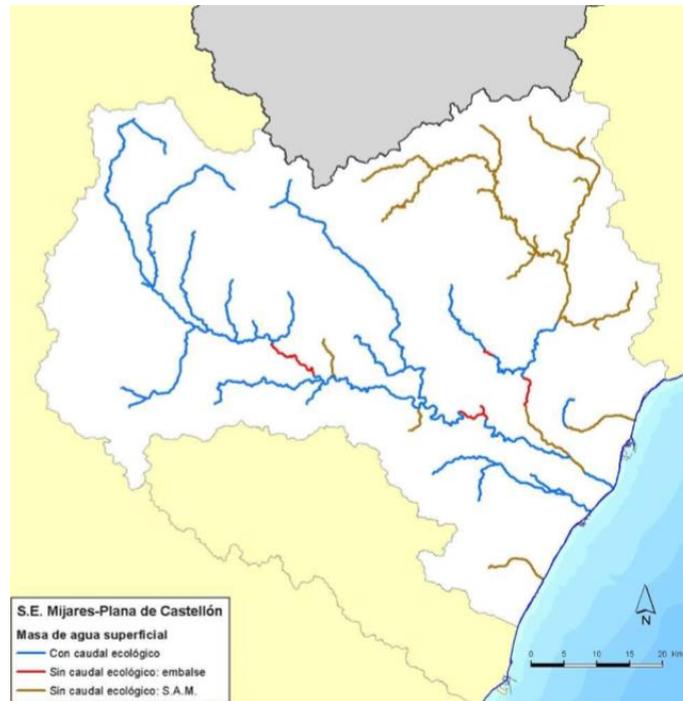


Figura 58. Masas de agua con caudal ecológico en el plan hidrológico del ciclo 2015-21. Fuente: PHJ 2015.

Las masas de aguas a tratar son las pertenecientes al río Mijares:

1. 10.01: Río Mijares: Cabecera- Bco. Charco
2. 10.02: Río Mijares: Bco. Charco – Loma de la Ceja
3. 10.03: Río Mijares: Loma de la Ceja- Río Mora
4. 10.04: Río Mijares: Río Mora- E. Arenós
5. 10.06: Río Mijares: E. Arenós – Az. Huertacha
6. 10.07: Río Mijares: Az. Huertacha- E. Vallat
7. 10.08: Río Mijares: E. Vallat – E. Sichar
8. 10.10: Río Mijares: E. Sichar – Canal Cota 100
9. 10.11: Río Mijares: Canal Cota 100 – Rbla. de la Viuda
- 10.10.12: Río Mijares: Rbla. de la Viuda – Delta Mijares



Como establece la Instrucción de Planificación Hidrológica, el proceso de establecer el régimen de caudales mínimos sigue tres fases:

1. Elaboración de los estudios técnicos destinados a determinar los elementos del régimen de caudales mínimos en todas las masas de agua.
2. Proceso de concertación en aquellos casos que condicionen significativamente las asignaciones y reservas del plan hidrológico.
3. Proceso de implantación concertado y seguimiento adaptativo.

Se debe ver que en estos planes se compatibilizan estos requerimientos ambientales con los usos constitutivos mientras que con los no constitutivos como el de generación de energía eléctrica sí que se verán afectados debiendo de adecuar sus instalaciones para adaptarse al régimen de caudales establecidos. Lo cual se analizará en los últimos apartados del trabajo.

Los objetivos que se pretenden alcanzar estableciendo dicho régimen de caudales son, según el anejo 5 del PHJ 2015-2021, los de proporcionar condiciones de hábitat adecuadas para satisfacer las necesidades de las diferentes comunidades biológicas y el de ofrecer un patrón temporal de los caudales que permita la existencia de cambios, como máximo de cambios leves en la estructura y composición de los ecosistemas acuáticos y permita mantener la integridad biológica del ecosistema. Además, hay que tener en cuenta que la prioridad en la consecución de estos objetivos la tienen las zonas protegidas, después masas de agua naturales y finalmente masas de agua muy modificadas.

Por ello, aunque en caso de sequía prolongada se podrá aplicar un régimen de caudales ecológicos menos exigente excepto en esas zonas protegidas, como zonas de la red Natura 2000 o en la lista de humedales de importancia internacional de acuerdo con el Convenio de Ramsar ni en las zonas de protección especial ni en las reservas naturales fluviales.

La red Natura 2000, en la Comunidad Valenciana ocupa 8.722 km<sup>2</sup> terrestres suponiendo un 37,5% del territorio.

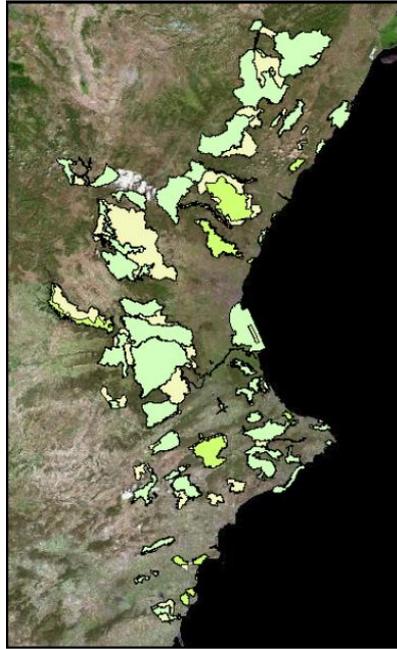


Figura 59. Red Natura 2000 en la comunidad Valenciana. Fuente: Conselleria de Agricultura, Desarrollo Rural, Emergencia Climática y Transición Ecológica.

Así es el caso de la reserva natural fluvial del río Mijares situada en la masa de agua 10.01 (Río Mijares: Cabecera-Bco. Charco) dentro de la categoría aguas continentales y con una tipología de río de montaña mediterránea calcárea. Supone 18,16 km de río en la provincia de Teruel para ser protegidos.

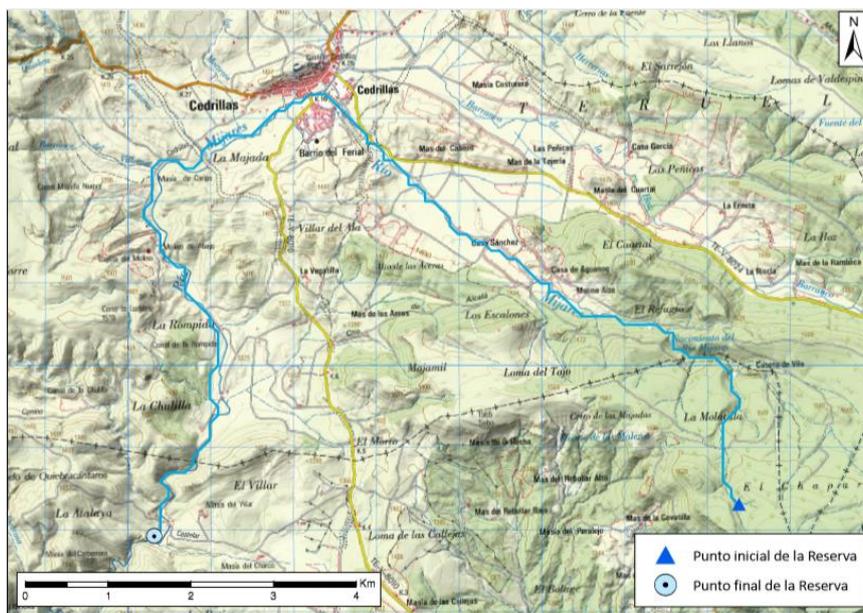


Figura 60. Reserva natural fluvial del río Mijares. Fuente: MITECO

Para establecer un régimen de caudales ecológicos, tal como indica la IPH y de acuerdo con el Anejo nº5 del PHJ 2015-2021, se han aplicado métodos hidrológicos y métodos hidrobiológicos, de modo que el cruce de resultados proporcione unos caudales mínimos a implantar.

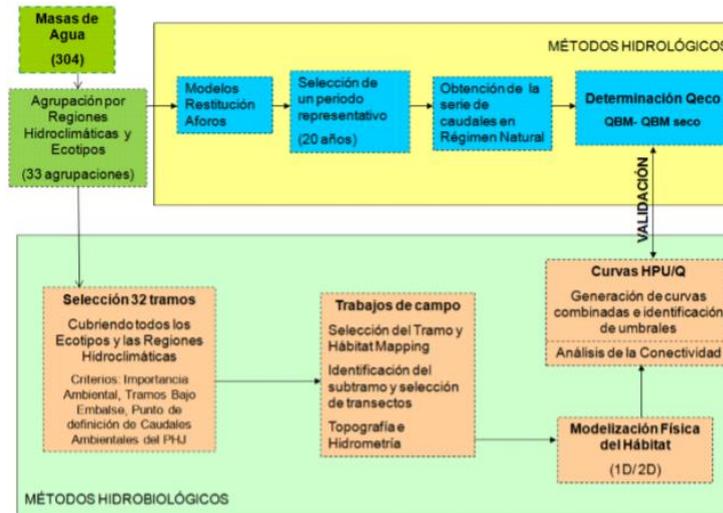


Figura 61. Esquema del método para determinar los caudales ecológicos. Fuente: PHJ 2015.

Los métodos hidrológicos parten de una serie hidrológica diaria representativa de al menos 20 años, en el caso del ejemplo del anejo es de oct. 1986 a sept. 2006, en el caso de este trabajo va desde ene. 1992 a dic. 2018 teniendo una serie diaria representativa de 26 años. El método empleado para establecer los caudales ecológicos actuales es el del Caudal Básico de Mantenimiento (QBM).

Los métodos hidrobiológicos o de modelación del hábitat se basan en el uso de curvas de preferencia de hábitat físico para las especies objetivos, que junto con una simulación hidráulica del cauce se obtienen unas curvas que relacionan el hábitat potencial útil con el caudal de los tramos que se estén estudiando. Las especies objetivo del río Mijares serán la trucha, el barbo y el cacho.



Figura 62. Barbo. Fuente: [www.farnhamanglingociety.com](http://www.farnhamanglingociety.com)



Figura 63. Cacho. Fuente: [www.farnhamanglingociety.com](http://www.farnhamanglingociety.com)



Figura 64. Trucha. Fuente: [www.farnhamanglingociety.com](http://www.farnhamanglingociety.com)

Combinando los datos obtenidos a través de los 2 métodos, hidrológicos e hidrobiológicos, se obtienen los caudales mínimos según alguno de los siguientes criterios (PHJ 2015):

- Considerando el caudal correspondiente a un umbral de hábitat potencial (HPU) útil comprendido entre el 50% y 80% del HPU para masas de agua no alteradas hidrológicamente y entre el 30% y 80% para masas de agua alteradas hidrológicamente.



- Considerando un caudal correspondiente a un cambio significativo de pendiente en la curva de hábitat potencial útil-caudal.

Una vez se ha obtenido el régimen de caudales mínimos se abre, como se ha mencionado, un proceso de concertación si se condicionan las asignaciones y reservas del plan hidrológico y finalmente se cierra con un proceso de implantación del régimen de caudales ecológicos y un seguimiento adaptativo mediante las redes de aforos.

Se ve que los caudales ecológicos implantados para las masas de agua superficiales del río Mijares suponen como máximo un 16% del régimen natural del río lo que supone para el cauce medio y cauce bajo un régimen natural de aproximadamente 6,8 m<sup>3</sup>/s pero dado que en los datos proporcionados de los aforos de la ROEA se obtiene un caudal medio diario para un periodo significativo de 26 años de aproximadamente 4 m<sup>3</sup>/s para simplificación del trabajo y para mantener unos márgenes de beneficio para las centrales hidroeléctricas se supondrá un régimen natural de 4 m<sup>3</sup>/s a lo largo del río.

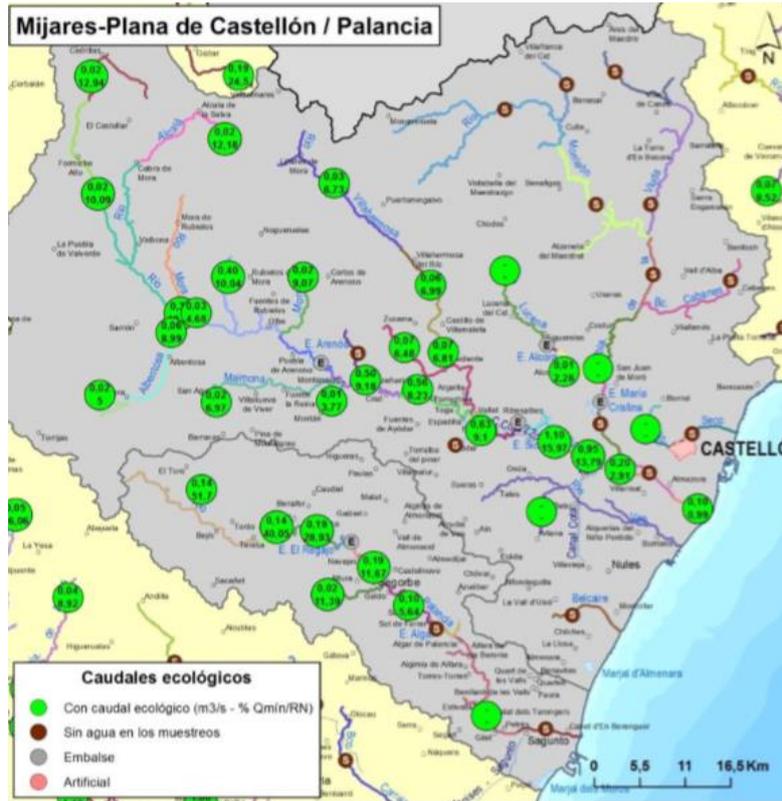


Figura 65. Caudales ecológicos en el sistema Mijares-Plana de Castellón. Fuente: PHJ 2015.

En la siguiente tabla se muestran las masas de agua y los caudales mínimos que se han concertado en el Mijares.

Código masa de agua	Nombre masa de agua	Caudal mínimo (m <sup>3</sup> /s)		
		Situación ordinaria	Situación de sequía	
10.01	Río Mijares: Cabecera - Bco. Charco	0,02	**	
10.02	Río Mijares: Bco. Charco - Loma de la Ceja	0,02	**	
10.03	Río Mijares: Loma de la Ceja - Río Mora	0,31	0,31	
10.04	Río Mijares: Río Mora - E. Arenós	0,4	**	
10.06	Río Mijares: E. Arenós - Az. Huertacha	0,4****	**	
10.07	Río Mijares: Az. Huertacha - E. Vallat	0,56	**	
10.08	Río Mijares: E. Vallat - E. Sichar	0,63	**	
10.10	Río Mijares: E. Sichar – Canal cota 100	E. Sichar - toma Tramo común	1,1	0,95
		Toma Tramo común - Canal cota 100	0,95	0,95
10.11	Río Mijares: Canal cota 100 - Rbla. de la Viuda	0,2	0,2	
10.12	Río Mijares: Rbla. de la Viuda - Delta Mijares	-	-	

Tabla 14. Caudales ecológicos de las masas de agua del eje principal del río Mijares.

El 90% de las centrales hidroeléctricas del Mijares se verán afectadas directamente por la implantación del régimen de caudales ecológicos. De las 10 centrales presentes en el Mijares, la Central de Colmenar situada en la margen derecha del río aguas abajo del embalse de Sichar, no deriva agua desde el río sino que se alimenta de los retornos de la central de Ribesalbes situada en la cola del embalse de Sichar, por lo que en este caso se verá afectada igualmente pero de manera indirecta.

Ámbito	Nombre de la Central	Q <sub>min</sub> (m <sup>3</sup> /s)
Mijares Alto	Albentosa	0,31
	Los Villanueva	0,4
	Los Cantos	0,4
Mijares Medio	Cirat	0,4
	Vallat	0,56
	Ribesalbes	0,63
	Colmenar	No procede
Mijares Bajo	Onda	0,95
	Hidro	0,48
	Villarreal	0,2

Tabla 15. Centrales hidroeléctricas afectadas por un caudal ecológico. Fuente: PHJ 2015.



ADECUACIÓN DE LA PRODUCCIÓN ENERGÉTICA DE LAS CENTRALES HIDROELÉCTRICAS AL CUMPLIMIENTO DE LOS CAUDALES ECOLÓGICOS EN LA DEMARCACIÓN DEL JÚCAR. RÍO MIJARES



## 4. Metodología

La metodología consiste en tres pasos:

- 1) Recogida de datos
  - Ambientales
  - Hidrológicos
  - Estructurales
- 2) Procesamiento de datos (Régimen turbinable)
- 3) Interpretación de los resultados

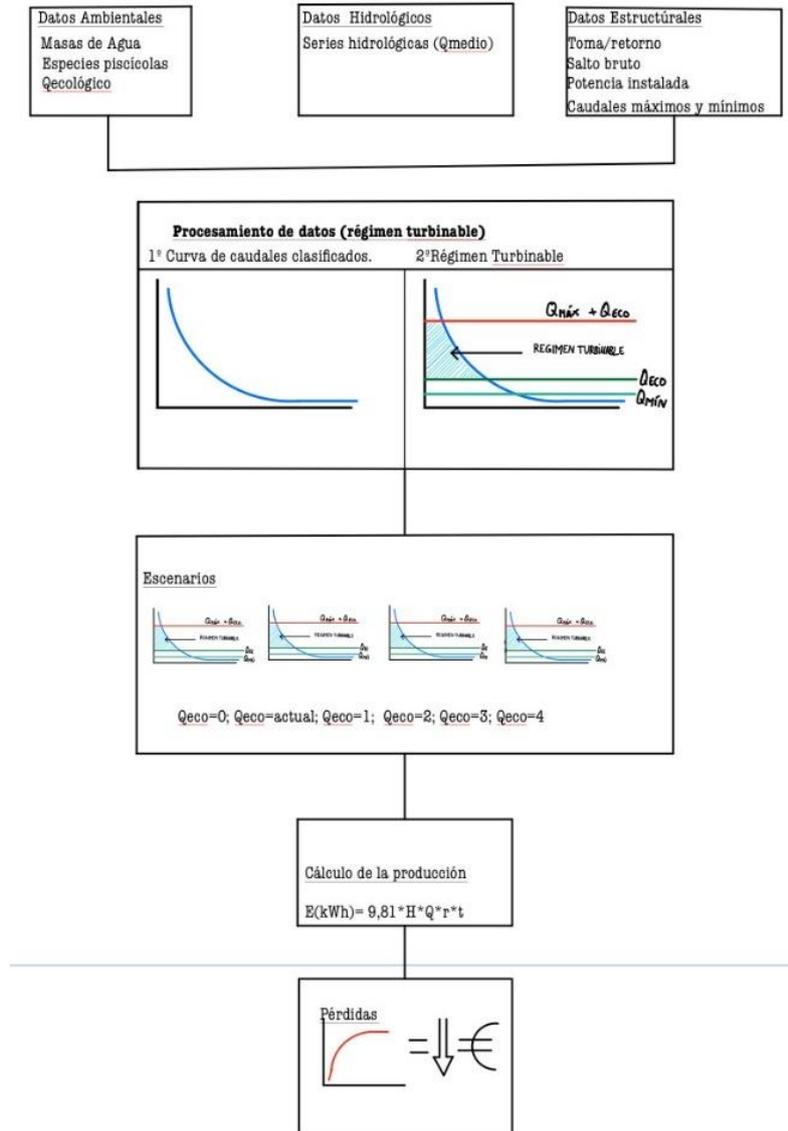


Figura 66. Metodología.

### 4.1 Recogida de datos

La recogida de datos consiste en la recopilación de información, como se ha mencionado, de tres tipos de datos, ambientales, hidrológicos y estructurales o funcionales.



#### 4.1.1 Datos ambientales

Los datos ambientales que se han recopilado desde distintas fuentes, siendo la principal el Plan Hidrológico del Júcar. En el PHJ del ciclo 2009-2014 se establecían caudales ecológicos para 4 masas de agua mientras que en el PHJ del ciclo 2015-2021 se dedicaba a ampliar las masas de agua en las cuales implantar un régimen de caudales mínimos. Por lo tanto, se han establecido las masas de agua del Río Mijares en las cuales se efectúa la implantación de caudales ecológicos y que centrales hidroeléctricas se verán afectadas por ellos. Ver tablas 4 y 5.

Los caudales mínimos establecidos se han deducido a partir de la combinación de métodos hidrológicos e hidrobiológicos (modelación del hábitat) es decir gracias a una serie hidrográfica para definir caudales naturales y la información sobre las especies piscícolas han llegado a establecer un caudal mínimo del río que compatibilice las necesidades, tanto ambientales como de riego, industriales o urbanas.

#### 4.1.2 Datos hidrológicos

En cuanto a los datos hidrológicos se han recogido la cantidad y el caudal medio diario que circulaba por los aforos del río mijares. Los aforos que se han empleado son los que están en funcionamiento en el propio río y son los que están situados a la entrada del embalse de Arenós (8134), a la salida del embalse de Arenós (8145), a la salida del embalse de Sichar (8119) y en Villarreal (8005), estos aforos vistos anteriormente recopilan información del caudal y de la cantidad de agua que circula por el río en ese momento. Los datos recogidos se han empleado para elaborar la curva de caudales característicos que nos permitirá, para cada central, deducir la producción de energía posible.

Es importante mencionar que, respecto a los datos hidrológicos, se han estudiado datos hidrológicos procedentes del modelo -PATRICAL- proporcionados por el tutor de este trabajo. Los resultados de este modelo se usan para extrapolar los datos de los aforos al resto de los tramos del río Mijares, por lo que, teniendo datos de caudales circulantes en algún punto en los cauces alto, medio y bajo, de los cuales se disponen gracias a los aforos de la ROEA, se podrá estimar los caudales circulantes en el resto del río. Este modelo está expuesto en una publicación elaborada por los tutores de este trabajo (**Pérez, M et al., 2014.**)

La publicación aborda problemas en la gestión de recursos hídricos en cuencas medianas o grandes, estos problemas varían desde el balance de recursos hídricos y su variabilidad espacio temporal hasta el impacto antropogénico en el



ciclo del agua. El modelo evalúa las masas de agua superficiales y subterráneas y obtiene las aportaciones a cada tramo del río.

El periodo de datos disponibles varía según el aforo, es decir para el primer aforo empleado, el de la entrada del embalse de Arenós se tienen datos medios diarios desde el 1 de octubre de 1991, mientras que a la salida del embalse de Arenós se tienen datos desde el 1 de octubre de 1987, o el de la salida del embalse de Sichar y el de la presa de Villarreal donde se recogen datos desde el 1 de octubre de 1968.

Ya que los aforos a la salida del embalse de Sichar y el de la presa de Villarreal marcaban los mismos registros solo se iba emplear uno de ellos. Como se puede observar son periodos de distintas duraciones por lo que se optó por seleccionar un periodo de tiempo semejante para todos, el periodo seleccionado siendo desde el 1 de enero de 1992 hasta el 31 de diciembre de 2018 que son los únicos periodos completos donde hay datos recogidos en los 4 aforos tenidos en cuenta en el río Mijares.

(insertar una tabla reducida)

#### 4.1.3 Datos estructurales

Referente a los datos estructurales o funcionales se busca información de las centrales para comprender el funcionamiento de las mismas, si son centrales de derivación o centrales a pie de presa, el número de turbinas, el caudal máximo que puede ser turbinado, el salto bruto que realiza el agua hasta las turbinas, que potencia tienen instalada la central, donde se realiza la toma de agua, etc.

La información que va a influir directamente en el cálculo el caudal máximo turbinable y el salto bruto de la central. El caudal máximo turbinable nos va a permitir establecer, una vez obtenidas las curvas de caudales clasificados y junto con los caudales mínimos, el régimen de caudales turbinables por cada central mientras que el salto bruto se ha de conocer para calcular la potencia que se puede obtener con el caudal turbinado.

Por otro lado, se dispone de una serie de caudales medios mensuales turbinados por cada central, lo cual nos permitirá conocer cuál es el límite inferior del régimen de caudales turbinables.

Para conocerlo basta con ver cuál es el mínimo caudal turbinado por las centrales. En la mayoría es del orden de las diezmilésimas por lo cual será despreciable para nuestros cálculos.

El resto de los datos obtenidos son para comprender el funcionamiento de la central e influenciarán la interpretación de los resultados y la toma de decisiones junto con los datos ambientales.



## 4.2 Procesamiento de datos.

Una vez se han recopilado todos los datos se procede a efectuar los cálculos necesarios. El primer paso es elaborar la curva de caudales clasificados.

## 4.3 Curva de caudales clasificados (CCC)

La curva de caudales clasificados (CCC) puede ser la representación de los 365 días de un año hidrológico concreto, o como en este caso, elaborarse con datos diarios de una serie de años. En este caso se elaborará la curva de caudales clasificados para en los aforos a la entrada y salida del embalse de Arenós y a la salida del embalse de Sichar ya que el aforo de Villarreal tiene registra los mismos datos que el de a la salida del embalse de Sichar.

Una vez se tiene la serie hidrológica se ordenarán los caudales registrados de mayor a menor para posteriormente asignarles la probabilidad de ser superados mediante el modelo de probabilidad empírica de Weibull. La probabilidad de que un caudal sea superado se suele calcular, una vez ordenados los caudales de mayor a menor, mediante la fórmula siguiente **Kannan, N y J.Jeong (2011)**:

$$\% = n/(N + 1)$$

Siendo

n= posición que ocupa el caudal a evaluar en la lista.

N=número de caudales en la lista

Una vez obtenida las curva de caudales clasificados de los aforos se ha de estudiar como extrapolarlas a las centrales, el método elegido ha sido el de aplicar el mismo ratio en cuanto a las aportaciones en el río según el tramo a las curvas en cada tramo del río, es decir comparar el volumen de aportaciones en el río en el tramo correspondiente al aforo con los tramos correspondientes al resto de centrales del mismo cauce para que el régimen del río no se vea afectado por los embalses de Arenós o de Sichar. Una vez obtenida la proporción en cuanto a volúmenes en los distintos tramos del río con respecto al tramo de los aforos se extrapola esa proporción a la curva de caudales clasificados del aforo para hallar las curvas de cada central hidroeléctrica.

Los datos para evaluar las aportaciones en cada tramo del río son los obtenidos con el modelo -PATRICAL-.

Obtenidas las curvas de caudales clasificados, se halla el régimen de caudales turbinables dados el caudal máximo y el caudal mínimo.

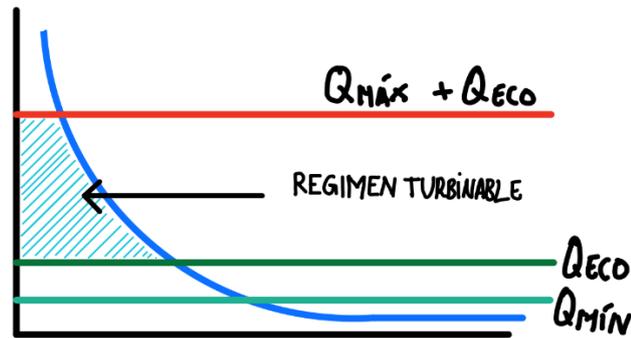


Figura 67. Curva de Caudales Clasificados

#### 4.4 Potencia

Una vez hallado el régimen de caudales turbinables, se calcula la potencia para cada caudal mediante la fórmula:

$$Pe(kW) = 9,81 * \eta_t * \eta_g * \eta_m * Q * H$$

Donde:

- $Pe$  = potencia en kW
- $\eta_t$  = rendimiento de la turbina hidráulica
- $\eta_g$  = rendimiento del generador eléctrico
- $\eta_m$  = rendimiento mecánico del acoplamiento turbina-alternador
- $Q$  = Caudal turbinable en  $m^3/s$
- $H$  = Desnivel neto (m)

El procedimiento realizado es una simplificación, en el sentido que los rendimientos de la turbina, del generador y del acoplamiento turbina-alternador han sido considerados como un único rendimiento, rendimiento medio considerado 0,85 y  $H$  en vez de ser el desnivel neto se ha tratado como el salto bruto de la central.

#### 4.5 Producción energética

Finalmente, calculada la potencia para cada caudal del régimen turbinable, al ser un modelo estadístico se considera la aplicación para un año y por tanto la producción eléctrica es directamente proporcional a la potencia y al tiempo de funcionamiento. Al disponer de datos medios diarios de 26 años cada caudal se considerará que es el caudal medio de un día, es decir 24 h, además de establecer la suposición de un régimen de funcionamiento de 24 horas para las centrales con el fin de obtener el máximo rendimiento. Luego nuestro objetivo será obtener los kWh/año luego habrá que sumar los datos de todos los días de todos los años y obtener la media de producción eléctrica anual.

$$\begin{array}{l}
 P(\text{kW})=Q \cdot H \cdot 9,81 \cdot \text{rendimiento} \\
 \downarrow \times (\text{Tiempo de funcionamiento}) \\
 (\text{kWh}) \\
 \downarrow \times (1/1.000.000) \\
 (\text{GWh}) \\
 \downarrow \times (1/26 \text{ años de la serie}) \\
 (\text{GWh/año})
 \end{array}$$

Figura 68. Cálculo de GWh/año.

#### 4.6 Factor de uso

El factor de uso es el rendimiento que tiene una central en cada escenario, se calcula con la relación entre la energía calculada mediante el procedimiento anterior y la energía máxima posible que la central es capaz de generar dada la potencia instalada.

La potencia instalada en cada central, como se ha visto es la que se muestra en la siguiente tabla:

Centrales	Potencia instalada (MW)
Albentosa	11,84
Los Villanuevas	3,6
Los Cantos	4,8
Cirat	14,72
Vallat	15
Ribesalbes	7,04
Colmenar	5,6
Onda	0,90
Hidro	0,64
Villarreal	0,472
<b>Total</b>	<b>64,612</b>

Tabla 16. Potencia de las centrales

#### 4.7 Escenarios

Conociendo el procedimiento a seguir habrá que realizarlo para las 10 centrales con los casos posibles de caudales ecológicos, en nuestro caso hay seis posibles:

- Caudal ecológico= 0 m<sup>3</sup>/s
- Caudal ecológico = Actual en el PHJ
- Caudal ecológico = 1 m<sup>3</sup>/s
- Caudal ecológico = 2 m<sup>3</sup>/s



- Caudal ecológico = 3 m<sup>3</sup>/s
- Caudal ecológico = 4 m<sup>3</sup>/s

Realizando el proceso de cálculo mencionado se obtendrá la producción eléctrica anual posible para cada caso de régimen de caudales ecológicos.

Los distintos escenarios se han planteado teniendo en cuenta que el régimen natural del río es de 4 m<sup>3</sup>/s, por lo que se han escalonado proporcionalmente.

El hecho de aumentar los caudales ecológicos beneficiará a los ecosistemas del río proporcionando un mayor hábitat potencial útil para las especies autóctonas del río Mijares, es posible que debido a algunas presas o en algunos aprovechamientos hidroeléctricos que tienen la capacidad de regulación (balsas) se den variaciones bruscas de caudal, lo llamado generación de hidropuntas. Estas hidropuntas es una forma de alteración del régimen hidrológico que produce una afección reconocida sobre los invertebrados bentónicos (Moog, 1993; Bruno et al., 2013), las poblaciones de peces (Moog, 1993; Liebig et al., 1999) y el funcionamiento ordinario de los ecosistemas fluviales (Smokorowski et al., 2011; Sanz et al., 2012).

En cuanto a los problemas en el funcionamiento de los ecosistemas fluviales no solo nos enfrentamos al arrastre de los propios organismos sino también al lavado de la fracción fina en el sedimento que desestructura el sustrato y produce la eliminación de las zonas adecuadas de frexa de algunas poblaciones de peces como la trucha.

Ante la problemática de las hidropuntas las soluciones propuestas entre las soluciones propuestas está la de incrementar el caudal base mínimo en aquellos tramos del río afectados por hidropuntas para asegurar siempre un perímetro mojado mínimo. Con lo cual además de mejorar las hidropuntas aumentamos el hábitat potencial útil de las especies objetivo del río, en este caso el barbo y la trucha.

Las especies estudiadas en el río Mijares son el barbo y la trucha, en el caso de la trucha el estudio del hábitat potencial útil se ha efectuado en la masa de agua superficial 10.04 aguas abajo de la central hidroeléctrica de Albentosa y en el caso del barbo ha sido realizado en la masa de agua 10.07 aguas abajo de la presa de Vallat.

Obteniendo las siguientes curvas de hábitat potencial útil.

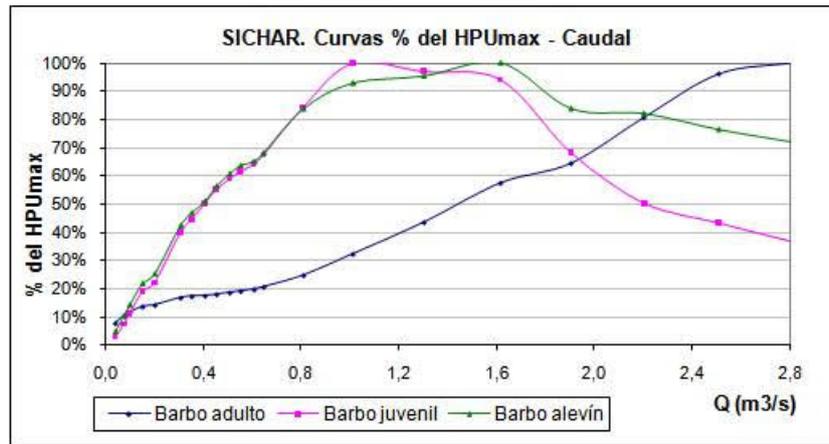


Figura 69. Hábitat potencial útil del barbo. Fuente: PHJ 2015

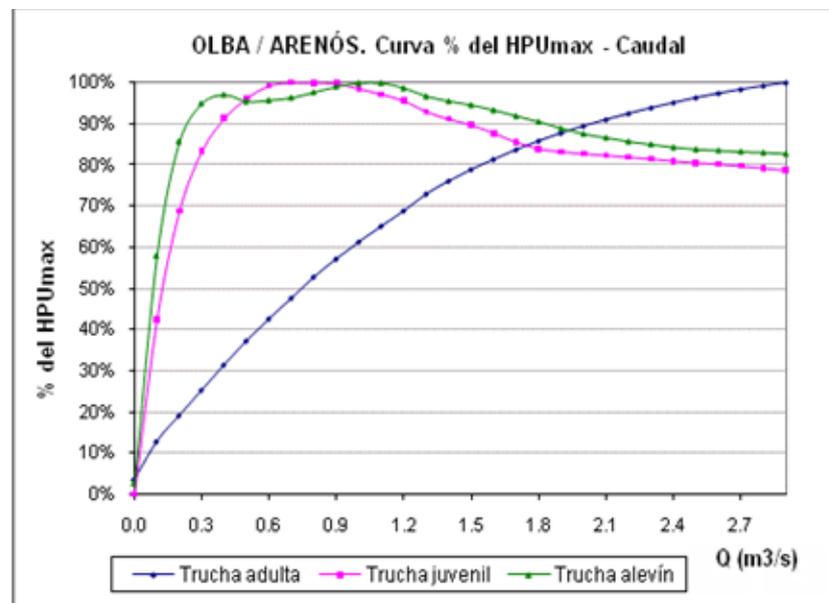


Figura 70. Hábitat potencial útil de la trucha. Fuente: PHJ 2015

Se puede apreciar que en ambos casos en el estadio adulto alcanzan el 100% de hábitat potencial útil de manera asintótica alrededor de los 2.8 m<sup>3</sup>/s, por lo que el hábitat de estas especies no será capaz de mejorar, aunque el perímetro mojado del cauce aumente para evitar el lavado de la fracción fina del sedimento.

Sin embargo, en el caso de los estadios juvenil y adulto se aprecia un cambio de pendiente, es decir un caudal máximo a partir del cual el hábitat potencial útil empieza a decrecer.

En el caso de la trucha a medida que aumenta el caudal del río a partir de aproximadamente 1 m<sup>3</sup>/s empieza a decrecer acercándose asintóticamente a 80% de hábitat potencial útil, con lo que para caudales mayores a los mostrados en la tabla prolongando las curvas a buena estima se puede deducir que aumentar el caudal mínimo del río hasta los 4 m<sup>3</sup>/s no perjudicará a los estadios más jóvenes de la trucha.



En cambio, el barbo, en los estadios más jóvenes se ve más afectado por los aumentos de caudales, decreciendo el hábitat potencial útil de manera más drástica que en el caso de la trucha. El estadio más sensible a estos cambios es el juvenil, prolongando de la misma manera las curvas, podríamos estimar que a partir de los 3 m<sup>3</sup>/s de caudal en el río el hábitat potencial útil se sitúa por debajo del 30%.

#### 4.8 Interpretación de los resultados

En este trabajo nuestros resultados tienen un valor económico, es decir, las pérdidas de producción eléctrica debidas a la implantación de caudales ecológicos se traducen en reducción de ganancias por parte del titular de la central hidroeléctrica y es en este paso donde se traducen las pérdidas en producción en pérdidas económicas.

Con unos datos proporcionados por la CHJ se conoce el coste por MWh de energía desde 2013 hasta el año 2016. Por lo tanto, calculado el MWh/año se estimarán los ingresos posibles para cada caso de caudales ecológicos, y una vez calculados los ingresos se estimarán las pérdidas pues es la resta de cada caso con respecto del inicial, es decir, sin caudal ecológico.

Una vez conocidas las pérdidas por cada central y cada caso se procederá, finalmente, a analizar la posibilidad de instaurar mayores caudales ecológicos en cada tramo, por cuenca alta, media o baja y en el río Mijares completo. Las propuestas y conclusiones realizadas son expuestas en los puntos 6 y 7 del presente trabajo.



## 5. Aplicación

### 5.1 Recopilación de datos

En este apartado se recoge toda la información disponible referente a nuestras centrales que pueda afectar, no solo al cálculo sino a la toma de decisiones posteriores. Es decir, se ha de conocer el entorno al que afecta la central, de qué manera la central se puede aprovechar de dicho entorno y los datos funcionales de cada central para comprender su funcionamiento.

#### 5.1.1 Datos Ambientales

La central de Cirat deriva agua desde un canal en túnel desde la presa de Cirat y la devuelve al río Mijares inmediatamente tras su turbinación. Por tanto, se verá actualmente afectada por un caudal ecológico mínimo de  $0,4 \text{ m}^3/\text{s}$ . Este caudal mínimo se exige tras el debido estudio multidisciplinar correspondiente, entre ellos el estudio del hábitat potencial útil de las especies piscícolas objetivo como el de la trucha común.

#### 5.1.2 Datos hidrológicos

La serie hidrológica que indica los caudales medios diarios, con los que se han calculado las curvas de caudales clasificados, se ha registrado y extrapolado proporcionalmente desde la estación de aforo perteneciente a la Red Oficial de Estaciones de Aforo con el código 8145, la cual se encuentra aguas abajo de la salida del embalse de Arenós (**ROEA, 1992-2018**).

La estación de aforo registra caudales medios diarios desde el 1 de octubre de 1987 hasta el 28 de junio de 2019, pero para tener un marco de referencia común entre todas las centrales se ha elegido un periodo representativo de 26 años, desde el 1 de enero de 1992 hasta el 31 de diciembre de 2018.

#### 5.1.3 Datos funcionales

La central, como se ha mencionado, deriva agua desde la presa de Cirat, que no funciona como reguladora, sino que se emplea para mantener la altura del río para poder derivar hasta la central a través de un canal con un caudal máximo de  $15 \text{ m}^3/\text{s}$  hasta 2 grupos con una potencia instalada de  $7,36 \text{ MW}$  instalados respectivamente.

Un salto bruto de  $124,94 \text{ m}$  la convierte en la primera central hidroeléctrica en cuanto a salto bruto del río Mijares.

Los distintos escenarios por evaluar serán la progresión desde un caudal ecológico mínimo nulo hasta el régimen natural del río en torno a  $4 \text{ m}^3/\text{s}$ .

- 1) Caudal ecológico =  $0 \text{ m}^3/\text{s}$
- 2) Caudal ecológico =  $0,4 \text{ m}^3/\text{s}$
- 3) Caudal ecológico =  $1 \text{ m}^3/\text{s}$

- 4) Caudal ecológico = 2 m<sup>3</sup>/s
- 5) Caudal ecológico = 3 m<sup>3</sup>/s
- 6) Caudal ecológico = 4 m<sup>3</sup>/s

## 5.2 Procesamiento de datos

### Escenario 1: Caudal ecológico= 0 m<sup>3</sup>/s

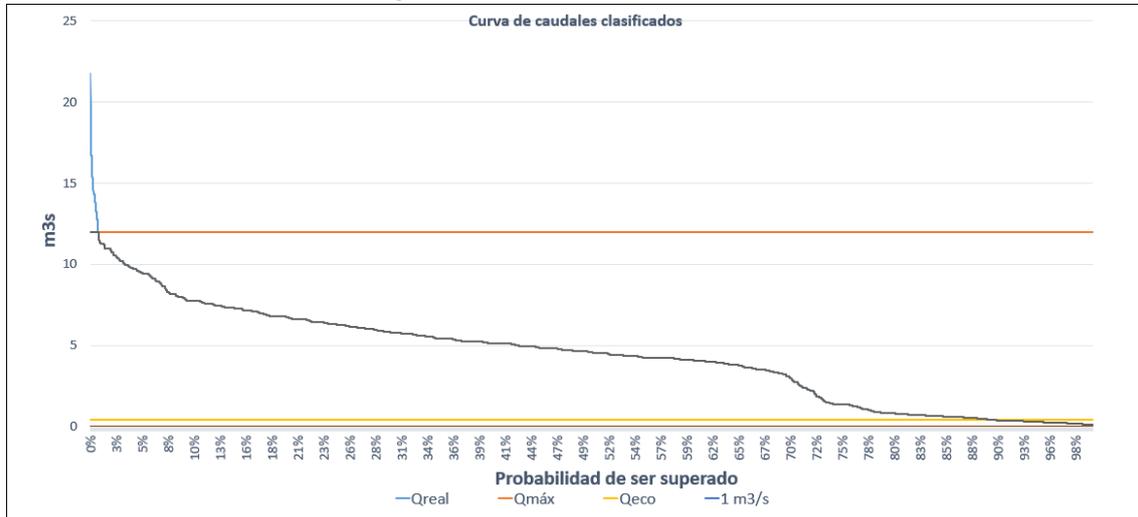


Figura 71. Caudal ecológico mínimo de 0 m<sup>3</sup>/s

En el caso donde el caudal ecológico es cero es el menos beneficioso para el ecosistema pues drena el río de agua, sin embargo, para la central hidroeléctrica es la situación de máximo aprovechamiento.

### Escenario 2: Caudal ecológico = 0,4 m<sup>3</sup>/s

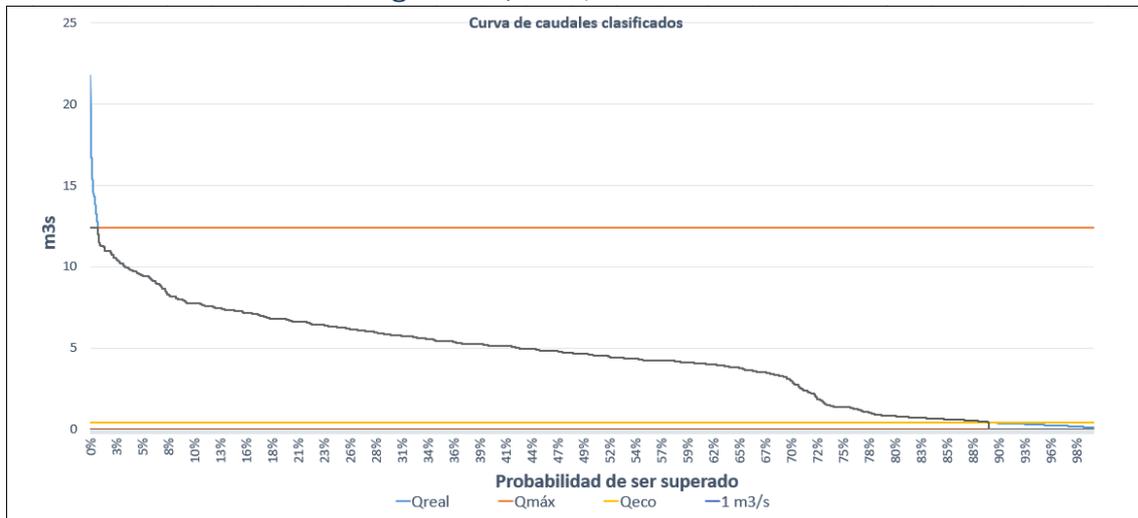


Figura 72. Caudal ecológico mínimo de 0,4 m<sup>3</sup>/s

En el escenario del caudal ecológico actual se aprecia que el régimen de caudales turbinables empieza a reducirse, situación que se acrecienta conforme se aumenta el caudal ecológico mínimo.

### Escenario 3: Caudal ecológico = 1 m<sup>3</sup>/s

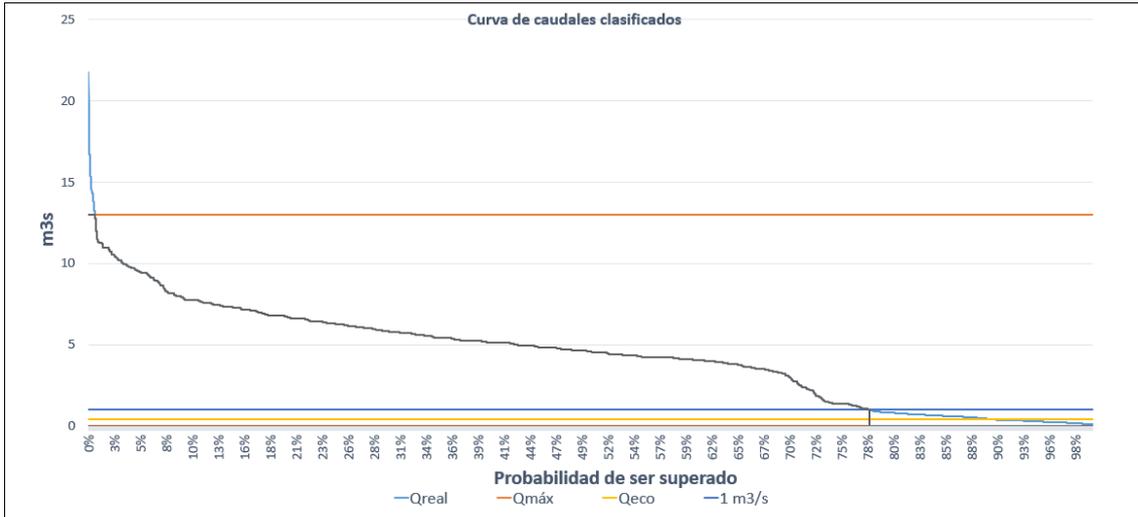


Figura 73. Caudal ecológico mínimo de 1 m³/s

Si se aumenta hasta 1 m³/s el régimen se reduce aún más como se ha mencionado.

Escenario 4: Caudal ecológico= 2 m³/s

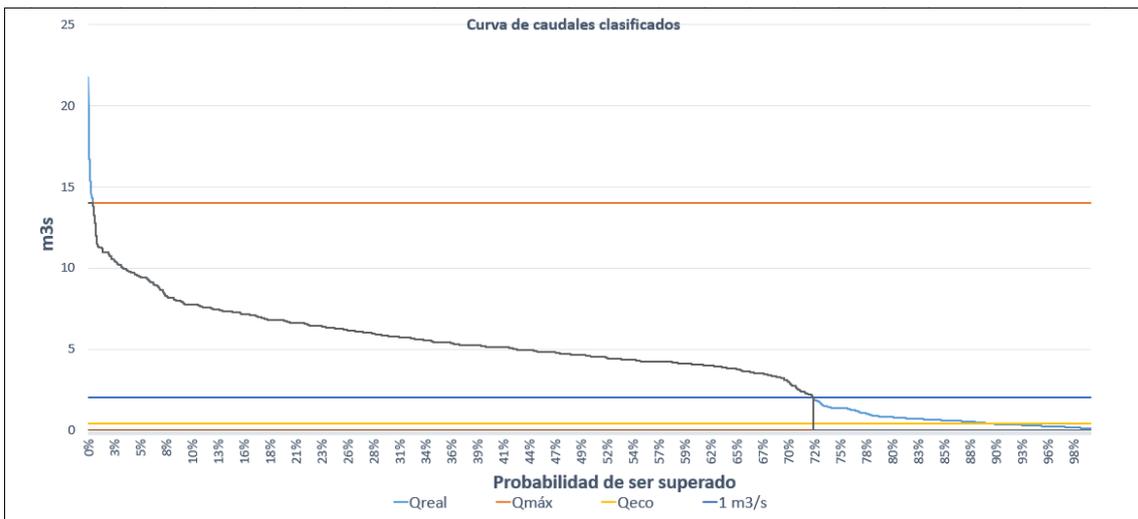


Figura 74. Caudal ecológico mínimo de 2 m³/s

Progresivamente el régimen de caudales turbinables se reduce.

Escenario 5: Caudal ecológico= 3 m³/s

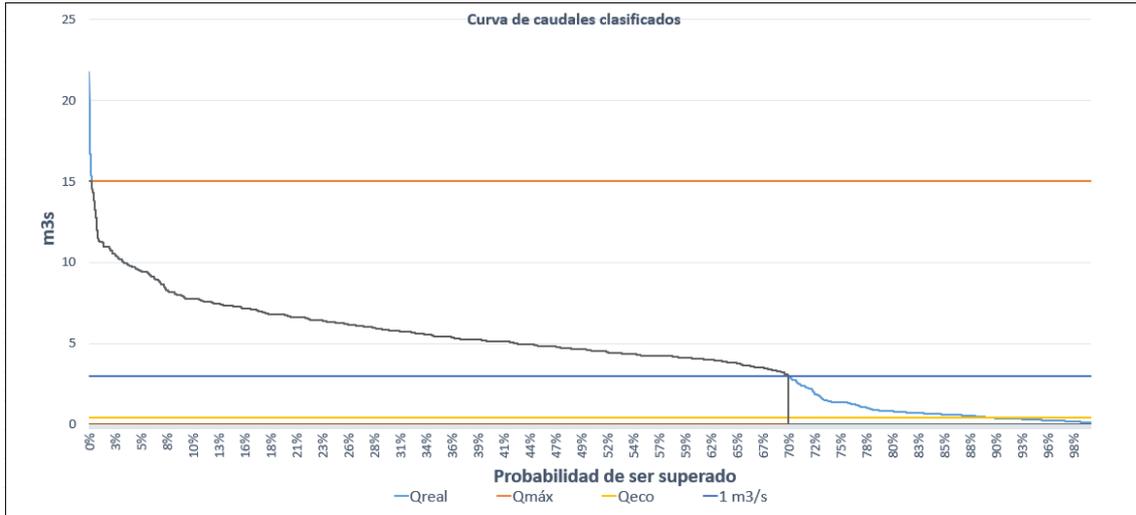


Figura 75. Caudal ecológico mínimo de 3 m<sup>3</sup>/s

### Escenario 6: Caudal ecológico = 4 m<sup>3</sup>/s

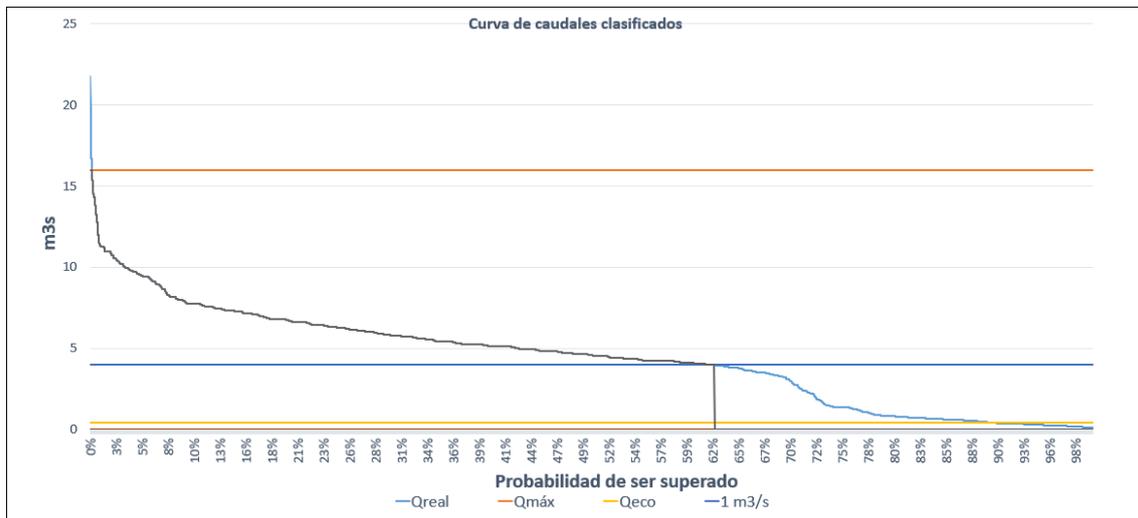


Figura 76. Caudal ecológico mínimo de 4 m<sup>3</sup>/s

Con un régimen natural en el río Mijares, es decir cuando circula por el río 4 m<sup>3</sup>/s es la situación más desfavorable para la central, pero posiblemente más beneficiosa para el río, cosa que se comprobará observando el hábitat potencial útil de las especies objetivo en cada tramo de río.

### 5.3 Cálculo de la potencia

Una vez se ha obtenido el régimen de caudales turbinables, para cada uno se calcula la potencia media diaria que se ha producido, mediante la formula

$$Pe(kW) = 9,81 * \eta_t * \eta_g * \eta_m * Q * H$$

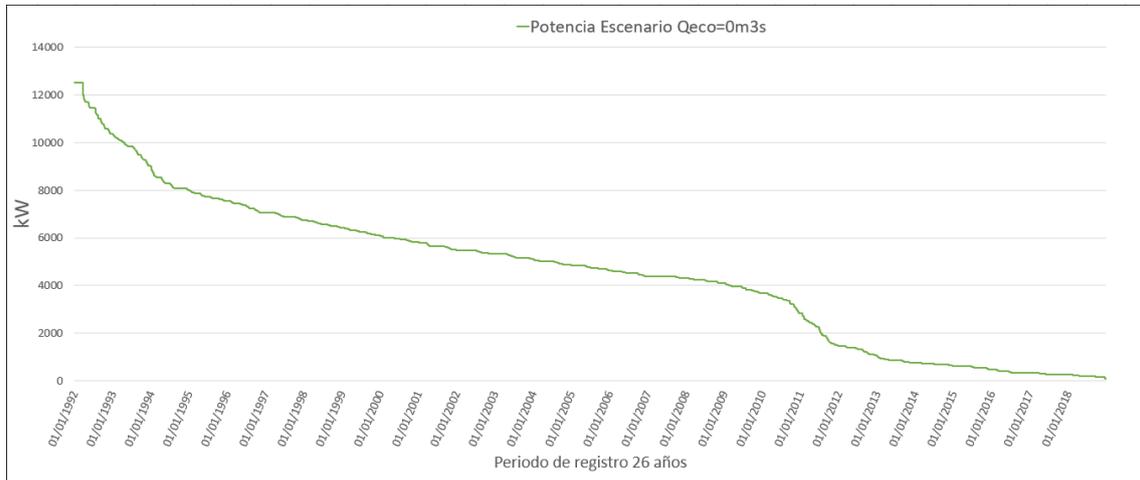


# ADECUACIÓN DE LA PRODUCCIÓN ENERGÉTICA DE LAS CENTRALES HIDROELÉCTRICAS AL CUMPLIMIENTO DE LOS CAUDALES ECOLÓGICOS EN LA DEMARCACIÓN DEL JÚCAR. RÍO MIJARES

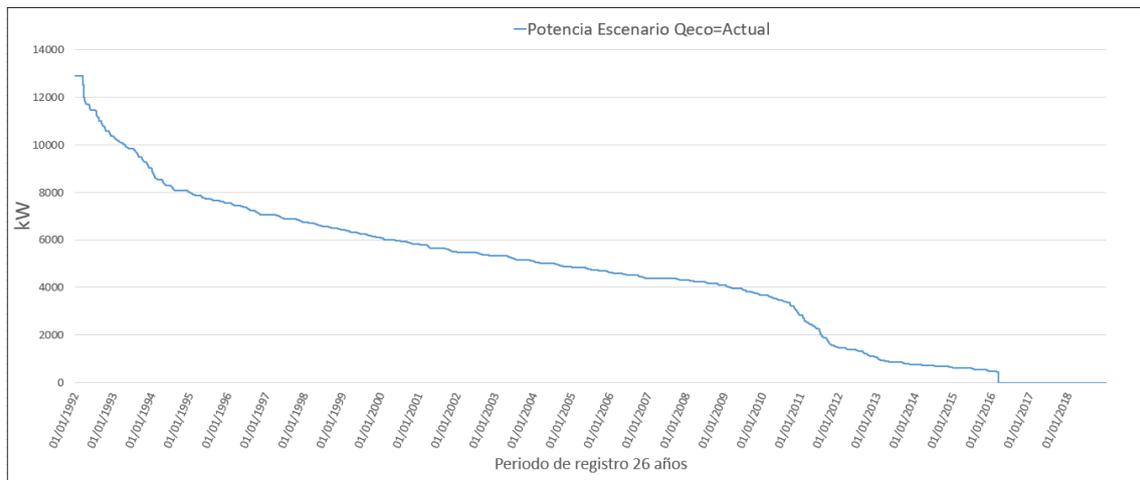


Que nos permite obtener los kW medios diarios estadísticos que se ven reflejados en las siguientes figuras para cada escenario evaluado:

Escenario 1: Caudal ecológico= 0 m<sup>3</sup>/s



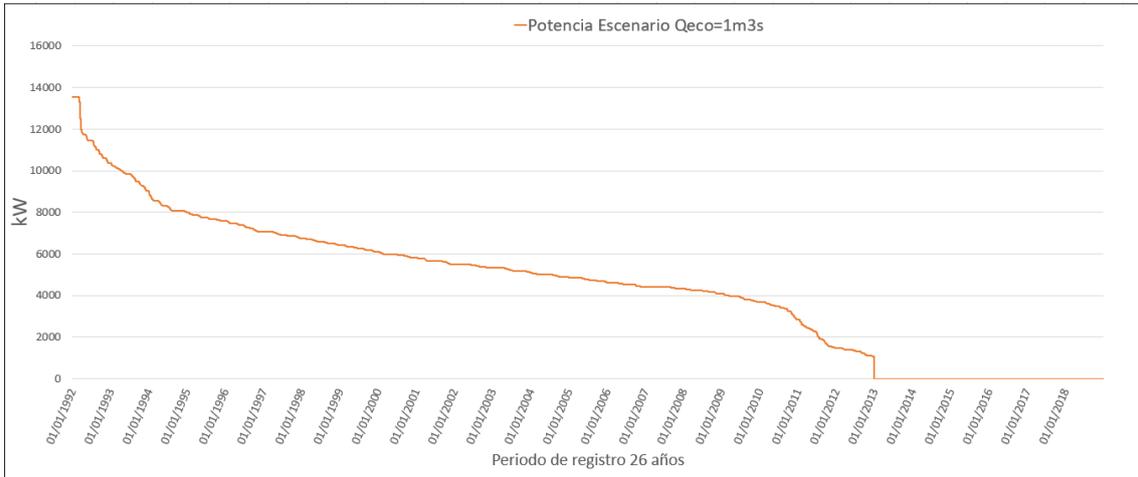
Escenario 2: Caudal ecológico = 0,4 m<sup>3</sup>/s



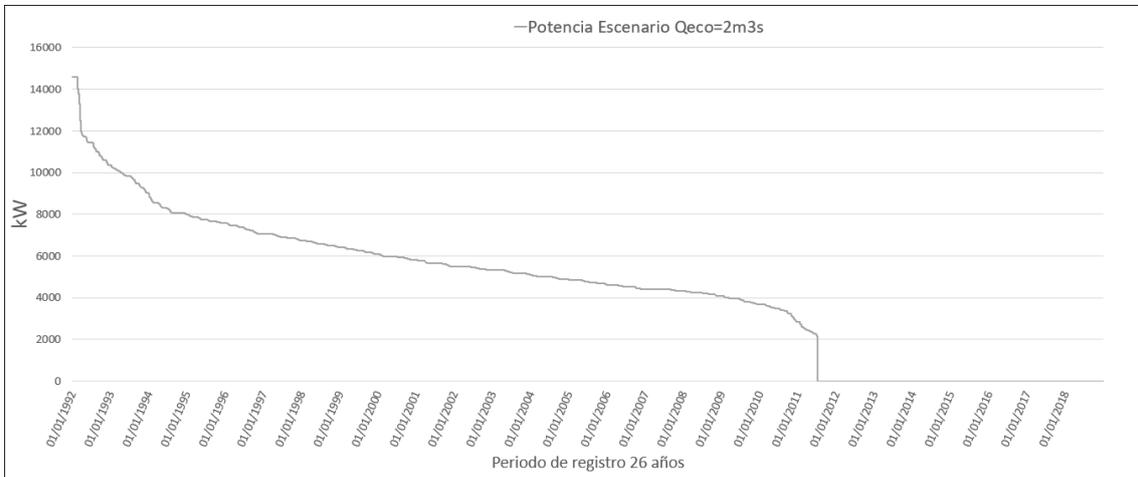
Escenario 3: Caudal ecológico = 1 m<sup>3</sup>/s



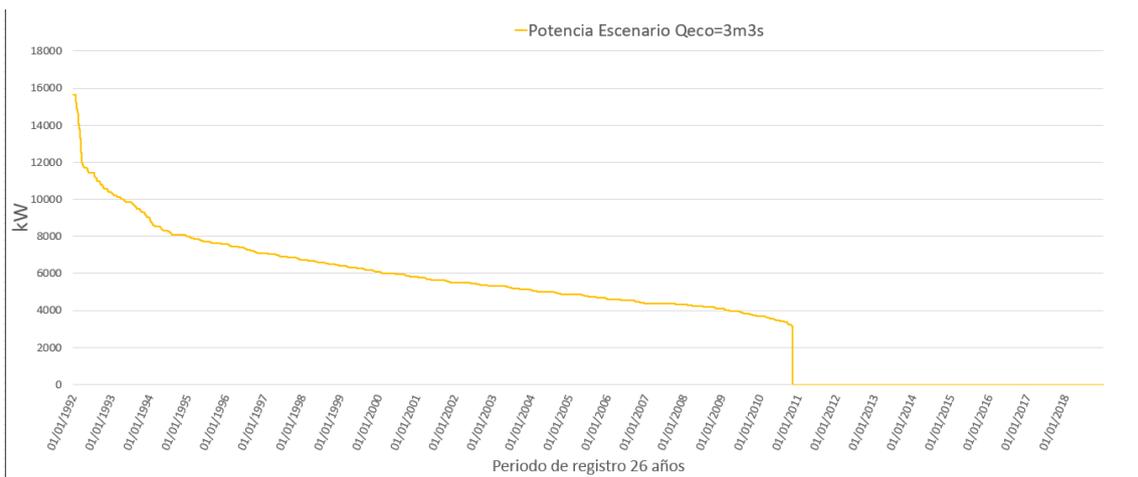
# ADECUACIÓN DE LA PRODUCCIÓN ENERGÉTICA DE LAS CENTRALES HIDROELÉCTRICAS AL CUMPLIMIENTO DE LOS CAUDALES ECOLÓGICOS EN LA DEMARCACIÓN DEL JÚCAR. RÍO MIJARES



Escenario 4: Caudal ecológico= 2 m<sup>3</sup>/s



Escenario 5: Caudal ecológico= 3 m<sup>3</sup>/s



Escenario 6: Caudal ecológico = 4 m<sup>3</sup>/s



# ADECUACIÓN DE LA PRODUCCIÓN ENERGÉTICA DE LAS CENTRALES HIDROELÉCTRICAS AL CUMPLIMIENTO DE LOS CAUDALES ECOLÓGICOS EN LA DEMARCACIÓN DEL JÚCAR. RÍO MIJARES



En el caso del régimen natural se presenta el caso más drástico para la central con la máxima reducción de la potencia instantánea media diaria.

## 5.4 Cálculo de la producción de energía

Una vez obtenida la potencia media diaria de cada escenario el objetivo es el de hallar los GWh/año, para ello se considera la hipótesis de que la central turbine las 24 horas al día, por lo que habrá que el proceso de cálculo constará de:

- 1) Se suma de todas las potencias diarias de cada escenario, resultado en kW
- 2) Se multiplica por 24h para obtener la producción energética de los 26 años, resultado en kWh
- 3) Se divide entre 26 años para obtener la máxima producción energética media anual.

Se divide entre 1000 para convertir el resultado a la unidad de GWh/año

## 5.5 Energía media anual

En la siguiente tabla se muestran la producción eléctrica según el caudal ecológico propuesto en cada escenario.

Escenarios de Qeco ( $m^3/s$ )	GWh/año
0	41,49
0,4	41,25
1	40,54
2	39,88
3	39,33

4

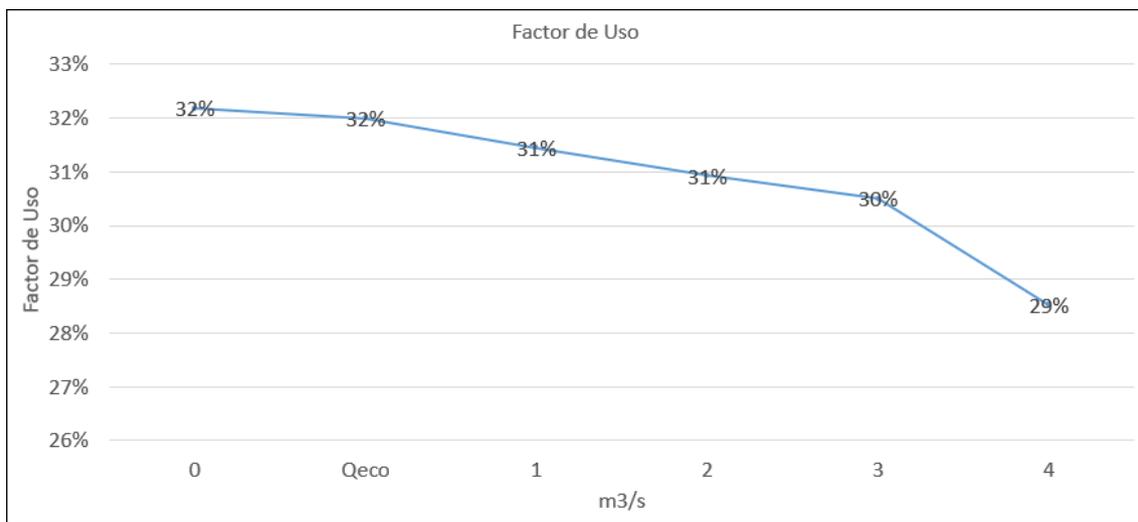
36,77

### 5.6 Factor de uso

El factor de uso de esta central, la cual tiene una potencia instalada de 14,72 MW y por tanto la energía máxima producible es, por tanto:

$$E = 14,72 \text{ MW} * 8760 \text{ h/año} * \frac{1}{1000} \text{ GW/MW} = 128,95 \text{ GWh/año}$$

Es en cada escenario la división entre la energía generada y el máximo posible, siendo los resultados mostrados en la siguiente figura:



### 5.7 Resultados reflejados en la pérdida económica debido al decrecimiento en la producción

En la central de Onda, gracias a los datos proporcionados por la CHJ, se conoce que el MWh de energía se vendía a 45,55 € en 2013, a 52,05 € en 2014 y a 54,86 € en 2015, con lo que nos proporciona una media de precio de venta de 50,82 € que es el valor que es empleado para estimar las ganancias y por tanto pérdidas de cada escenario.

Luego por en cada escenario las pérdidas y por tanto la reducción de ingresos por el aumento de los caudales ecológicos son reflejados en la siguiente tabla.

Onda/Escenarios	Ganancias	Pérdidas	Reducción de ingresos
0 m <sup>3</sup> /s	1.105.377,30 €	- €	0,00%



ADECUACIÓN DE LA PRODUCCIÓN ENERGÉTICA DE LAS CENTRALES HIDROELÉCTRICAS AL CUMPLIMIENTO DE LOS CAUDALES ECOLÓGICOS EN LA DEMARCACIÓN DEL JÚCAR. RÍO MIJARES



0,95 m <sup>3</sup> /s	1.101.100,53 €	4.276,77 €	0,39%
1 m <sup>3</sup> /s	1.087.057,03 €	18.320,26 €	1,66%
2 m <sup>3</sup> /s	1.071.469,80 €	33.907,50 €	3,07%
3 m <sup>3</sup> /s	1.061.733,10 €	43.644,20 €	3,95%
4 m <sup>3</sup> /s	1.045.713,69 €	59.663,61 €	5,40%

Tabla 17. Resultados de la central de Onda para cada escenario

Lo cual indica, que, para devolver al régimen natural, es decir 4 m<sup>3</sup>/s, al río en la toma de la central de Onda costaría a la empresa una estimación de 59.663,61 € en pérdidas.

## 5.8 Resultados

### 5.8.1 Resultados Centrales Hidroeléctricas

Para cada central, se ha realizado el mismo proceso obteniendo los resultados siguientes:

#### 5.8.1.1 Central hidroeléctrica Albentosa

Albentosa/Escenarios	Ganancias	Pérdidas	Reducción de ingresos
0 m <sup>3</sup> /s	1.393.433,94 €	- €	0,00%
0,31 m <sup>3</sup> /s (*)	1.393.433,94 €	- €	0,00%
1 m <sup>3</sup> /s (*)	1.393.433,94 €	- €	0,00%
2 m <sup>3</sup> /s	1.267.349,35 €	126.084,59 €	9%
3 m <sup>3</sup> /s	773.002,67 €	620.431,27 €	45%
4 m <sup>3</sup> /s	421.310,67 €	972.123,27 €	70%

Tabla 18. Resultados de la central de Albentosa para cada escenario

(\*) En el proceso de cálculo se obtiene que no hay reducciones para estos casos y por tanto se cuentan como cero pérdidas.

#### 5.8.1.2 Central hidroeléctrica Los Villanuevas



## ADECUACIÓN DE LA PRODUCCIÓN ENERGÉTICA DE LAS CENTRALES HIDROELÉCTRICAS AL CUMPLIMIENTO DE LOS CAUDALES ECOLÓGICOS EN LA DEMARCACIÓN DEL JÚCAR. RÍO MIJARES



Los Villanuevas /Escenarios	Ganancias	Pérdidas	Reducción de ingresos
0 m <sup>3</sup> /s	569.558,65 €	- €	0,00%
0,4 m <sup>3</sup> /s (*)	572.04,92 €	- €	0,00%
1 m <sup>3</sup> /s (*)	575.131,07 €	- €	0,00%
2 m <sup>3</sup> /s	555.259,59 €	14.299,06 €	3%
3 m <sup>3</sup> /s	407.073,57 €	162.485,09 €	29%
4 m <sup>3</sup> /s	240.018,81 €	329.539,84 €	58%

Tabla 19. Resultados de la central de Los Villanuevas para cada escenario

(\*) En el proceso de cálculo se obtiene que no hay reducciones para estos casos y por tanto se cuentan como cero pérdidas.

### 5.8.1.3 Central hidroeléctrica Los Cantos

Los Cantos /Escenarios	Ganancias	Pérdidas	Reducción de ingresos
0 m <sup>3</sup> /s	836.219,20 €	- €	0,00%
0,4 m <sup>3</sup> /s (*)	836.219,20 €	- €	0,00%
1 m <sup>3</sup> /s (*)	836.219,20 €	- €	0,00%
2 m <sup>3</sup> /s (*)	836.219,20 €	- €	0,00%
3 m <sup>3</sup> /s	726.962,51 €	162.485,09 €	13%
4 m <sup>3</sup> /s	470.385,55 €	329.539,84 €	44%

Tabla 20. Resultados de la central de Los Cantos para cada escenario

(\*) En el proceso de cálculo se obtiene que no hay reducciones para estos casos y por tanto se cuentan como cero pérdidas.

### 5.8.1.4 Central hidroeléctrica Cirat



ADECUACIÓN DE LA PRODUCCIÓN ENERGÉTICA DE LAS CENTRALES HIDROELÉCTRICAS AL CUMPLIMIENTO DE LOS CAUDALES ECOLÓGICOS EN LA DEMARCACIÓN DEL JÚCAR. RÍO MIJARES



<i>Cirat /Escenarios</i>	<i>Ganancias</i>	<i>Pérdidas</i>	<i>Reducción de ingresos</i>
<i>0 m<sup>3</sup>/s</i>	2.010.164,03 €	- €	0,00%
<i>0,4 m<sup>3</sup>/s</i>	1.998.638,59 €	11.525,45 €	0,57%
<i>1 m<sup>3</sup>/s</i>	1.964.151,39 €	46.012,65 €	2,29%
<i>2 m<sup>3</sup>/s</i>	1.932.043,35 €	78.120,69 €	3,89%
<i>3 m<sup>3</sup>/s</i>	1.905.272,36 €	104.891,67 €	5,22%
<i>4 m<sup>3</sup>/s</i>	1.781.627,62 €	228.536,42 €	11,37%

Tabla 21. Resultados de la central de Cirat para cada escenario

5.8.1.5 Central hidroeléctrica Vallat

<i>Vallat /Escenarios</i>	<i>Ganancias</i>	<i>Pérdidas</i>	<i>Reducción de ingresos</i>
<i>0 m<sup>3</sup>/s</i>	1.794.810,58 €	- €	0,00%
<i>0,56 m<sup>3</sup>/s</i>	1.778.855,86 €	15.954,71 €	0,89%
<i>1 m<sup>3</sup>/s</i>	1.751.773,00 €	43.037,57 €	2,40%
<i>2 m<sup>3</sup>/s</i>	1.721.639,69 €	73.170,88 €	4,08%
<i>3 m<sup>3</sup>/s</i>	1.697.938,30 €	96.872,28 €	5,40%
<i>4 m<sup>3</sup>/s</i>	1.600.691,51 €	194.119,06 €	10,82%

Tabla 22. Resultados de la central de Vallat para cada escenario

5.8.1.6 Central hidroeléctrica Ribesalbes

<i>Ribesalbes /Escenarios</i>	<i>Ganancias</i>	<i>Pérdidas</i>	<i>Reducción de ingresos</i>
<i>0 m<sup>3</sup>/s</i>	1.315.383,89 €	- €	0,00%
<i>0,63 m<sup>3</sup>/s (*)</i>	1.310.294,59 €	5.089,29 €	0,39%
<i>1 m<sup>3</sup>/s (*)</i>	1.293.583,03 €	21.800,86 €	1,66%
<i>2 m<sup>3</sup>/s</i>	1.275.034,43 €	40.349,46 €	3,07%



ADECUACIÓN DE LA PRODUCCIÓN ENERGÉTICA DE LAS CENTRALES HIDROELÉCTRICAS AL CUMPLIMIENTO DE LOS CAUDALES ECOLÓGICOS EN LA DEMARCACIÓN DEL JÚCAR. RÍO MIJARES



3 m <sup>3</sup> /s	1.263.447,89 €	51.936,00 €	3,95%
4 m <sup>3</sup> /s	1.244.385,01 €	70.998,88 €	5,40%

Tabla 23. Resultados de la central de Ribesalbes para cada escenario

5.8.1.7 Central hidroeléctrica Colmenar

Colmenar /Escenarios	Ganancias	Pérdidas	Reducción de ingresos
0 m <sup>3</sup> /s	1.105.377,30 €	- €	0,00%
0,63 m <sup>3</sup> /s (**)	1.101.100,53 €	4.276,77 €	0,39%
1 m <sup>3</sup> /s	1.087.057,03 €	18.320,26 €	1,66%
2 m <sup>3</sup> /s	1.071.469,80 €	33.907,50 €	3,07%
3 m <sup>3</sup> /s	1.061.733,10 €	43.644,20 €	3,95%
4 m <sup>3</sup> /s	1.045.713,69 €	59.663,61 €	5,40%

Tabla 24. Resultados de la central de Colmenar para cada escenario

(\*\*) El caudal mínimo es indirecto puesto que deriva agua de la central de Ribesalbes, luego el caudal mínimo que afecte a la central de Ribesalbes afecta también a la de Colmenar.

5.8.1.8 Central hidroeléctrica Onda

Onda/Escenarios	Ganancias	Pérdidas	Reducción de ingresos
0 m <sup>3</sup> /s	115.239,29 €	- €	0,00%
0,95 m <sup>3</sup> /s	110.280,95 €	4.958,34 €	4,30%
1 m <sup>3</sup> /s	109.861,36 €	5.377,93 €	4,67%
2 m <sup>3</sup> /s	95.915,43 €	19.323,86 €	16,77%
3 m <sup>3</sup> /s	74.859,68 €	40.379,61 €	35,04%
4 m <sup>3</sup> /s	55.985,15 €	59.254,14 €	51,42%

Tabla 25. Resultados de la central de Onda para cada escenario

5.8.1.9 Central hidroeléctrica Hidro



Hidro /Escenarios	Ganancias	Pérdidas	Reducción de ingresos
0 m <sup>3</sup> /s	107.044,64 €	- €	0,00%
0,48 m <sup>3</sup> /s	105.486,97 €	4.276,77 €	0,39%
1 m <sup>3</sup> /s	102.374,80 €	18.320,26 €	1,66%
2 m <sup>3</sup> /s	89.479,98 €	33.907,50 €	3,07%
3 m <sup>3</sup> /s	69.853,07 €	43.644,20 €	3,95%
4 m <sup>3</sup> /s	52.286,58 €	59.663,61 €	5,40%

Tabla 26. Resultados de la central de Hidro para cada escenario

#### 5.8.1.10 Central hidroeléctrica Villarreal

Villarreal/Escenarios	Ganancias	Pérdidas	Reducción de ingresos
0 m <sup>3</sup> /s	59.938,63 €	- €	0,00%
0,2 m <sup>3</sup> /s (*)	59.938,63 €	- €	0,00%
1 m <sup>3</sup> /s	57.323,80 €	2.614,83 €	4,36%
2 m <sup>3</sup> /s	50.103,46 €	9.835,16 €	16,41%
3 m <sup>3</sup> /s	39.113,56 €	20.825,06 €	34,74%
4 m <sup>3</sup> /s	29.277,37 €	30.661,25 €	51,15%

Tabla 27. Resultados de la central de Villarreal para cada escenario

(\*) En el proceso de cálculo se obtiene que no hay reducciones para estos casos y por tanto se cuentan como cero pérdidas.

Dados los resultados se evalúan los resultados y se proponen una solución.

#### 5.8.2 Resultados según el tramo.

Las centrales se pueden evaluar por tramos debido a la titularidad conjunta por parte de Iberdrola, S.A.

Por lo tanto, se evaluarán las centrales individualmente y agrupándolas en los siguientes tramos:

- Cuenca alta: aguas arriba del embalse de Arenós

- Cuenca media: entre los embalses de Arenós y Sichar
- Cuenca baja: aguas abajo del embalse de Arenós

### 5.8.2.1 Cuenca alta

En la cuenca alta se estudian las centrales de Albentosa, Los Villanuevas y Los Cantos, donde claramente la central más importante es la de Albentosa que posee un salto bruto de 124,8 m y una potencia instalada de 11,84 MW frente a los 48,5 metros y 3,6 MW instalados de la central de Los Villanuevas o a los 62,5 m y los 4,8 MW instalados de la central de Los Cantos.

Por lo tanto, la central más afectada y que más pérdidas supone es la central de Albentosa con una reducción de ingresos del 70% y de aproximadamente 1 millón de euros en el caso de implantar el régimen de caudales naturales. Sin embargo, en las centrales de Los Villanuevas y de Los Cantos implantar el régimen de caudal natural supondría aproximadamente 330.000 € y 370.000 € respectivamente, lo que hace un total de aproximadamente 1.7 millones de euros en implantar un caudal ecológico de 4 m<sup>3</sup>/s en la cuenca alta del Mijares, es decir, una reducción de ingresos del 60 %.

Es claro además que, en los primeros tres escenarios, el de caudal ecológico de 0 m<sup>3</sup>/s, el actual y el de 1 m<sup>3</sup>/s no supone pérdidas en las centrales hidroeléctricas pues el agua es sobrante. A partir de 2 m<sup>3</sup>/s comienzan las pérdidas que, aunque supongan una reducción de ingresos de solo el 5% eso implica la pérdida de aproximadamente 140.000 €. Es a partir de 3 m<sup>3</sup>/s en toda la cuenca donde las pérdidas ascienden a casi 900.000 € lo que implica una reducción en los beneficios de todas las centrales de toda la cuenca alta del 32%

Todos los escenarios se pueden apreciar en las siguientes gráficas.

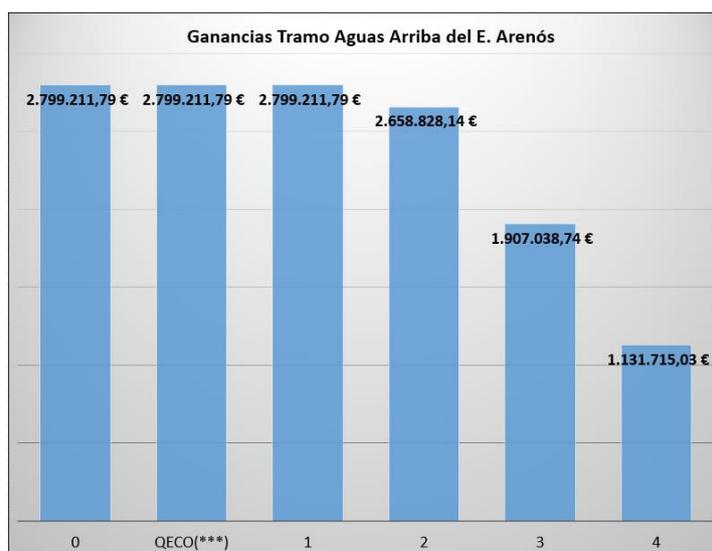


Figura 77. Ganancias cuenca alta

(\*\*\*) Caudal ecológico establecido correspondiente a cada central.

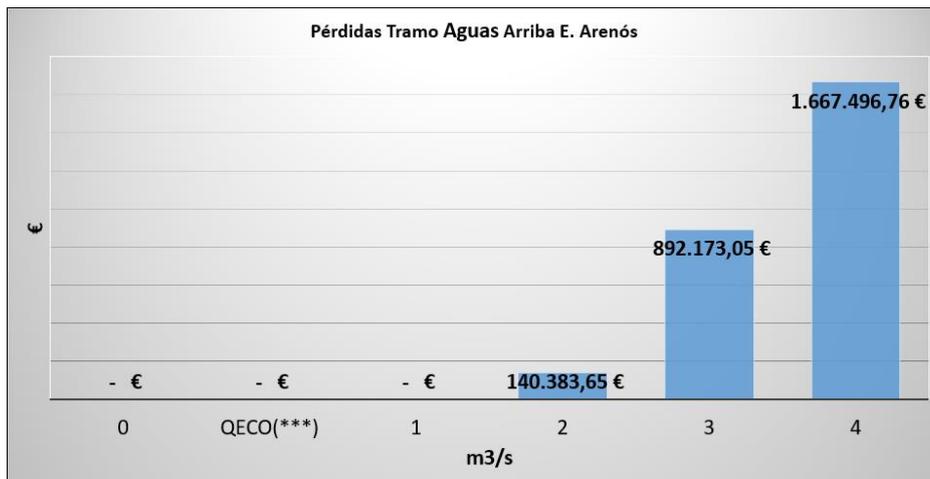


Figura 78. Pérdidas cuenca alta

(\*\*\*) Caudal ecológico establecido correspondiente a cada central.

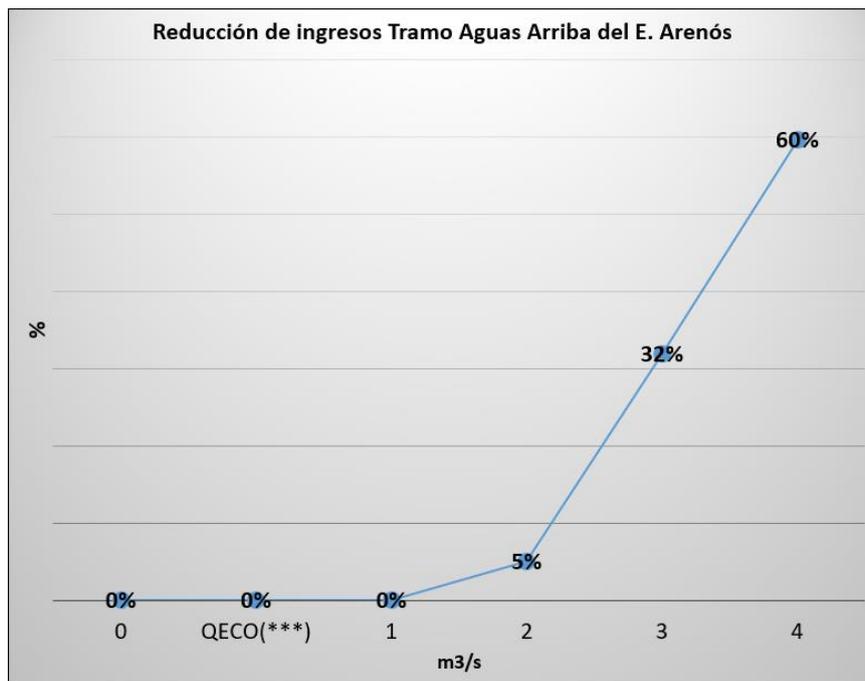


Figura 79. Reducción de Ingresos cuenca alta

(\*\*\*) Caudal ecológico establecido correspondiente a cada central.

### 5.8.2.2 Cuenca media



En la cuenca media, físicamente se sitúan las centrales de Cirat, Vallat y Ribesalbes, siendo las centrales de Cirat y de Vallat de las más importantes del río Mijares. Además, la central de Colmenar al tomar agua directamente de los caudales turbinados de la central de Ribesalbes se tendrá en cuenta como perteneciente a la cuenca media del río Mijares.

En el caso de las centrales de la cuenca media es diferente de la cuenca alta pues las pérdidas se empiezan a notar desde la implantación del caudal ecológico actual, la potencia instalada en estas centrales es mayor que en la cuenca alta pero las pérdidas son mucho menos notables y la reducción de ingresos máxima que se nota es del 11,37 % que supone pérdidas de alrededor de 230.000 € al establecer el régimen natural en la toma de la central de Cirat. Las centrales de Cirat y Vallat tienen una potencia instalada de 14,72 y 15 MW respectivamente con lo que por consecuencia las ganancias potenciales y las pérdidas por la implantación de mayores caudales ecológicos son lógicamente mayores.

En las centrales de Cirat y de Vallat hay un cambio de curvatura evidente, del aumento de 2 m<sup>3</sup>/s a 3 m<sup>3</sup>/s hay unas pérdidas de aproximadamente 25.000 € en cada una de las centrales, sin embargo del aumento de 3 m<sup>3</sup>/s a 4 m<sup>3</sup>/s las pérdidas ascienden a 110.000 € de media, lo que significa que aumentar de 3 m<sup>3</sup>/s a 4 m<sup>3</sup>/s en vez de 2 m<sup>3</sup>/s a 3 m<sup>3</sup>/s supone un aumento de 4,4 veces las pérdidas de uno a otro.

En la central de Ribesalbes se desprecia el volumen retornado al río, con lo que ambas centrales, Ribesalbes y Colmenar, tienen la misma curva de caudales clasificados con lo que la reducción de ingresos en ambas centrales será la misma, sin embargo las pérdidas de la central de Ribesalbes serán mayores pues tiene mayor potencia instalada, 7,04 MW frente a 5,6 MW lo que supondrá una diferencia de 11.000 € cuando al aumentar al régimen natural del caudal ecológico que afecta a ambas centrales estas sufran una reducción de ingresos del 5,4%.

Analizando la cuenca media resalta que los picos de pérdidas se producen al aumentar de los caudales ecológicos actuales a 1 m<sup>3</sup>/s, de 1 a 2 m<sup>3</sup>/s y sobre todo al aumentar de 3 a 4 m<sup>3</sup>/s lo cual supone pérdidas de 256.000 €. Todos los escenarios se pueden apreciar en las siguientes figuras.



Figura 80. Reducción de Ingresos cuenca media.

(\*\*\*) Caudal ecológico establecido correspondiente a cada central.



Figura 81. Reducción de Ingresos cuenca media.

(\*\*\*) Caudal ecológico establecido correspondiente a cada central.



Figura 82. Reducción de Ingresos cuenca media

(\*\*\*) Caudal ecológico establecido correspondiente a cada central.

### 5.8.2.3 Cuenca baja

En la cuenca media se sitúan las centrales de Onda, Hidro y Villarreal. Toman agua de masas de agua muy modificadas, las masas de agua 10.10, 10.11 y 10.11 es decir desde el embalse de Sichar hasta el delta del Mijares están clasificadas como aguas muy modificadas y se calcula que la reducción de ingresos en las centrales es de alrededor del 51%, pero dado a que la potencia instalada en estas centrales no es mayor a 1 MW, 0,9 MW, 0,64 MW y 0,472 MW en Onda, Hidro y Villarreal respectivamente las pérdidas monetarias son estimadas en 144.000 € en toda la cuenca, lo que supone que mejorar el estado del río hasta el régimen natural aguas abajo del embalse de Sichar supondría un coste de 50.000 € menor a implantar un caudal ecológico de 4 m<sup>3</sup>/s en la toma de la central de Vallat.

En todas las centrales las pérdidas empiezan a notarse al aumentar de 1 m<sup>3</sup>/s a 2 m<sup>3</sup>/s el caudal ecológico, aunque la reducción de ingresos es 4 veces mayor, del 4% al 16%, esto supone pérdidas de alrededor de 30.000€ en toda la cuenca. Finalmente, la visión general de la cuenca baja del río Mijares se puede apreciar en las siguientes figuras.



Figura 83. Ganancias cuenca baja.

(\*\*\*) Caudal ecológico establecido correspondiente a cada central.

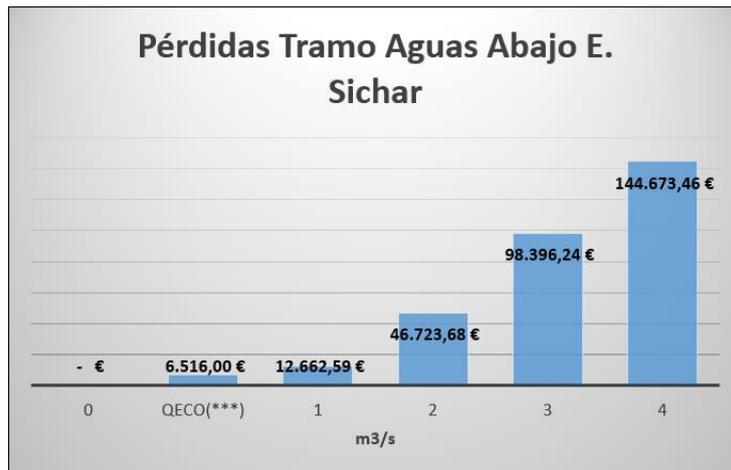


Figura 84. Pérdidas cuenca baja.

(\*\*\*) Caudal ecológico establecido correspondiente a cada central.

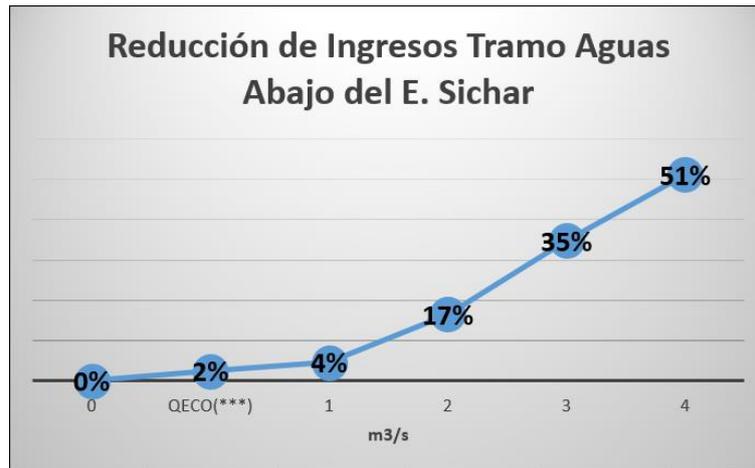


Figura 85. Reducción de Ingresos cuenca baja.

(\*\*\*) Caudal ecológico establecido correspondiente a cada central.

### 5.8.3 Resultados a lo largo de todo el río Mijares

El río Mijares, por lo tanto, cuenta con 10 centrales hidroeléctricas, 7 de ellas pudiéndose considerar minicentrales hidroeléctricas por poseer menos de 10 MW de potencia instalada, las tres centrales más importantes de la cuenca son las de Vallat, Cirat y Albentosa, en orden decreciente de la potencia instalada. Las centrales de Cirat y de Vallat se encuentran en la cuenca media, entre el embalse de Arenós y el de Schar, mientras que la de Albentosa es la primera central del río Situada aguas abajo del embalse de los Toranes en la cuenca alta del Mijares.

Comparando las gráficas de las pérdidas de los puntos anteriores se observa claramente que el tramo más afectado es el tramo de aguas arriba del embalse de Arenós, donde las centrales de Albentosa, Los Villanuevas, y Los Cantos se sitúan. Si bien es cierto que en el tramo de la cuenca alta no se notan pérdidas hasta que no se establece un caudal ecológico de 2 m<sup>3</sup>/s es cuando se instaura un caudal de 3 m<sup>3</sup>/s cuando las pérdidas aumentan en aproximadamente un 600% cuando las pérdidas se elevan de 140.000€ a casi 900.000€.

En segundo lugar, el tramo con más pérdidas estimadas es el de la cuenca media del Mijares, entre los embalses de Arenós y de Schar. El conjunto de las centrales de Cirat, Vallat y Ribesalbes-Colmenar suponen unas pérdidas que aumentan de forma más o menos lineal para las cuatro centrales. Se nota un aumento en las pérdidas al establecer un caudal mínimo de 4 m<sup>3</sup>/s dado que al pasar de 3 a 4 m<sup>3</sup>/s experimentan un aumento de cerca del 190% respecto de aumentar de 2 a 3 m<sup>3</sup>/s. Aunque se hablen de pérdidas de 550.000€ estas suponen un 9% en la reducción de ingresos respecto a las ganancias posibles si no existiese un caudal ecológico.

El último tramo, aguas abajo del embalse de Schar, se encuentra el conjunto de centrales que toman agua desde masas de agua muy modificadas y donde las pérdidas en son las menores ya que las centrales de Onda, de Hidro y de Villarreal tienen una potencia instalada menor a 1 MW. Las pérdidas por instaurar un régimen de caudales naturales en el tramo suponen unos 150.000€ frente a los 550.00€ de la cuenca media y el 1.700.000€ de la cuenca alta. Lo que no representa ni un 30% o 1% de las pérdidas de la cuenca media y alta respectivamente.

A pesar de que sea el tramo con menores pérdidas de los 3 es el segundo tramo en cuanto a reducción de ingresos pues esos 150.000 en pérdidas al instaurar un caudal ecológico de 4 m<sup>3</sup>/s suponen un 50% de las ganancias máximas estimadas, es decir el escenario donde el caudal ecológico sea nulo.

Finalmente se muestra, en las siguientes figuras, la evaluación del río como un global si todas las masas de agua tuvieran el mismo caudal ecológico.



Figura 86. Ganancias río Mijares.

(\*\*\*) Caudal ecológico establecido correspondiente a cada central.



Figura 87. Pérdidas río Mijares

(\*\*\*) Caudal ecológico establecido correspondiente a cada central.

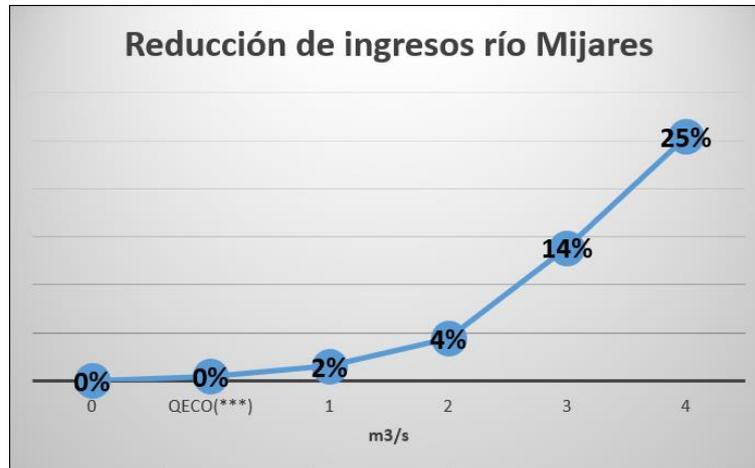


Figura 88. Reducción de Ingresos río Mijares

(\*\*\*) Caudal ecológico establecido correspondiente a cada central.

Las conclusiones que se obtienen de las figuras anteriores son que si se instaura el mismo caudal ecológico a lo largo de todo el río, las pérdidas serán considerables a partir de 3 m<sup>3</sup>/s en todo el río, esto supone unas pérdidas de 1.300.000€ para la titularidad, 3 veces superior a las pérdidas producidas por implantar un régimen de caudales mínimos igual a 2 m<sup>3</sup>/s. Como es evidente las mayores pérdidas se producen al instaurar la mayor exigencia de caudales ecológicos, al establecer un caudal ecológico de 4 m<sup>3</sup>/s es decir el régimen natural del río se producen pérdidas de aproximadamente 2.400.000 € lo que equivale a un cuarto de las ganancias máximas posibles estimadas que equivalen a las generadas cuando no existe un caudal ecológico.

## 5.9 Propuestas

En este apartado se expondrán la propuesta de régimen de caudales mínimos para cada masa de agua afectada por las centrales hidroeléctricas del Mijares, se seleccionarán los caudales ecológicos en función de la relación de los beneficios que aporta, como el aumento del hábitat potencial útil de las especies objetivo, y los perjuicios de estos a las centrales en forma de reducción de los beneficios económicos.

Los estudios del hábitat potencial útil en el río Mijares se han hecho sobre la trucha, en la cuenca alta del Mijares y sobre el Barbo en la cuenca media. Observando la localización de estas especies a lo largo del río vemos que la trucha solo se encuentra aguas arriba del embalse de Arenós junto con el barbo y el cacho, mientras que estas últimas dos especies piscícolas habitan todo el

río, por lo que las curvas de hábitat potencial útil de la trucha solo se tendrán en cuenta en la cuenca alta del Mijares.

En las siguientes figuras se muestra una comparativa de la estimación de las curvas de hábitat potencial útil, prolongadas para caudales superiores, y las pérdidas que supondrán para cada cuenca estos caudales mínimos a estudiar.

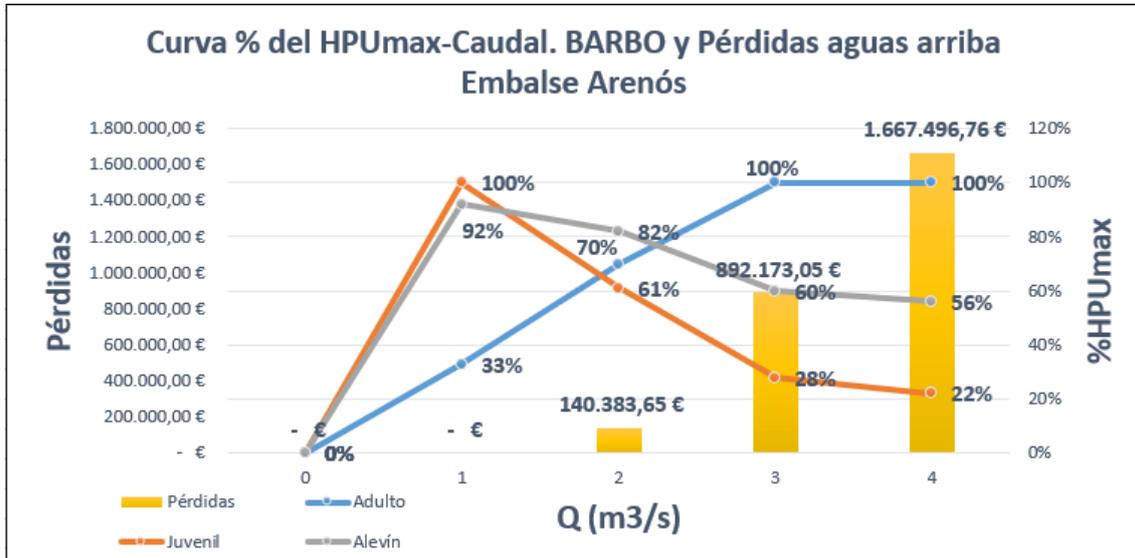


Figura 89. Evolución del %HPUmax frente a las Pérdidas de cada caudal. Barbo en Cauce Alto.

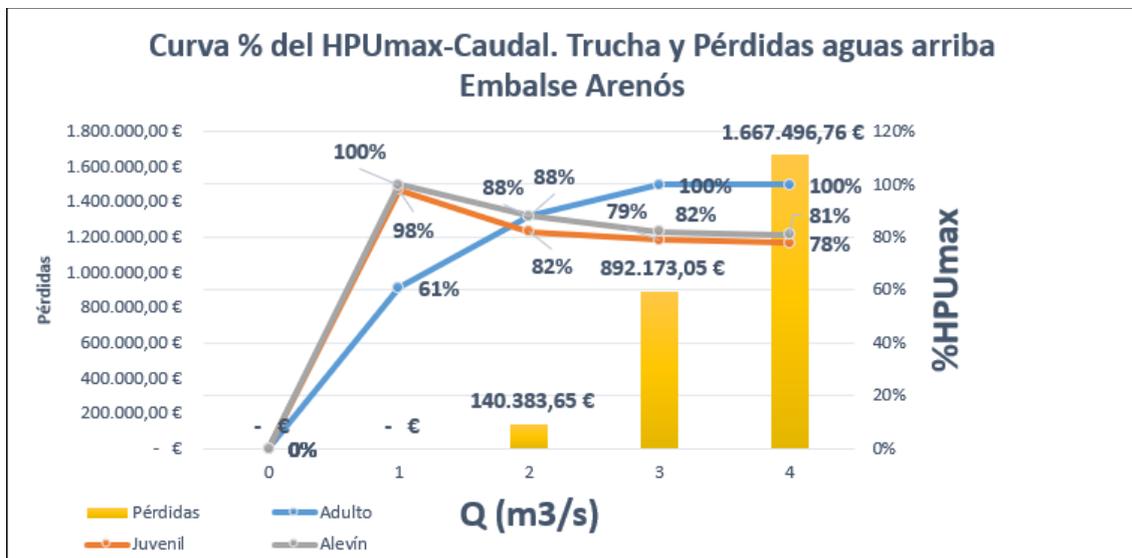


Figura 90. Evolución del %HPUmax frente a las Pérdidas de cada caudal. Trucha en Cauce Alto.

En las dos figuras anteriores se ve como las pérdidas económicas de las tres centrales del cauce alto del Mijares, es decir las centrales de Albentosa, Los Villanuevas y los Cantos, se empiezan a hacer notables una vez se implanta un caudal ecológico de 3 m³/s. Donde el hábitat potencial útil de la trucha se mantiene estable en un porcentaje muy alto para todos los estadios de madurez el del barbo se ve reducido drásticamente en los estadios más jóvenes, llegando a descender del 30% de hábitat potencial útil para el caso del barbo juvenil.

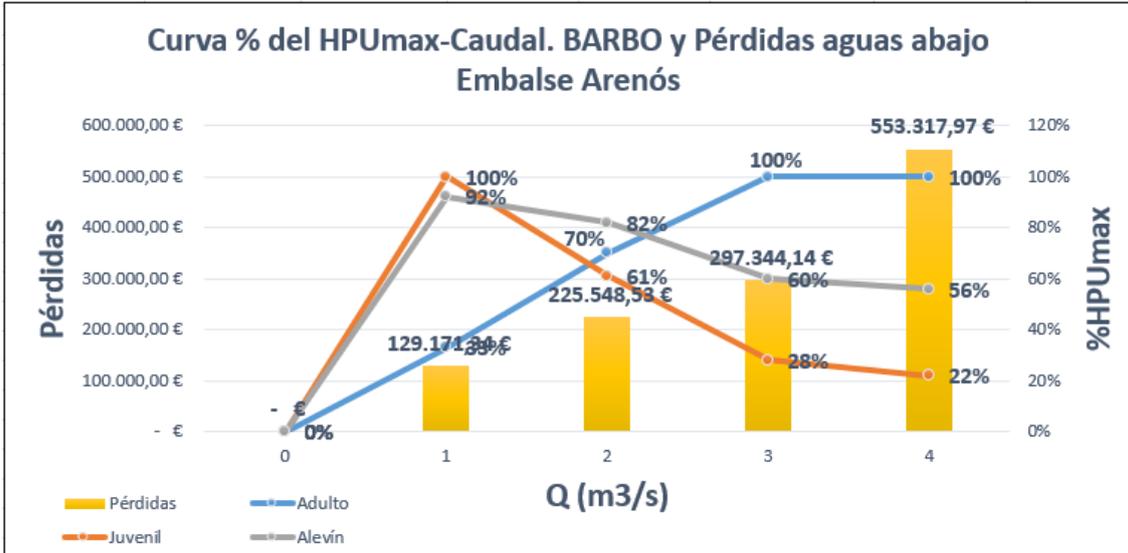


Figura 91. Evolución del %HPUmax frente a las Pérdidas de cada caudal. Barbo en Cauce Medio.

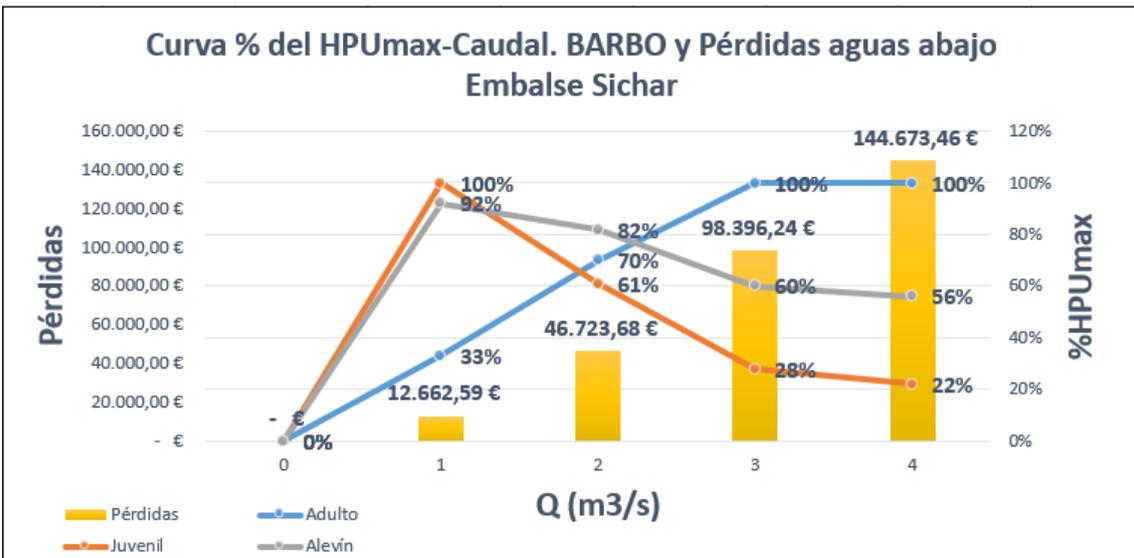


Figura 92. Evolución del %HPUmax frente a las Pérdidas de cada caudal. Barbo en Cauce Bajo.

Por lo tanto, se evalúa en cada central cada escenario y se analiza cuál es el menos perjudicial, basándose en la reducción de ingresos (relativo) y las pérdidas (absoluto).

#### Central hidroeléctrica de Albentosa

En el caso de la central de Albentosa, aumentar de 2 m<sup>3</sup>/s a 3 m<sup>3</sup>/s supone un coste de medio millón de euros en favor de un aumento del hábitat potencial útil de la trucha en un 12% y del barbo en un 18%, sin embargo, si se tratase de alcanzar el régimen natural del río el coste alcanzaría casi el millón sin mejoras en el estadio adulto de la trucha y en perjuicio del hábitat de los estadios más



jóvenes. Por lo que se propone establecer a partir del embalse de los Toranes que, actualmente cuenta con un caudal ecológico mínimo de 0,31 m<sup>3</sup>/s, un caudal mínimo de alrededor 2 m<sup>3</sup>/s con un coste aproximado de 120.000 € y una reducción de los ingresos del 9% en contra de una reducción del 45% si se implantase un mínimo de 3 m<sup>3</sup>/s.

Coste aproximado: 126.000 €

#### Central hidroeléctrica de Los Villanuevas

La central de Los Villanuevas, situada entre las poblaciones de Los Villanuevas y de Los Pertegaces empieza a notar pérdidas cuando se establece un caudal ecológico de 2 m<sup>3</sup>/s, estas pérdidas son mínimas pues suponen un 3% de reducción de ingresos, lo que significa que pierden aproximadamente 14.000 €. En el río Mijares aguas abajo del río Mora, donde están las tomas de las centrales de Los Villanuevas y los Cantos se establece un caudal mínimo alrededor de 3 m<sup>3</sup>/s, mejorando además y de la misma manera que en el tramo de la anterior central el hábitat de la trucha adulta y del barbo en un 12% y 18% respectivamente.

Coste aproximado: 163.000 €

#### Central hidroeléctrica de Los Cantos

En la central de Los Cantos, situada entre las poblaciones de La Monzona y Los Cantos en Teruel, tiene la toma de agua a unos 100 m del retorno de la central de Los Villanuevas, ello implica que tanto la central de Los Villanuevas como la de Los Cantos tienen la toma en la misma masa de agua por lo que también le afectará aumentar el caudal mínimo alrededor de 3 m<sup>3</sup>/s a cambio de ganar un 12% del hábitat potencial útil en la trucha adulta.

Coste aproximado 110.000 €

#### Central hidroeléctrica de Cirat

La Central de Cirat, situada cerca del poblado de Cirat, toma agua en la presa de Cirat lo que significa que afecta a la masa de agua aguas debajo del embalse de Arenós y aguas arriba de la presa de Vallat con un caudal mínimo actual de 0,4 m<sup>3</sup>/s.

Las pérdidas tienen una progresión ascendente lineal hasta alcanzar los 3 m<sup>3</sup>/s lo que supone alcanzar aproximadamente 100.000 €, es decir, un 5% de las ganancias máximas posibles. Si se pretende alcanzar el régimen natural de 4 m<sup>3</sup>/s supondría unas pérdidas de 230.000 € y una reducción de ingresos del 11%, con lo que la propuesta es establecer un caudal mínimo aproximado de 3 m<sup>3</sup>/s ganando un 18% de hábitat potencial útil hasta el 100% en el barbo adulto.

Coste aproximado: 104.000 €



### Central hidroeléctrica de Vallat

La central de Vallat tiene la toma en el embalse de Vallat, que está situado inmediatamente aguas debajo del retorno de la central de Cirat, se ve afectado por un caudal ecológico actual de 0,56 m<sup>3</sup>/s. Con la misma lógica que se ha seguido con la anterior central se propone establecer un caudal ecológico mínimo de alrededor de 3 m<sup>3</sup>/s supone una reducción de ingresos de 5,40% y un aumento del hábitat potencial útil del barbo hasta el 100%.

Coste aproximado: 97.000 €

### Central hidroeléctrica de Ribesalbes

La central de Ribesalbes, situada en la cola del embalse de Sichar, toma agua desde el embalse de Ribesalbes, esto implica que se ve afectada por un caudal mínimo actual de 0,63 m<sup>3</sup>/s. A diferencia de las centrales de Vallat o de Cirat, la central de Ribesalbes tiene una potencia de 7,04 MW, es decir, menos de la mitad de las otras dos. Las pérdidas, por tanto, serán acordes a que la potencia es mucho menor. Las pérdidas no sufren aumentos repentinos y el hecho de establecer un régimen natural en la masa de agua correspondiente supondría un coste de cerca del 5,4% de las ganancias máximas posibles. Se propone establecer, por tanto, desde la toma de la central de Ribesalbes hasta el embalse de Sichar un caudal mínimo de 3 m<sup>3</sup>/s ya que aumentar de 3 m<sup>3</sup>/s hasta 4m<sup>3</sup>/s no aumenta el hábitat potencial útil del barbo adulto, sino que, al contrario, reduce el hábitat de los estadios más jóvenes de la especie.

Coste aproximado: 52.000 €

### Central hidroeléctrica de Colmenar

La central de Colmenar toma agua de los retornos de la central de Ribesalbes, y como se ha mencionado, se desprecian los retornos al embalse de Sichar por lo que se turbinan lo mismo en ambas centrales. La central de Colmenar, sin embargo, tiene una potencia instalada ligeramente menor, porque en la realidad si se retornan parte de los caudales turbinados al embalse de Sichar. Esto hace que las pérdidas sean ligeramente menores mientras que la reducción de ingresos es constante en ambas centrales, por lo que estableciendo un régimen de caudales mínimos de alrededor de 3 m<sup>3</sup>/s supone un 4% de las ganancias posibles.

Coste aproximado: 44.000 €

### Central hidroeléctrica de Onda

La central de Onda se encuentra cerca de Onda aguas abajo de la toma del tramo común que supone que la central de Onda se vea afectada por un caudal ecológico actual de 0,95 m<sup>3</sup>/s. Esta central tiene una potencia instalada de 0,9



MW con lo que las pérdidas son muy reducidas, esto implica que, aunque se instaure el régimen natural de 4 m<sup>3</sup>/s y la reducción de ingresos se vea reducida un 51% las pérdidas supondrían unos 60.000 €. Se propone establecer un caudal mínimo de aproximadamente 4 m<sup>3</sup>/s aguas abajo de la presa de Sichar. Lo cual supone un aumento de más del 67% del hábitat potencial útil del barbo adulto, aunque en detrimento de los estadios más jóvenes de la especie pese a no suponer un daño sustancial como para plantearse otro escenario.

Coste aproximado: 60.000 €

#### Central hidroeléctrica de Hidro

La central de Hidro, situada en la margen derecha del río Mijares, se encuentra en la misma situación que la central de Onda pues son de características similares, es decir, al implementar un caudal ecológico de 4 m<sup>3</sup>/s la reducción de ingresos asciende al 51% aunque las pérdidas son de aproximadamente 55.000 €. Se decide establecer el régimen natural aguas abajo de la toma de tramo común de nuevo en beneficio del aumento del hábitat potencial útil del barbo adulto.

Coste aproximado: 55.000 €

#### Central hidroeléctrica de Villarreal

La central de Villarreal, se sitúa a la llegada del Mijares a Villarreal, se ve afectada actualmente por un caudal mínimo de 0,2 m<sup>3</sup>/s al aumentar ese caudal mínimo al régimen natural las pérdidas solo ascienden a aproximadamente unos 30.000 € por lo que aunque la reducción de ingresos suponga un 51% se decide establecer el régimen natural del río como caudal mínimo en la masa de agua 10.11 esperando mejorar el estado de los tramos del río aguas abajo del embalse de Sichar.

Coste aproximado: 31.000 €

#### Coste total de las propuestas

Si se establecen los caudales mínimos seleccionados los costes ascenderían a:

- Tramo aguas arriba del embalse de Arenós: 400.000 €, lo cual supone una reducción de las ganancias del 14%.
- Tramo entre embalses: 300.000 €, y una reducción de las ganancias del 5%.
- Tramo aguas abajo del embalse de Sichar: 145.000 € con una reducción del 51% de las ganancias máximas.

En todo el río, por tanto, se alcanzan pérdidas del valor de aproximadamente 840.000 € lo cual equivaldría a una reducción de los ingresos totales para las centrales del río Mijares del 9%.



## 6. Resumen y conclusiones

En este trabajo se ha estudiado la posibilidad de implantar un nuevo régimen de caudales ecológicos mínimos en el río Mijares, para ello se analizará desde un punto de vista económico la problemática que supondrá a las centrales hidroeléctricas que aprovechan el agua del río y desde un punto de vista ecológico evaluando el beneficio que aumentar los caudales mínimos en el río tendrá sobre las especies piscícolas objetivo en el río.

En los márgenes del río Mijares se encuentran 10 centrales hidroeléctricas que derivan agua a través de canales para su turbinación y producción de energía eléctrica. Estas 10 centrales se sitúan desde la provincia de Teruel en Albentosa hasta Villarreal en Castellón. Dichas centrales son:

- Central hidroeléctrica de Albentosa
- Central hidroeléctrica de Los Villanuevas
- Central hidroeléctrica de Los Cantos
- Central hidroeléctrica de Cirat
- Central hidroeléctrica de Vallat
- Central hidroeléctrica de Ribesalbes
- Central hidroeléctrica de Colmenar
- Central hidroeléctrica de Onda
- Central hidroeléctrica de Hidro
- Central hidroeléctrica de Villarreal

El hecho de derivar agua del río genera inconvenientes en el ecosistema fluvial pues le priva de su más imprescindible recurso desde que haces la derivación, ya sea a través de azudes o presas hasta que retornas el agua al río. Por ello, con el Plan Hidrológico del Júcar del ciclo 2015-2021 se han ampliado las propuestas de caudales ecológicos que garanticen unas condiciones mínimas a numerosas masas de agua de toda la Demarcación Hidrográfica del Júcar, sin embargo, todavía queda mucho trabajo por hacer para mejorar el estado de nuestras masas de agua y de los ecosistemas fluviales.

Como ya se ha dicho aumentar el régimen de caudales mínimos mejorará el estado de las masas de agua de los ríos, pero a su vez privará a las centrales hidroeléctricas de agua para turbinar y producir, por lo que es necesario llegar a alcanzar el mejor estado de las masas de agua posibles tratando de perjudicar en la menor medida a las centrales hidroeléctricas. Una de las razones de tratar de reducir el daño a este tipo de centrales es que la energía hidroeléctrica es un tipo de energía renovable y por tanto es una apuesta por un futuro energético saludable y sostenible, además de es una forma de producción energética regulable y de rápida amortización debido a sus bajos costes de mantenimiento.

Una vez conocida la problemática el primer paso del estudio fue la recolección de datos y de información acerca de no solo las centrales hidroeléctricas, su



funcionamiento y ubicación, sino también del estado del río actual, su regulación, y relación con lo que le rodea, es decir, las centrales hidroeléctricas, los canales que derivan agua para regadío, los embalses, los usos y las demandas. Además, se han recolectado datos de documentos oficiales como el Plan Hidrológico del Júcar y sus anejos en el ciclo 2015-2021 (PHJ 2015) que nos ha permitido conocer el funcionamiento de las centrales, su localización y la toma y retorno de la derivación del agua de los ríos, así como datos de las estaciones de aforo de la Red Oficial de Estaciones de Aforo, que permite conocer el caudal circulante mensual y diario en el río en estas estaciones situadas en las masas de agua superficiales.

Una vez conocido el caudal que circula por el río se ha estudiado la producción potencial de cada central mediante procesos estadísticos para tratar de conocer como afectará la subida del régimen de caudales mínimos en distintos escenarios a dichas centrales. El proceso de cálculo fue el siguiente, primero se obtuvieron 3 series temporales de los caudales circulantes diarios por el río durante 26 años de cada estación y se extrapolaron proporcionalmente a las aportaciones totales a cada tramo del río, segundo, mediante una fórmula empírica se calculó lo que se conoce por curva de caudales clasificados que permite conocer la probabilidad de que cierto caudal sea superado en el río. Finalmente, conociendo las características de cada central (salto bruto y potencia instalada) y sabiendo que existe una relación directa entre el caudal circulante por una turbina y la potencia que genera dicha turbina se calcula la producción energética anual máxima de cada central en GWh/año, lo cual se traduce posteriormente en ganancias y pérdidas económicas.

El otro punto de vista mencionado en el primer párrafo de este apartado es el beneficio ecológico que tendrá el aumentar el régimen de caudales mínimos sobre el río y sobre las especies piscícolas que lo habitan, una vez analizado como varía el hábitat potencial útil de las especies objetivo con el caudal circulante se comparará el beneficio ecológico con el perjuicio económico y se tratará de alcanzar una solución de compromiso.

La solución propuesta es la siguiente:

- Aumentar el caudal ecológico de la masa de agua 10.03 Río Mijares: Loma de la Ceja- Río Mora desde el embalse de los Toranes hasta la afluencia del río Mora a 2 m<sup>3</sup>/s afectando a la central de Albentosa
- Desde el río Mora hasta el embalse de Arenós, es decir la masa de agua 10.04 hasta 3 m<sup>3</sup>/s afectando a las centrales de Los Villanuevas y Los Cantos.
- Desde la salida del embalse de Arenós hasta la cola del embalse de Sichar un caudal ecológico mínimo de 3 m<sup>3</sup>/s afectando a las centrales de Cirat, Vallat, Ribesalbes y Colmenar.
- Aumentar hasta el régimen natural, al menos cuando se deje circular agua desde la presa de Sichar, hasta la afluencia de la Rambla de La Viuda un régimen natural del río, es decir 4 m<sup>3</sup>/s afectando a las centrales de Onda, Hidro y Villarreal.



## ADECUACIÓN DE LA PRODUCCIÓN ENERGÉTICA DE LAS CENTRALES HIDROELÉCTRICAS AL CUMPLIMIENTO DE LOS CAUDALES ECOLÓGICOS EN LA DEMARCACIÓN DEL JÚCAR. RÍO MIJARES



Habrà que tener en cuenta que este es un estudio econ3mico y superficial ecol3gicamente, por lo que es una propuesta de valores que deberà de ser ampliada y precisada mediante modelos que tengan en cuenta todas las variables que intervienen en la decisi3n de establecer un r3gimen de caudales m3nimos.



ADECUACIÓN DE LA PRODUCCIÓN ENERGÉTICA DE LAS CENTRALES HIDROELÉCTRICAS AL CUMPLIMIENTO DE LOS CAUDALES ECOLÓGICOS EN LA DEMARCACIÓN DEL JÚCAR. RÍO MIJARES





## 7. Líneas futuras

De aquí en adelante, las situaciones socioeconómicas, geopolíticas y ecológicas cambiarán, estas últimas al ritmo del cambio climático, sin embargo, el objetivo de mejorar el estado de las aguas tanto subterráneas como superficiales ha de perdurar en las conciencias tanto de ingenieros como de políticos.

Los estudios posteriores que habrán de realizarse en el río Mijares pasan por establecer un seguimiento más exhaustivo de los caudales del río. Se han de establecer medidas en todos aquellos puntos del río donde se rompa la continuidad longitudinal (presas, azudes) con la idea de mantener un control exhaustivo de las aguas.

Conocer en cada momento que caudal circula por cada tramo será esencial, no solo para mejorar el estado de las masas de agua del río como para mejorar la infraestructura del sistema de centrales hidroeléctricas del Mijares.

Intentando predecir la evolución del régimen de caudales del río permitirá a los titulares de las centrales adelantarse a épocas donde el agua no sea tan abundante para aprovechar al máximo el recurso disponible.

Por lo tanto, mis sugerencias a la hora de abordar estos temas en el futuro son:

- Instalar equipos de medida de caudales en los azudes de derivación para conocer que caudales permanecen en el río y cuales derivan a las centrales.
- Construcción de dos estaciones de aforo, una a la salida del embalse de los Toranes y otra en la cola del embalse de Sichar para así controlar las pérdidas y ganancias a lo largo de la cuenca media del río.
- Para reducir las pérdidas y expandir los métodos de explotación de energías renovables, aprovechar los espacios de concesión hidroeléctrica para establecer pequeños parques fotovoltaicos, donde en las centrales de agua fluyente en épocas, dadas las características de no regulación, la producción de energía eléctrica por medio de las turbinas de las centrales se vea reducida por las sequias estivales pueda aprovechar otras fuentes de energía y otros sistemas de explotación.
- Modelar el sistema de explotación para evaluar las nuevas propuestas.

Finalmente habría que estudiar el efecto de las hidropuntas en los aprovechamientos hidroeléctricos ya existente para comprobar los posibles impactos que se estén generando en la morfología fluvial asociada a estos aprovechamientos.



ADECUACIÓN DE LA PRODUCCIÓN ENERGÉTICA DE LAS CENTRALES HIDROELÉCTRICAS AL CUMPLIMIENTO DE LOS CAUDALES ECOLÓGICOS EN LA DEMARCACIÓN DEL JÚCAR. RÍO MIJARES





ADECUACIÓN DE LA PRODUCCIÓN ENERGÉTICA DE LAS CENTRALES HIDROELÉCTRICAS AL CUMPLIMIENTO DE LOS CAUDALES ECOLÓGICOS EN LA DEMARCACIÓN DEL JÚCAR. RÍO MIJARES



Firma del autor: .....



## 8. Referencias

- **PHJ 2009.** Plan Hidrológico del Júcar 2009-2015
- **PHJ 2015.** Plan Hidrológico de Júcar 2015-2021
- **PHJ 2015.** Anejo 5 del Plan Hidrológico del Júcar referente al “Régimen de caudales ecológicos”.
- **PHJ 2015.** Anejo 3 del Plan Hidrológico del Júcar referente a “Usos y demandas de agua”.
- **PHJ 2015.** Anejo 6 del Plan Hidrológico del Júcar referente a “Sistemas de explotación y balances”
- **Pérez, M et al., 2014.** *Modeling Water Resources and River-Aquifer Interaction in the Júcar River Basin, Spain.*
- **Arroyo, F., 2012.** El sistema hidroeléctrico del Júcar y la Electrificación Madrileña.
- **CEDEX-DGA, 2019.** Anuario de Aforos 2015-2016.
- Ministerio para la transición ecológica, 2019. Redes de seguimiento del estado e información hidrológica.
- **Ley 10/2001, de 5 de Julio, del Plan Hidrológico Nacional.** Boletín Oficial del Estado, 161, de 6 de julio de 2001, 24288 a 24250.
- **Real Decreto Legislativo 1/2001, de 20 de julio, por lo que se aprueba el texto refundido de la Ley de Aguas.** Boletín Oficial del Estado, 176, de 24 de julio de 2001, 26791 a 26817.
- **Orden ARM/2656/2008, de 10 de septiembre, por la que se aprueba la instrucción de planificación hidrológica.** Boletín Oficial del Estado, 229, de 22 de septiembre de 2008, 38472 a 38582.
- **Real Decreto 907/2007, de 6 de julio, por el que se aprueba el Reglamento de la Planificación Hidrológica.** Boletín Oficial del Estado, 162, de 7 de julio de 2007, 29361 a 29398.
- **Directiva 2000/60/CE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 23 de octubre de 2000, por la que se establece un marco comunitario de actuación en el ámbito de la política de aguas.** Diario Oficial de las Comunidades Europeas, 327, de 22 de diciembre de 2000, 1 a 73.
- **Kannan, N y J.Jeong (2011).** - *An approach for Estimating Stream Health Using Flow Duration Curves and Indices of Hydrologic Alteration.* Environmental Protection Agency USA, 65 pp.
- **Iberdrola 2012.** Información sobre las centrales gestionadas por la propia empresa, así como producciones proporcionadas a través de la Confederación Hidrográfica del Júcar.
- **(Cayetano, M et al., 2017).** Espejo Marín, Cayetano., García Marín, Ramón., Aparicio Guerrero, Ana Eulalia., El resurgimiento de la energía minihidráulica en España y su situación actual. <i>Revista de Geografía Norte Grande</i> [en línea]. 2017, (67), 115-143[fecha de Consulta 16 de



septiembre de 2019]. ISSN: 0379-8682. Disponible en: <a xmlns="http://www.w3.org/1999/xhtml" target="\_blank" href="http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=30052913007"><http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=30052913007></a>

- **Las Provincias, 2015.** Artículo en referencia a las obras de aprovechamientos hidroeléctricos de la cuenca del Júcar y específica a la historia de la energía hidroeléctrica, las centrales y la evolución que este sistema de producción energética ha tenido.
- **CHJ 2019.** Base de datos de caudales, información sobre las centrales y sobre las producciones de estas proporcionadas por la Confederación Hidrográfica del Júcar.
- **ROEA, 1992-2018.** Red oficial de estaciones de aforo. Base de datos de caudales para los aforos con código 8134, 8145 y 8119 desde 1992 hasta 2018.
- **CHJ, 2019:** Borrador Esquema provisional de Temas Importantes. Demarcación Hidrográfica del Júcar.