

CONAMA 2020

CONGRESO NACIONAL DEL MEDIO AMBIENTE

Combinando la Gestión de Recursos Hídricos y
las Energías Renovables para resolver la
escasez de agua en áreas con estrés hídrico
en la Región del Mediterráneo - Cuenca baja
del río Mijares (España)





CONAMA 2020

Combinando la gestión de recursos hídricos y las energías renovables para resolver la escasez de agua en áreas con estrés hídrico en la región del mediterráneo - cuenca baja del río mijares (España)

Autor Principal: Gabriel Gómez Martínez (Universidad Politécnica de Valencia)

Otros autores: Clara Estrela Segrelles (Universidad Politécnica de Valencia); Bernat Castro Quiles (Universidad Politécnica de Valencia); Miguel Ángel Pérez Martín (Universidad Politécnica de Valencia)

ÍNDICE MÍNIMO

1. Título:
2. Palabras Clave
3. Resumen
4. Introducción
5. Metodología
6. Resultados
7. Discusión
8. Conclusiones
9. Agradecimientos
10. Bibliografía

Combinando la gestión de recursos hídricos y las energías renovables para resolver la escasez de agua en áreas con estrés hídrico en la región del mediterráneo - cuenca baja del río mijares (España)

1 TÍTULO:

Combinando la gestión de recursos hídricos y las energías renovables para resolver la escasez de agua en áreas con estrés hídrico en la región del mediterráneo - Cuenca baja del río Mijares (España)

2 PALABRAS CLAVE.

Energías renovables, planificación integrada de recursos hídricos, reutilización de aguas, caudales ecológicos, intrusión salina

3 RESUMEN:

Las regiones mediterráneas sufren, desde hace décadas, un importante estrés hídrico con efectos ambientales negativos, que se verán incrementados por el cambio climático. El caso de estudio se localiza en la cuenca baja del río Mijares, en la región oriental española de Castellón, en la Demarcación Hidrográfica del Júcar.

El caso de estudio trata sobre la integración y aprovechamiento de aguas regeneradas provenientes de Estaciones Depuradoras de Aguas Residuales (EDAR) con la generación de energía fotovoltaica, como solución a un doble problema: la escasez de agua en el tramo bajo del río Mijares, donde es necesario incrementar los caudales ecológicos del río, debido a que el río llega a desaparecer rompiéndose la continuidad del curso hasta el mar; y la intrusión marina en los acuíferos costeros de la zona de la Vall d'Uixó, al sur de Castellón, provocado por la sobreexplotación de las aguas subterráneas extraídas para riego.

La solución consiste en el aprovechamiento de aguas regeneradas procedentes de los efluentes de diversas EDAR (EDAR Castellón, EDAR Mancomunada, EDAR Almassora y EDAR Borriana), mediante la construcción de Estaciones de Regeneración de Aguas depuradas (ERAs), las conducciones para el transporte de agua y las estaciones de bombeo necesarias, con el fin de producir recursos hídricos de calidad suficiente, para asegurar los caudales ambientales en el río y cubrir parte de la demanda de los regantes y disminuir la sobreexplotación del acuífero y reducir la intrusión marina. Todo ello, haciendo la inversión ambiental y económicamente más sostenible y rentable, mediante el uso de fuentes de energía renovables, como la energía fotovoltaica, para ser utilizada en los tratamientos de regeneración necesarios para el proceso de producción de aguas regeneradas y las estaciones de bombeo para elevación de agua.

El objetivo es contribuir a solucionar tanto un problema medioambiental como un problema de escasez de agua y de uso insostenible del agua, mediante soluciones integradas de gestión del agua, que pueden requerir grandes necesidades de inversión, a corto plazo, pero que son contrarrestadas a largo plazo, por reducción de los costes de operación. El uso de energía solar fotovoltaica reduce el coste operativo entorno a un 50% para la solución del aseguramiento del caudal ecológico en el bajo Mijares y alrededor de un 30% para la solución de la sobreexplotación del acuífero en las áreas de regadío, haciendo que los costes de inversión iniciales y la planificación estratégica de los recursos hídricos, valgan la pena.

Combinando la gestión de recursos hídricos y las energías renovables para resolver la escasez de agua en áreas con estrés hídrico en la región del mediterráneo - cuenca baja del río mijares (España)

4 INTRODUCCIÓN

La presente Comunicación científico-técnica, está basada en los estudios llevados a cabo por Bernat Castro Quiles en sus respectivas tesinas de fin de Máster (TFM) de Ingeniería Hidráulica y de Ingeniería de Caminos, Canales y Puertos, respectivamente (Castro, 2017), (Castro, 2020) y presenta una metodología de resolución de situaciones de escasez de agua en zonas en las que los recursos hídricos sufren un fuerte estrés hídrico estructural, apareciendo problemas de sobreexplotación y deterioro medioambiental, que se presenta frecuentemente en las regiones mediterráneas, donde es necesario cada vez más, centrar esfuerzos en afrontar las crecientes amenazas socioeconómicas y climáticas optimizando el uso de los recursos hídricos, incorporando nuevos recursos y tecnologías hídricas, como la desalación. (Iglesias et al., 2006) o el uso de agua regenerada, a través de la reutilización de aguas residuales depuradas, a la gestión integrada del ciclo del agua (IDAE, 2011).

El uso de agua regenerada procedente de los efluentes de las Estaciones de Tratamiento de Aguas Residuales (EDARs) es uno de estos recursos hídricos adicionales, que puede mitigar e incluso resolver los problemas de escasez de agua a escala local (EPSAR, 2018).

En el caso de estudio, los condicionantes previos de los grandes costes energéticos relacionados con la desalinización del agua de mar y otros tratamientos de regeneración, así como del bombeo y transporte del agua, desde el punto donde se encuentra disponible, hasta el punto donde es necesaria, se pueden afrontar reduciendo los costes energéticos al complementar las necesidades energéticas con una fuente de energía renovable, como por ejemplo, la energía solar fotovoltaica (energía fotovoltaica).

La importante reducción de los costes de instalación desde 2007 (-89%) de la energía Fotovoltaica (FV) supone una importante oportunidad para asumir los costes energéticos de las Estaciones de Regeneración de Agua (ERA), parte de los costes energéticos de la EDAR y los costes energéticos de las estaciones de bombeo, necesarios para llevar a cabo soluciones integradas como las que aquí se presentan, y hacerlo económicamente viable (Anpier, 2019).

En la zona de estudio, la cuenca baja del Río Mijares, en la provincia de Castellón (España) y la zona de regadío del acuífero Interfluvio Mijares-Palancia, estudios previos establecieron que la solución más recomendable era:

- Reutilización de los efluentes de la EDAR de Castelló como complemento del caudal ecológico del tramo Bajo Mijares, cubierto con efluentes de la EDAR Mancomunada (Onda-Betxí-Villareal y Alquerías).
- Reutilización para riego de los efluentes de la EDAR de Almassora y la EDAR de Borriana, dentro del ámbito del Interfluvio.

Para ello, es necesario desarrollar dicha solución desde el punto de vista hidráulico y energético, y definir las instalaciones necesarias para la regeneración de las aguas depuradas, junto a los parámetros de los bombeos y las conducciones necesarias (potencias necesarias, diámetros, velocidades y distribución de los caudales) para la entrega del agua regenerada en los puntos donde es necesario.

Como factor de aporte de energía, se propone la instalación de módulos de energía solar fotovoltaica para mejorar los costes operaciones del sistema asociados a los costes de energía, donde es necesario estudiar los parámetros fundamentales de toda instalación fotovoltaica, como son las inclinaciones de las superficies de captación, y el número de captadores o placas solares.

Combinando la gestión de recursos hídricos y las energías renovables para resolver la escasez de agua en áreas con estrés hídrico en la región del mediterráneo - cuenca baja del río mijares (España)

Las soluciones planteadas conducen a proporcionar un recurso hídrico alternativo, en dos áreas, en primer lugar, en la cuenca baja del río Mijares, para garantizar la continuidad del río mediante el aporte de 3,99 hm³/año al caudal ambiental, con agua reutilizada de las EDARs de Castelló y Mancomunada, y en segundo lugar, disminuir la captación de agua subterránea por regantes, en el acuífero Palancia-Mijares Interfluvio, sobreexplotado y salinizado por intrusión marina, proporcionando caudales superficiales (7,99 hm³/año) procedentes de las EDARs de Almassora y Borriana (Castro, 2017), (CHJ, 2019), en la región de Castelló (España).

Combinando la gestión de recursos hídricos y las energías renovables para resolver la escasez de agua en áreas con estrés hídrico en la región del mediterráneo - cuenca baja del río mijares (España)

5 METODOLOGÍA

5.1 Metodología

El primer paso, consiste en la evaluación y caracterización de la demanda de agua desde ambas perspectivas, aspectos cuantitativos y cualitativos, por ejemplo, el caudal demandado anual, pero también su distribución temporal a lo largo del año, el uso final o el tipo de usuario, hecho que determinará los estándares de calidad del agua, los umbrales a respetar o los límites de concentración de sustancias (en este caso de estudio, la conductividad debe ser inferior a $1.500 \mu\text{S} / \text{cm}$).

Estos requisitos de calidad son muy importantes a la hora de configurar el alcance del proyecto, ya que éste determinará los tratamientos y tecnologías a realizar para alcanzar los objetivos de calidad del agua (Mas, 2016). La ubicación de la demanda es otra variable o factor determinante, ya que afectará las necesidades energéticas, por ejemplo, para la potencia de bombeo y las necesidades de transporte por medio de tuberías para superar el nivel piezométrico, las pérdidas de presión, la velocidad óptima de la bomba, los diámetros óptimos (HidroJING, 2019) y los mínimos requisitos de presión (MMARM, 2010).

La segunda fase es la fase de alternativas, con un primer paso que consiste en fijar la demanda total de agua a abastecer, donde se identifican diferentes fuentes de recursos y se evalúa su captación, para seleccionar las fuentes de agua más factibles para cubrir la demanda de agua. El siguiente paso consiste en identificar qué recursos son necesarios para producir y abastecer la demanda de agua, por ejemplo, tratamientos (por restricciones de calidad y / o sanidad) y / o energía (necesidades de tratamiento y bombeo). Ese es nuestro caso de estudio, donde la demanda de agua para abastecer agua de riego, permite reducir la intrusión marina del acuífero Mijares-Palancia, asegura los caudales ambientales y la continuidad del río Mijares, pero necesita fuentes de energía adicionales para alimentar los tratamientos de agua y los requerimientos de las estaciones de bombeo.

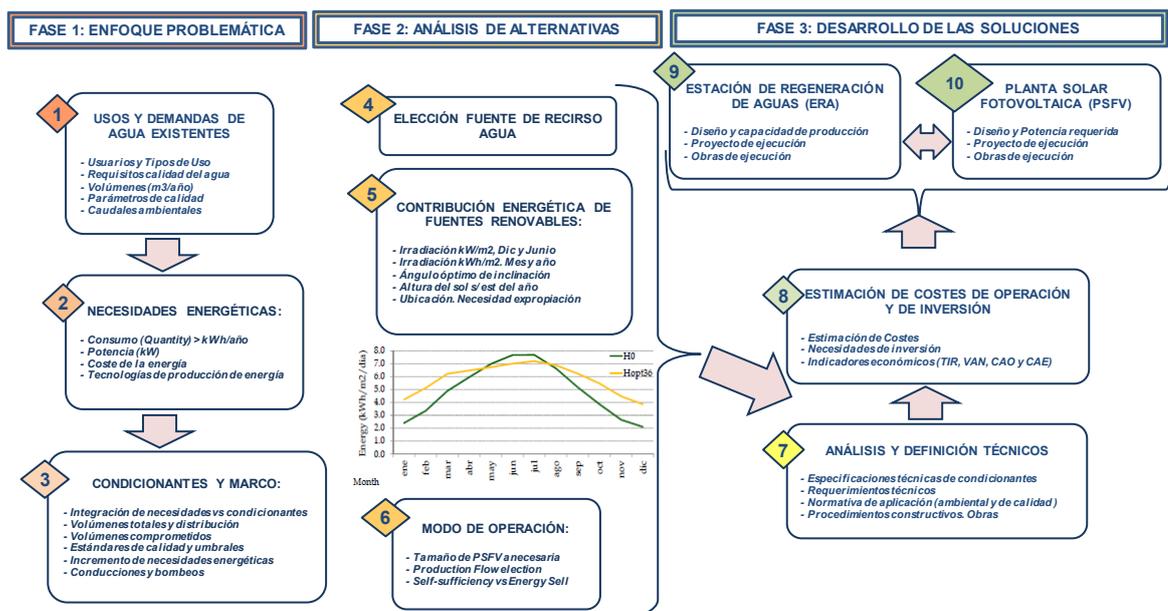


Figura 1 Esquema de la metodología utilizada en el estudio

Combinando la gestión de recursos hídricos y las energías renovables para resolver la escasez de agua en áreas con estrés hídrico en la región del mediterráneo - cuenca baja del río mijares (España)

De forma resumida, las principales variables y condicionantes a evaluar y definir para abordar de forma preliminar la problemática son:

- Demanda de agua para riego, que sustituye las extracciones de los regantes del acuífero hasta 14,45 hm³/año, 12,45 hm³/año para los regantes de Vall d'Uixo y 2,00 hm³/año. para regantes Moncofa.

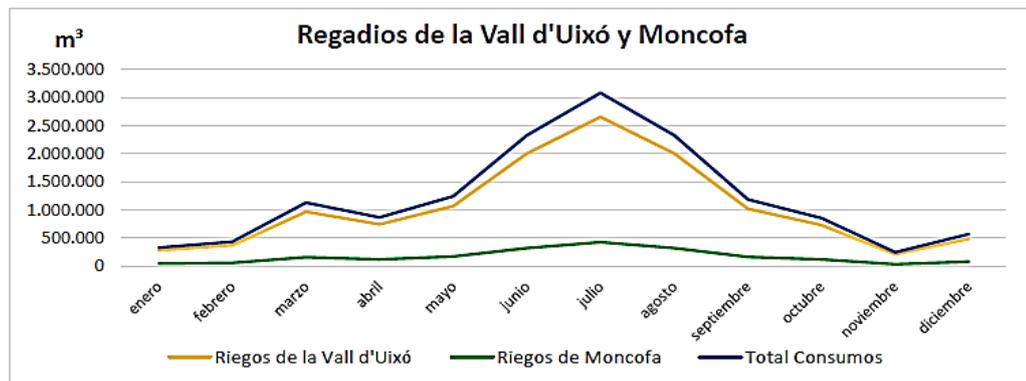


Figura 2 Distribución de las demandas de Regadíos de la Vall d'Uixó y Moncofa, fuente CHJ

- Demanda de agua para cubrir parte del caudal ambiental para dar continuidad al tramo bajo del río Mijares, fijada en 3,7 m³/s por las Autoridades de Cuenca (Confederación Hidrográfica del Júcar – CHJ), (CHJ 2019).
- La disponibilidad de recursos hídricos en la zona, viene de evaluar los volúmenes de aguas residuales depuradas en las EDAR de la zona, que actualmente no se reutilizan, y que, por lo tanto, están disponibles para satisfacer las demandas establecidas.

Las depuradoras que intervienen en la solución propuesta son:

- EDARs de Castelló y Mancomunada, cuyos efluentes se utilizarían para apoyo del caudal ecológico del Bajo Mijares.
- EDAR de Almassora, junto con las aportaciones de Vila-real (o Vora Riu), cuyos efluentes se utilizarían para riego agrícola, en sustitución de las aguas subterráneas del Interfluvio.
- EDAR de Borriana, cuyos efluentes se unen a la anterior para riego agrícola, en sustitución de las aguas subterráneas del Interfluvio.
- Las necesidades de bombeo, expresadas en metros de columna de agua (aproximadamente 30 mca), para transportar agua desde el punto de producción, a la salida de la EDAR o ERA, hasta el punto de captación en la zona de riego (balsas de regulación y Balsa de riego de Belcaire).
- Demanda energética (kWh/año) considerando las necesidades de bombeo y el consumo energético en los tratamientos de agua necesarios en las EDAR y ERAs asociadas.
- Parámetros y umbrales de calidad para el cumplimiento de la normativa y parámetros (Mas 2016) para la reutilización de agua regenerada.

Para obtener las necesidades energéticas de bombeo de agua, se evalúan los siguientes parámetros: potencia fotovoltaica (kW), rendimiento horario (m³/h o kWh/m³), necesidades energéticas mensuales (kWh/mes), estaciones de bombeo (MMARM 2010) y EDAR. -ERA (CHJ 2019) y estimación de costes (€/mes); Datos hidráulicos: caudal nominal: m³/s, altura manométrica: mca o bar, volumen de agua mensual m³/mes o hm³/mes, etc. (CEDEX 2009), (CEDEX 2011).

Combinando la gestión de recursos hídricos y las energías renovables para resolver la escasez de agua en áreas con estrés hídrico en la región del mediterráneo - cuenca baja del río mijares (España)

La tercera y última fase sería la fase de desarrollo, donde se estudia, diseña y desarrolla la solución óptima y más factible, evaluando todos los costos de inversión y operación o explotación, para el ciclo de vida del proyecto. Para el cálculo de los costes de explotación y mantenimiento de la regeneración de aguas depuradas, se incluyen todos los elementos de cada una de las soluciones.

En el estudio económico, los **costes de explotación y mantenimiento** se dividirán en costes fijos y variables, de forma que es una tarifa binómica, compuesta por una parte fija (F) en €/año y otra variable (V) en €/m³. Serán considerados como Costes Fijos, el coste del término de potencia de las instalaciones, el coste de personal y los costes de mantenimiento-fijo del conjunto de instalaciones. Serán considerados como Costes Variables, el Término de Energía del coste energético, los reactivos, y cualquier otra partida que dependa del caudal. La fórmula de cálculo que se deberá aplicar para obtener los Costes de Explotación y Mantenimiento es:

$$\text{COSTES EXPLOTACIÓN} = \sum F_i + \sum (V_i \times Q_i)$$

siendo:

- F_i : Cuota fija para cada unidad de coste i , expresada en €/año.
- V_i : Cuota variable para cada unidad de coste i , expresada en €/m³.
- Q_i : Valor de caudal para cada unidad de coste i , expresada en m³.

Para el cálculo de los costes de explotación de las instalaciones, la guía del CEDEX (CEDEX 2009) establecía un porcentaje del 1,2% de los costes de inversión, para cada instalación.

En la fase final, la demanda de agua ya está valorada y caracterizada, se ha identificado la fuente de agua disponible, las necesidades de tratamiento y energía, y también se ha elegido la fuente de energía; para finalmente, desarrollar técnica y económicamente la solución, para su implementación y permanencia. De las dos soluciones, se han definido y se han calculado los costes de implantación y explotación. Con ellos se calcularán el Coste Anual de Operación (CAO), el Coste Anual Equivalente (CAE), con el fin de poderlas comparar. Para ello, primero tenemos que definir los Condicionantes Generales, los Condicionantes Hidráulicos, los Condicionantes Energéticos, y por último los Condicionantes Económicos que rigen los cálculos de las diferentes alternativas, para que sean compatibles y comparables sus resultados.

Combinando la gestión de recursos hídricos y las energías renovables para resolver la escasez de agua en áreas con estrés hídrico en la región del mediterráneo - cuenca baja del río mijares (España)

6 RESULTADOS

6.1 Definición de la solución

La solución a la problemática expuesta en esta Comunicación, se localiza geográficamente en la Comunidad Valenciana, en la zona costera de la provincia de Castellón, en el sistema de explotación Mijares-Plana de Castellón, dentro del ámbito competencial de la Confederación Hidrográfica del Júcar a nivel de planificación hidrológica y de la Generalitat Valenciana desde el punto de vista de la depuración de las aguas residuales, a través de la EPSAR.

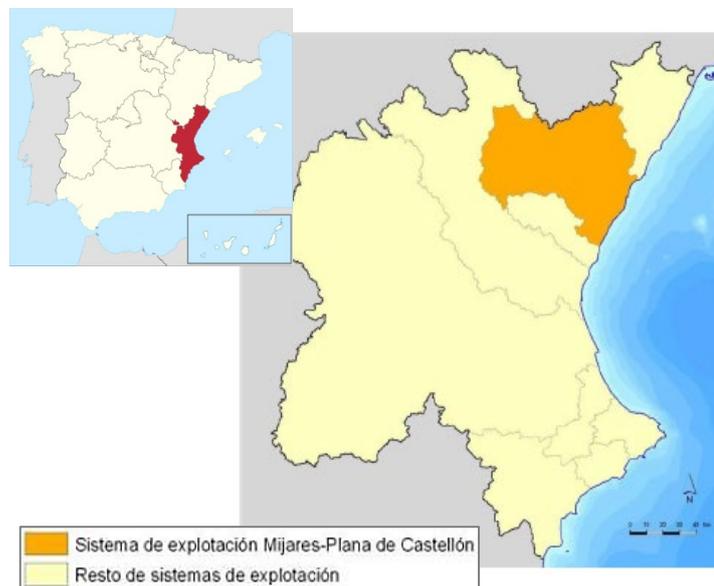


Figura 3 Ámbito geográfico del caso de estudio.

La solución a la problemática existente en la zona de estudio, cuenca baja del Río Mijares y zona de regadío del acuífero del Interfluvio Palancia-Mijares, con un problema de pérdida de continuidad y desaparición del río en ciertos tramos y riesgo de no asegurar el caudal ecológico del curso bajo y del Delta asociado, por un lado, y un problema de sobreexplotación de acuíferos por extracciones de aguas subterráneas para regadío en el Interfluvio, así como avance de la intrusión salina, por el otro, las soluciones para cada alternativa, expuestas, quedan conformadas de la siguiente manera, según se muestra a continuación.

La solución, que se muestra gráficamente en la siguiente imagen, contempla la reutilización de las aguas residuales de las EDAR de Castelló y Mancomunada, y parte de la EDAR de Almassora, en la zona norte (al sur de la ciudad de Castelló) para cubrir el caudal ecológico del río Mijares y el Delta; y por otro lado, la reutilización de las aguas depuradas en las EDAR de Almassora y Borriana, para suministrar al regadío en la zona sur (en el entorno de Nules y la Vall d'Uixò) de las Comunidades de Regantes y disminuir así la extracción de aguas subterráneas, para solucionar el problema de sobreexplotación e intrusión salina en el acuífero del interfluvio.

Combinando la gestión de recursos hídricos y las energías renovables para resolver la escasez de agua en áreas con estrés hídrico en la región del mediterráneo - cuenca baja del río mijares (España)

La solución en las 3 ubicaciones (Castelló, Almassora y Borriana) contempla el siguiente conjunto de instalaciones: EDAR-ERA-Planta solar Fotovoltaica (PSFV)-Estación de Bombeo-Conducciones-Balsa de Regulación.

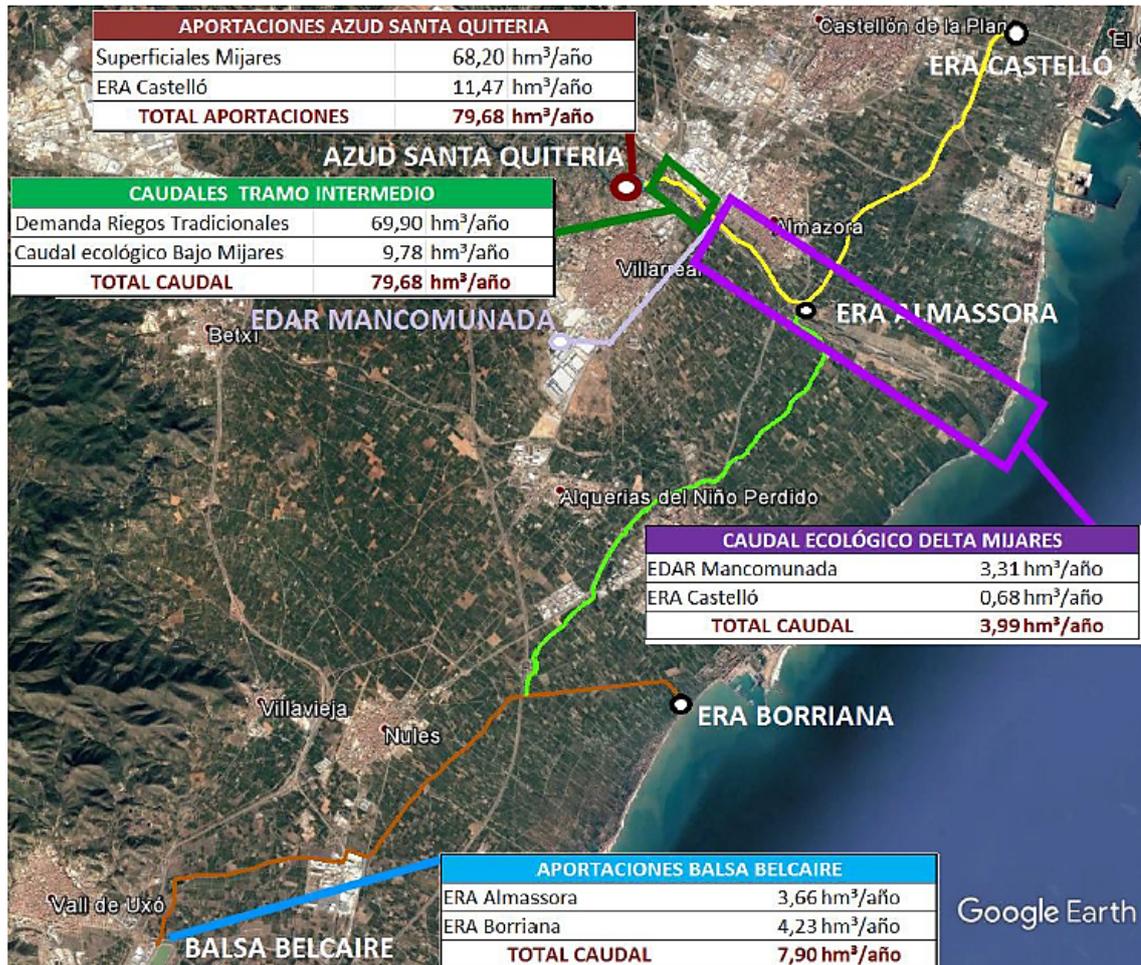


Figura 4. Esquema general de las alternativas planteadas con el trazado de las conducciones y los volúmenes aportados. (Fuente: Elaboración propia)

6.1.1 Aportaciones bajo Mijares

A continuación, se describe la distribución de efluentes de aporte para la solución del Bajo Mijares:

Aportes en el Azud de Santa Quiteria

- Reutilización del 100% de los efluentes de la EDAR-ERA de Castelló (11,47 hm³/año).

Aportes al Delta del Mijares

- Reutilización de los 100% efluentes de la EDAR Mancomunada (3,31 hm³/año).
- Aportaciones complementarias de la EDAR-ERA de Castelló (0,68 hm³/año).

Combinando la gestión de recursos hídricos y las energías renovables para resolver la escasez de agua en áreas con estrés hídrico en la región del mediterráneo - cuenca baja del río mijares (España)

En la siguiente tabla, se desglosan los volúmenes aportados al tramo bajo del Mijares y el Delta, procedentes de aguas regeneradas de la EDAR de Castelló y la EDAR Mancomunada:

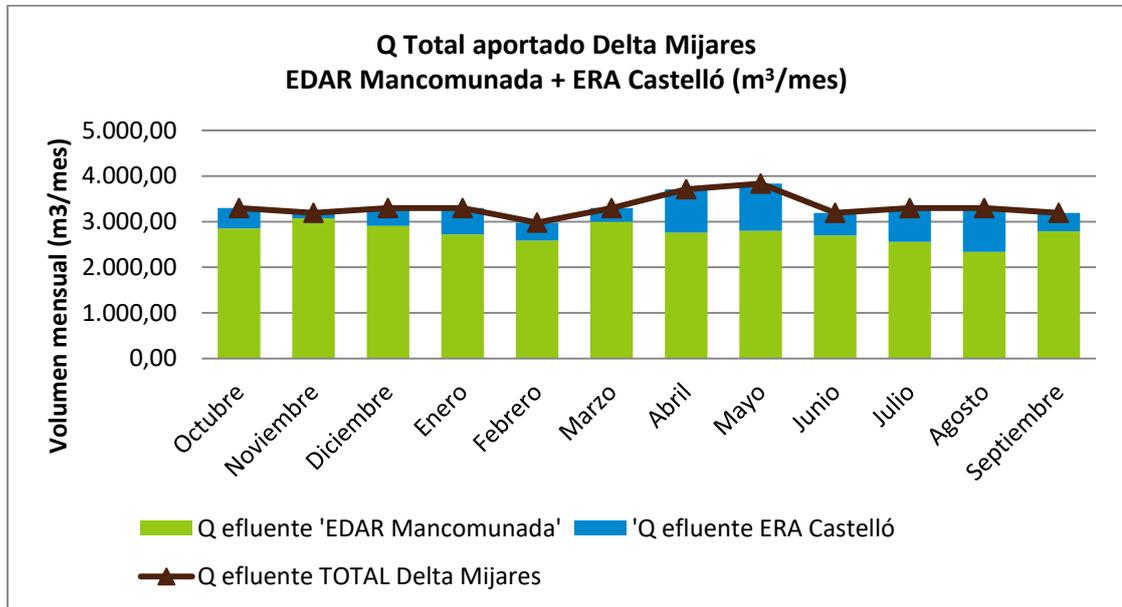


Figura 5. Tabla de volúmenes aportados (m³/mes) para caudal ecológico del Delta de Mijares de efluentes de la ERA de Castelló y EDAR Mancomunada

Esta alternativa resta volumen de aportación de la ERA de Castelló al Azud de Santa Quiteria, pasando de 11,88 hm³/año a 11,48 hm³/año (403.514 m³/año), para complementar las aportaciones al Delta (680.190 m³/año). Pero como se observa, el cómputo global es positivo, dado que se aumentan en 276.676 m³/año, debido a que solamente se necesita rebajar las aguas que aporta la línea de filtración de la ERA de Castelló en dos meses. Finalmente, la reducción de las aportaciones de aguas superficiales del río Mijares al Azud de Santa Quiteria se estima en 1,70 hm³/año (2,43%).

| Mes | Contribución Río Mijares | | Aportación EDAR Castelló | | Aportaciones Totales Delta Mijares |
|-----------|-----------------------------|-----------------------|-----------------------------|-----------------------|------------------------------------|
| | Aportación mensual (m³/mes) | Conductividad (µS/cm) | Aportación mensual (m³/mes) | Conductividad (µS/cm) | Aportación mensual (m³/mes) |
| Octubre | 4.043.794 | 741 | 1.023.626 | 2.910 | 5.067.420 |
| Noviembre | 1.307.373 | 796 | 770.367 | 2.695 | 2.077.740 |
| Diciembre | 2.486.611 | 796 | 1.029.029 | 3.002 | 3.515.640 |
| Enero | 1.500.005 | 796 | 925.195 | 2.641 | 2.425.200 |
| Febrero | 1.941.494 | 749 | 895.246 | 2.901 | 2.836.740 |
| Marzo | 5.246.442 | 749 | 1.044.228 | 2.958 | 6.290.670 |
| Abril | 3.909.688 | 736 | 908.132 | 2.963 | 4.817.820 |
| Mayo | 6.045.166 | 736 | 916.478 | 2.446 | 6.961.644 |
| Junio | 11.071.069 | 721 | 962.171 | 2.831 | 12.033.240 |

Combinando la gestión de recursos hídricos y las energías renovables para resolver la escasez de agua en áreas con estrés hídrico en la región del mediterráneo - cuenca baja del río mijares (España)

| | Contribución Río Mijares | | Aportación EDAR Castelló | | Aportaciones Totales Delta Mijares |
|-----------------------------------|--|-----------------------|--|-----------------------|--|
| Mes | Aportación mensual (m ³ /mes) | Conductividad (μS/cm) | Aportación mensual (m ³ /mes) | Conductividad (μS/cm) | Aportación mensual (m ³ /mes) |
| Julio | 14.611.439 | 721 | 968.941 | 2.881 | 15.580.380 |
| Agosto | 10.513.560 | 721 | 998.640 | 3.294 | 11.512.200 |
| Septiembre | 5.524.724 | 741 | 1.033.606 | 2.882 | 6.558.330 |
| Total (m³/año) | 68.201.365 | 750 | 11.475.659 | 2.867 | 79.677.024 |
| Total (hm³/año) | 68,20 | | 11,48 | | 79,68 |

Cuadro 1. Tabla de volúmenes aportados en Azud de Santa Quiteria para asegurar continuidad del Río Mijares

6.1.2 Interfluvio Palancia-Mijares

A continuación, se describe la distribución de las aportaciones de efluentes regenerados desde las ERAs de Almassora y Borriana a la zona de regadío del Interfluvio.

- Reutilización del 100% de los efluentes de la EDAR Borriana + EDAR Almassora, hacia la Balsa de Belcaire que almacena y regula los volúmenes de regadío de las comunidades de regantes (CR) de Moncofa en el acuífero del Interfluvio, se tiene:
- La conducción de la ERA de Borriana abastecerá 4,23 hm³/año prioritariamente a la Balsa de la C.R. de Moncofa y el resto, si existe, se enviará a la Balsa del Belcaire.
- La conducción de la ERA de Almassora abastecerá 3,66 hm³/año prioritariamente a la Balsa de la C.R. de Moncofa si hiciera falta, y el resto se enviará a la Balsa del Belcaire.

En cuanto a los volúmenes aportados al Interfluvio Palancia-Mijares, para regadío, desde las ERAs de Almassora y Borriana, los volúmenes mensuales son los siguientes:

| | ERA Almassora | | ERA Borriana | | Q Total aportado "Interfluvio" |
|-----------|----------------------------------|-----------------------|----------------------------------|-----------------------|----------------------------------|
| Mes | Q efluente (m ³ /mes) | Conductividad (μS/cm) | Q efluente (m ³ /mes) | Conductividad (μS/cm) | Q efluente (m ³ /mes) |
| Octubre | 322.314 | 1.534 | 385.260 | 1.542 | 707.574 |
| Noviembre | 333.812 | 1.484 | 369.768 | 1.483 | 703.580 |
| Diciembre | 318.545 | 1.498 | 368.307 | 1.585 | 686.852 |
| Enero | 287.428 | 1.639 | 323.551 | 1.547 | 610.979 |
| Febrero | 276.680 | 1.611 | 295.698 | | |
| Marzo | 316.980 | 1.545 | 339.001 | 1.562 | 655.981 |
| Abril | 298.163 | 1.493 | 327.453 | 1.457 | 625.616 |
| Mayo | 311.218 | 1.491 | 352.156 | 1.535 | 663.374 |

Combinando la gestión de recursos hídricos y las energías renovables para resolver la escasez de agua en áreas con estrés hídrico en la región del mediterráneo - cuenca baja del río mijares (España)

| Mes | ERA Almassora | | ERA Borriana | | Q Total aportado "Interfluvio" |
|------------------------|----------------------------------|-----------------------|----------------------------------|-----------------------|----------------------------------|
| | Q efluente (m ³ /mes) | Conductividad (μS/cm) | Q efluente (m ³ /mes) | Conductividad (μS/cm) | Q efluente (m ³ /mes) |
| Junio | 301.701 | 1.475 | 348.841 | 1.577 | 650.542 |
| Julio | 296.369 | 1.656 | 365.044 | 1.759 | 661.413 |
| Agosto | 281.733 | 1.528 | 383.324 | 1.435 | 665.057 |
| Septiembre | 318.575 | 1.558 | 375.561 | 1.588 | 694.136 |
| Total (m3/año) | 3.663.518 | 1.543 | 4.233.964 | 1.551 | 7.897.482 |
| Total (hm3/año) | 3,66 | | 4,23 | | 7,90 |

Cuadro 2. Tabla de volúmenes aportados (m³/mes) para riego en Balsa Belcaire de efluentes de la ERA de Almassora y ERA Borriana.

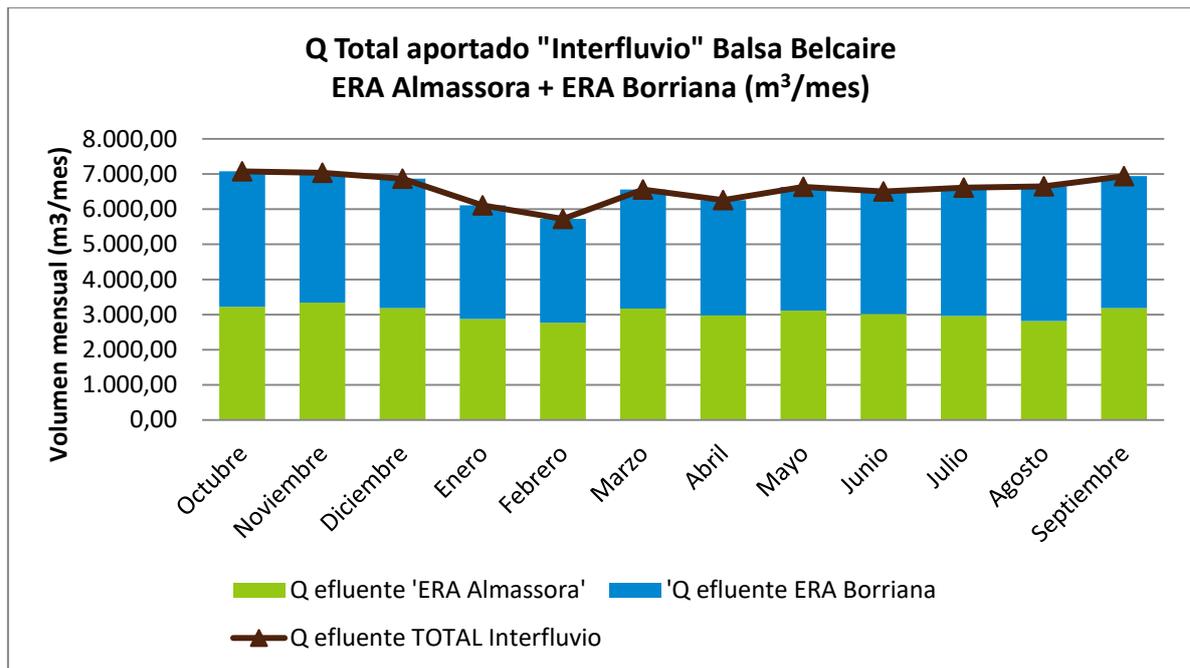


Figura 6. Tabla de volúmenes aportados (m³/mes) para regadío en el Interfluvio Palancia-Mihjares de efluentes de las ERAs de Almassora y Borriana.

Combinando la gestión de recursos hídricos y las energías renovables para resolver la escasez de agua en áreas con estrés hídrico en la región del mediterráneo - cuenca baja del río mijares (España)

6.2 Definición de condicionantes

6.2.1 Condicionante de obtención del recurso agua, localización geográfica y necesidad de transporte

Por un lado, tenemos el principal condicionante, que es la obtención del recurso objeto del estudio, que es el agua. Existe un potencial de reutilización de volúmenes de agua depurados en las EDARs de la zona en estudio, que actualmente no son reutilizadas, y por lo tanto suponen la fuente del recurso necesario. Las Estaciones de Regeneración de Aguas (ERAs), se ubican dentro de las EDARs de las que tomarán sus efluentes, en los terrenos de éstas o en parcelas colindantes. Esta condición permite compartir costes de mantenimiento y explotación, principalmente los costes de personal, que en muchas ocasiones es uno de los costes de explotación más relevantes (Mas, 2016). También, esta localización permite el compartir los costes indirectos de toda explotación, como los costes de administración, de PRL, de control de calidad y los ensayos.

Otro condicionante, es la localización de agua regenerada, alejada de donde se necesita, con los consecuentes condicionantes a resolver como son el transporte mediante conducciones, y las necesidades de bombeo, por las diferencias de cota existentes entre el punto de captación y el punto de entrega, así como las pérdidas de carga que se producirán a lo largo del trazado.

Para los cálculos de las conducciones y bombeos necesarios se aplicaron los datos de la guía del CEDEX 2011, utilizándose para este caso tuberías de PVC-Orientado de PN-16 de diámetro de 200 - 800 mm, por cuestiones de menor rozamiento de la tubería, mejor rendimiento y coste menor. Para el **cálculo de las pérdidas de carga (Hf)** de las tuberías emplearemos la Formula Veronesse-Datei, que se emplea para tuberías de PVC:

$$Hf = 9,2 * 10^{-4} * (Q^{1,8} / D^{4,8}) * L$$

En donde:

Q: es el caudal de la tubería en m³/s

D: es el diámetro interior de la tubería en m

L: es la longitud de la tubería en m

Las **fórmulas utilizadas para estimar los costes de las inversiones para conducciones y bombeos** son de la siguiente forma:

$$I_{\text{CONDUCCIONES}} (\text{€}) = 471,72 * Q^{0,3850}$$

En Donde: Q: es el caudal de la tubería en m³/s

$$I_{\text{BOMBEOS}} (\text{Mill€}) = -3,3 * 10^{-7} (Q_b * H_b)^2 + 0,01373 * Q_b * H_b + 0,719$$

En donde: Q_b: es el caudal de bombeo en m³/s

H_b: es la altura de bombeo (Diferencia de alturas + Hf) en m

En este caso los costes de explotación y mantenimiento tienen una parte fija que podía estimarse, al igual que en los casos anteriores, en el 1,2% de la inversión en los dos casos.

Combinando la gestión de recursos hídricos y las energías renovables para resolver la escasez de agua en áreas con estrés hídrico en la región del mediterráneo - cuenca baja del río mijares (España)

Conducciones desde la ERA de Castelló:

Para transportar los efluentes desde la ERA de Castelló es necesario, la realización de un ramal hasta el Azud de Santa Quiteria. Este ramal solamente entraría en funcionamiento en época de sequía para cumplir con la reserva impuesta por el RD 1/2016 del PHJ.

Para el trazado de las conducciones, esta solución planteaba una conducción de PVC orientado de DN 630 mm, desde la EDAR-ERA de Castelló, hasta el Azud de Santa Quiteria con una longitud de entre 12.500-13.000 m.

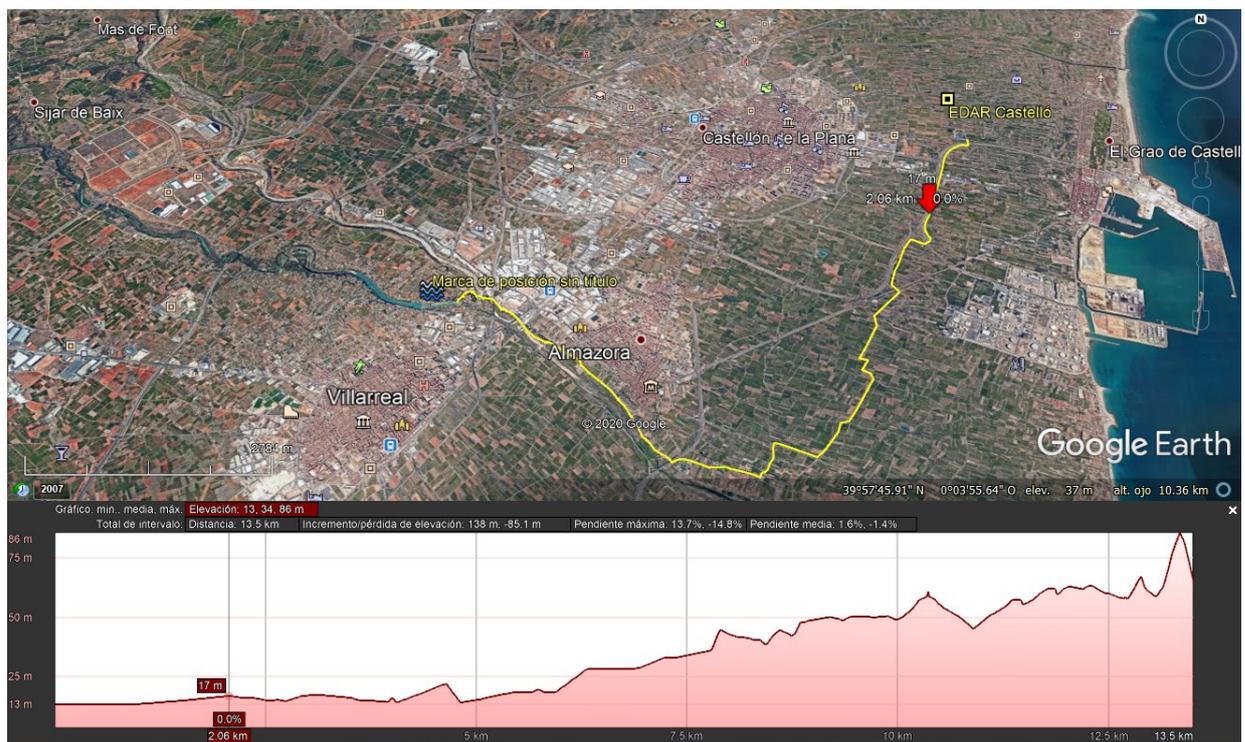


Figura 7. Trazado de la conducción desde la ERA de Castelló al Azud de Santa Quiteria. (Fuente: Elaboración propia)

Los caudales de salida de la ERA son: el 30% de los efluentes pasan por el TR-6 y el 70% por el TR-3, con un rendimiento del 94% y del 97% respectivamente. La conducción sale de la ERA de Castelló a una cota aproximada de 2,8 metros, pasa por la EDAR de Almassora (cota estimada de 22 metros) donde se realizará una toma para los aportes a la zona del Delta del Mijares, y terminará en el Azud de Santa Quiteria (cota estimada 45 metros).

Combinando la gestión de recursos hídricos y las energías renovables para resolver la escasez de agua en áreas con estrés hídrico en la región del mediterráneo - cuenca baja del río mijares (España)

Conducciones desde la ERA de Almassora y desde ERA de Borriana:

Con estas condiciones, se ha propuesto un trazado, como el que muestra la figura, de dos ramales, uno por cada ERA, que confluyen posteriormente en una tubería común. Las dimensiones de cada tramo son:

- Ramal Almassora: Longitud 10.800 metros y 450 mm de diámetro.
- Ramal Borriana: Longitud 2.440 metros y 450 mm de diámetro.
- Ramal Común: Longitud 10.660 metros y 500 mm de diámetro.

En la siguiente imagen de muestra un detalle de las conducciones que impulsarán el agua desde la ERAs de Almassora y Borriana, hacia las balsas de regadío de los regantes en el sur:

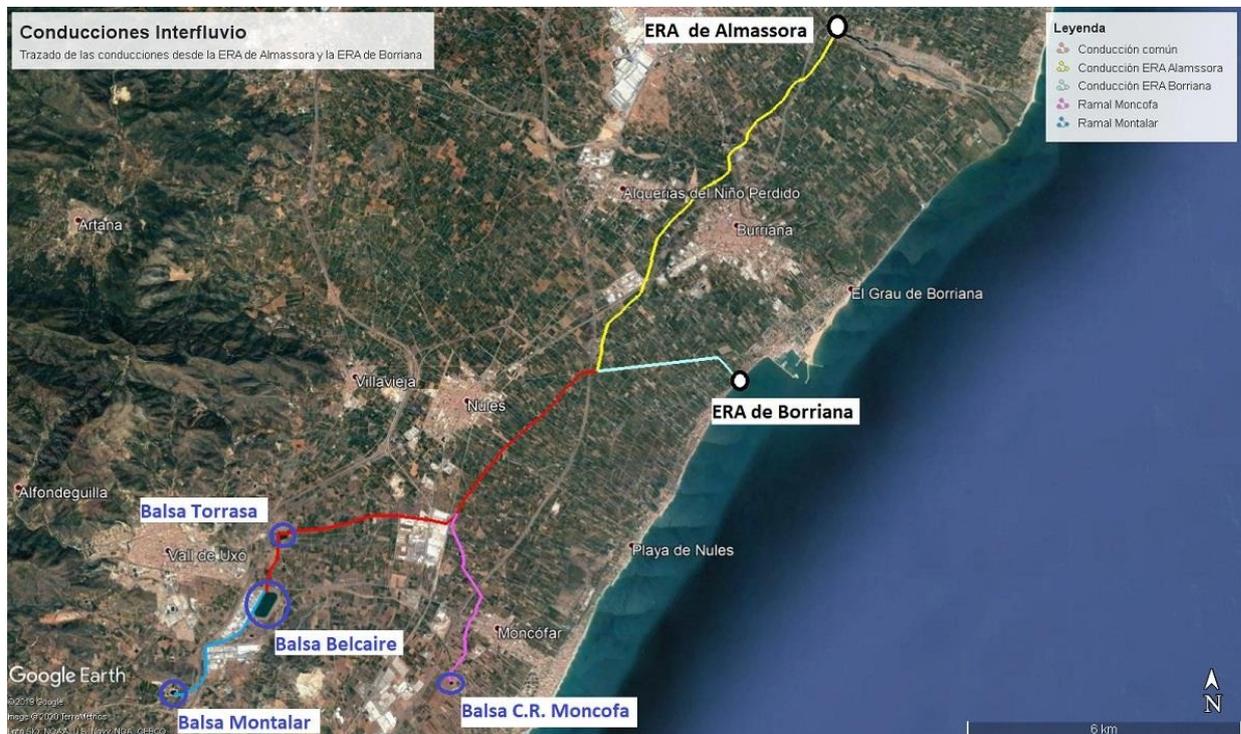


Figura 8. Trazado de las conducciones de la solución para el Interfluvio Palancia-Mijares. (Fuente: Elaboración propia)

La conducción común nace a una cota aproximada de 5 metros, pasa por la balsa situada en la zona de la Rambleta (cota estimada 67 metros) donde se realizará una toma y termina en la Balsa del Belcaire (cota estimada 64 metros).

Para el dimensionamiento de la **conducción principal desde la ERA de Borriana**, los caudales de salida de la ERA serán: el 55% de los efluentes pasarán por el TR-6 y el 45% por el TR-3, con un rendimiento del 94% y del 97% respectivamente. Con estas condiciones, se ha propuesto un trazado directo desde la ERA de Borriana hasta la Balsa del Belcaire de 13.315 m de longitud y diámetro de 450 mm. La conducción sale de la ERA de Borriana a una cota aproximada de 1 metro, pasa por la balsa situada en

Combinando la gestión de recursos hídricos y las energías renovables para resolver la escasez de agua en áreas con estrés hídrico en la región del mediterráneo - cuenca baja del río mijares (España)

la zona de la Rambleta (cota estima de 67 metros) donde se realizará una toma y termina en la Balsa del Belcaire (cota estimada 64 metros).

Con estas condiciones, se ha propuesto un **trazado de conducción directo desde la ERA de Almassora** hasta la Balsa del Belcaire de 22.200 m de longitud y diámetro de 400 mm. La conducción sale de la ERA de Almassora a una cota aproximada de 20 metro, pasa por la balsa situada en la zona de la Rambleta (cota estima de 67 metros) donde se realizará una toma y termina en la Balsa del Belcaire (cota estimada 64 metros). Las premisas para el dimensionamiento de la conducción principal son las siguientes: Caudales de salida de la ERA: El 100% de los efluentes pasan por el TR-3, con un rendimiento del 97%.

Para la regulación de las aguas regeneradas para regadío en la zona del interfluvio Palancia-Mijares, procedentes de las ERAs de Almassora y Borriana, se utilizará la Balsa del Belcaire.

ESTACIONES DE BOMBEO

En el caso presentado en esta comunicación, como hemos mencionado, existe una distancia entre el punto de captación del agua a reutilizar en las distintas ERAs hasta los puntos de entrega (azud de Santa Quitera para la solución del Bajo Mijares y Balsa de Belcaire para la solución del regadío en el Interfluvio, así como un desnivel de cota a salvar, considerables, y por lo tanto, es necesario realizar unas inversiones en estaciones de bombeo para impulsar las aguas.

Además, estas estaciones de bombeo, serán alimentadas energéticamente por energía suministrada mediante un sistema de generación híbrido entre la generación de una Planta Solar Foto-Voltaica (PSFV) y la conexión a la red eléctrica, para momentos de cielos nublados, horas con insuficiente irradiación y consumos fuera del rango horario de producción de la PSFV.

La potencia suministrada por una PSFV tiene forma de campana y para poder maximizar la potencia que proporciona, se puede obtener o con el uso de variadores de frecuencia que sirvan para adaptar la potencia de las bombas a la potencia suministrada, o realizar una combinación de bombas pequeñas. En este caso, el uso de variadores, a pesar de la mejora del rendimiento energético para suministrar caudales inferiores a los nominales, no sustituye el empleo de bombas de menor tamaño (Ruiz 2010). Esto nos lleva a especificar la composición de los bombeos de la siguiente manera:

- Como mínimo se instalarán 2 bombas, más una de repuesto. Tipología 2+1, y La potencia máxima será de 100 kW.
- En las instalaciones con energía fotovoltaica, se instalará además una bomba con la mitad de potencia que el resto de las bombas, más una de repuesto.

Esta configuración de los bombeos permite adaptarse mejor a la potencia producida, dado que, la tipología propuesta puede funcionar a más bajas potencias. Así con la distribución propuesta (3,5 + 1,5), el rango de potencia mínima es más de la mitad que en las tipologías de menor número de bombas con mayor potencia, y los escalones se distribuyen de forma más regular al poder realizarse cualquier combinación, sin tener que forzar las bombas ni el variador.

Estaciones de Bombeo desde las ERAs de Castelló, Almassora y Borriana:

Combinando la gestión de recursos hídricos y las energías renovables para resolver la escasez de agua en áreas con estrés hídrico en la región del mediterráneo - cuenca baja del río mijares (España)

Para calcular la potencia necesaria a instalar en las Estaciones de Bombeo, se tiene en cuenta el caudal máximo de salida de cada ERA, y la altura piezométrica a salvar (mca), según la siguiente fórmula:

$$P = \frac{9.81 \times Q_b \times H_b}{\eta}$$

Donde: Q_b (m^3/s); H_b (mca) y $\eta = 0,80$

Aplicando esto a las 3 instalaciones, se muestra en la siguiente tabla los resultados de potencia a instalar y consumida:

| Instalación | Volumen anual a impulsar ($hm^3/año$) | Q Bombeo (m^3/s) | Altura de Bombeo H (mca) | Potencia instalada (kW) | Energía consumida (kWh/año) |
|---------------|---|----------------------|--------------------------|-------------------------|-----------------------------|
| ERA Castelló | 13,06 | 0,414 | 76,60 | 388,87 | 3.031.000,00 |
| ERA Almassora | 3,66 | 0,116 | 92,20 | 131,22 | 789.000,00 |
| ERA Borriana | 4,23 | 0,134 | 89,70 | 147,54 | 1.260.000,00 |

Los costes de explotación y mantenimiento o coste anual de operaciones CAO, para las conducciones y estaciones de bombeo, se obtienen de acuerdo con la Guía del CEDEX 2011 como un coste fijo, que puede estimarse en el 1,2% de la inversión. Para los costes variables éstos dependen de la potencia instalada y la energía eléctrica consumida.

6.2.2 Condicionante de calidad del agua y normativa aplicable para su uso

En cuanto a la calidad y el régimen jurídico de la reutilización de aguas, la normativa que lo regula es el Real Decreto 1620/2007, por el que se establece el régimen jurídico de la reutilización de las aguas depuradas. Junto a este RD el Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino publicó la "Guía" para la Aplicación del R.D. 1620/2007 (MMARM 2010) que, aunque no es de obligado cumplimiento, se ha utilizado en este caso. En nuestro caso los usos existentes son dos: uso agrícola (calidad 2.3) y usos ambientales (calidad 5.4), según el Anejo I-A del RD 1620/2007.

Para caracterizar la calidad de las aguas del Río Mijares, se tomará como único parámetro la conductividad de las aguas que llegan al Azud de Santa Quiteria. Los datos del mismo, según constan en la Confederación Hidrográfica del Júcar son:

Combinando la gestión de recursos hídricos y las energías renovables para resolver la escasez de agua en áreas con estrés hídrico en la región del mediterráneo - cuenca baja del río mijares (España)

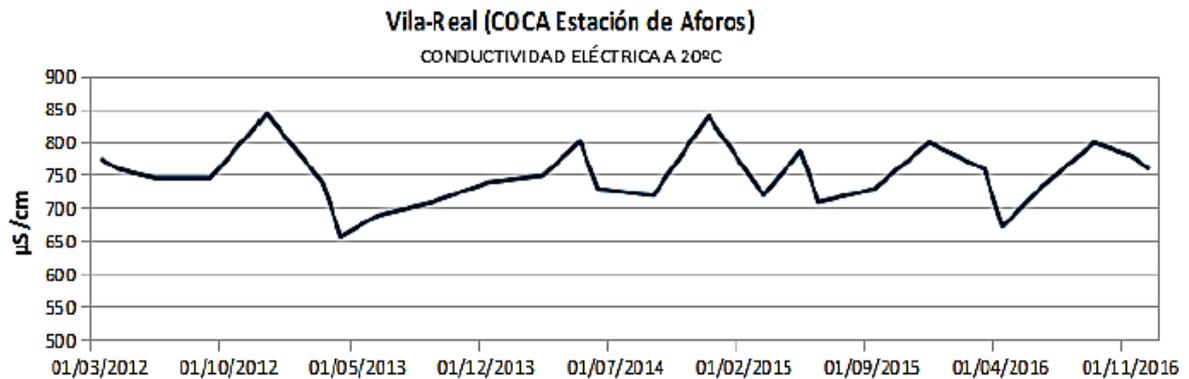


Figura 9. Conductividad del río Mijares en el Azud de Santa Quiteria. Fuente CHJ

Respecto a la calidad de aguas regeneradas para regadío en la zona del Interfluvio, la calidad de los efluentes en las EDAR de Almassora y Borriana, se sitúan entre 1.450 µS/cm y 2.150 µS/cm respectivamente.

El parámetro restrictivo es la conductividad, que no cumplen las EDARs de Castelló, Borriana y Mancomunada. Las soluciones propuestas dependen de si no existe la necesidad de desalar las aguas (Tipos 1, 2, 3 y 4) y si existe la necesidad de desalar las aguas (Tipo 5 y 6) bien por ósmosis inversa (OI) o bien mediante electrodiálisis (EDR), según se establece en el RD 1620/2007.

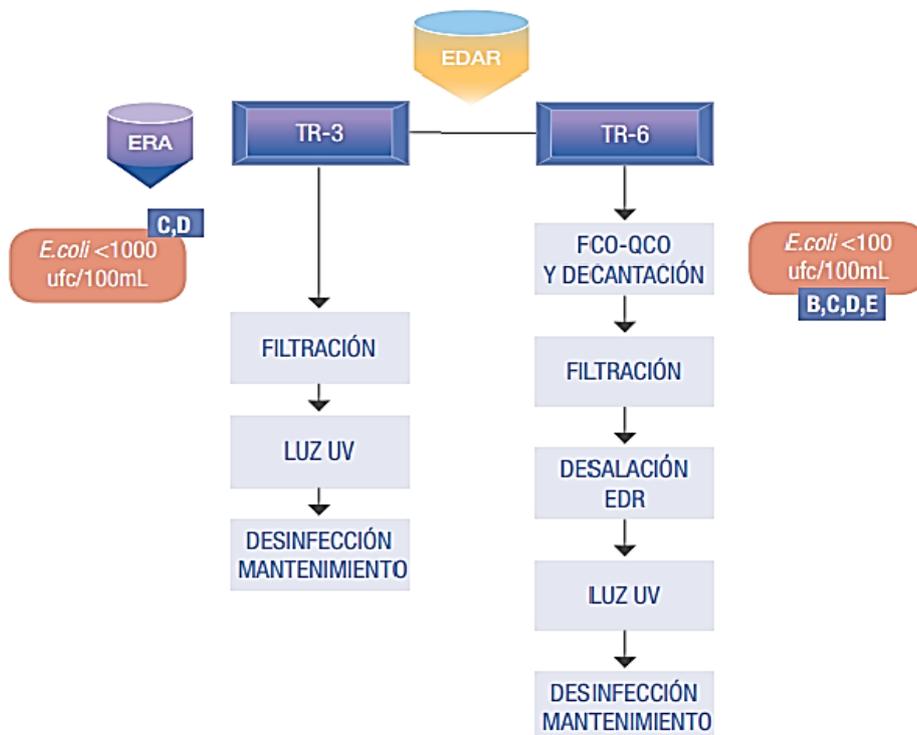


Figura 10. Esquema de los tratamientos de aguas, Fuente Guía para la Aplicación del R.D. 1620/2007

Combinando la gestión de recursos hídricos y las energías renovables para resolver la escasez de agua en áreas con estrés hídrico en la región del mediterráneo - cuenca baja del río mijares (España)

El **Tratamiento tipo 3 (TR-3)** de la guía del RD 1620/2007 propone para los usos que requieren calidades menos exigentes, como son el riego localizado de cultivos leñosos que impida el contacto del agua regenerada con los frutos consumidos en la alimentación humana (uso 2.3.a). Este tratamiento consta de una filtración, más una doble desinfección. El rendimiento de este tratamiento es del 97%, según la “Guía Técnica para la Caracterización de Medidas”, CEDEX 2011. Y en cuanto a los costes económicos, los datos que aparecen en esta guía son:

- Inversión: 9 – 22 €/m³/día, el valor escogido para los **costes de inversión es de 15 €/m³/día**
- Explotación y Mantenimiento: 0,04 – 0,07 €/m³ producido, cogiendo como valor de **costes de explotación y mantenimiento, tomaremos un valor de 0,055 €/m³ producido.**

El **Tratamiento tipo 6 (TR-6)** la guía lo propone para aquellos casos en los que sea necesario eliminar sales del efluente. Este tipo de tratamiento se considera adecuado para alcanzar todas las calidades exigidas por el RD de reutilización. El tratamiento se compone de físico-químico con decantación, filtración, desalación mediante Electrodiálisis Reversible (EDR), y doble desinfección. Y en cuanto a los costes económicos, los datos que aparecen en esta guía son:

- Inversión: 310 – 506 €/m³/día
- Explotación y Mantenimiento: 0,35 – 0,45 €/m³ producido, tomándose 0,14982 €/m³ producido.

En este caso, como existe un anteproyecto que define y valora con gran precisión el tratamiento tipo 6, tomaremos los valores que aparecen para valorar los posibles costes económicos. Por tanto, dichos costes serían:

Costes de implantación para una instalación de 36.000 m³/día, suponen 432,96 €/m³/día.

En nuestro caso, para obtener los costes de implantación, se utilizará la siguiente fórmula biónica:

$$\text{Inversión (€)} = 500.000 + 419,06 * \text{Capacidad ERA (m}^3\text{/día)}$$

En cuanto a los **Costes de explotación y mantenimiento** de la instalación, de los datos del Anteproyecto GVA se puede extraer que ascienden a 0,14982 €/m³ producido, considerando un rendimiento de la instalación 94%.

6.2.3 Condicionante energético. Costes de la energía

En cuanto a los **costes de la energía**, para simplificar y unificar los datos, supondremos que los bombeos funcionan las 24 horas, los 365 días del año. Esto supone, en principio, que los costes de inversión en las Estaciones de Bombeo y las conducciones son menores, a costa de que el Coste Anual de Operación sea superior.

Los costes de la energía eléctrica se basan en una fórmula binómica, es decir una parte fija que depende de la potencia instalada y una parte variable que depende de la energía consumida. El importe considerado de cada uno de ellos se muestra a continuación:

- Potencia instalada: El importe del Término de Potencia es de 112,97 €/kW instalado.
- Energía eléctrica: El importe del Término de Energía es de 0,09829 €/kWh.

Combinando la gestión de recursos hídricos y las energías renovables para resolver la escasez de agua en áreas con estrés hídrico en la región del mediterráneo - cuenca baja del río mijares (España)

Para la potencia instalada, el importe estimado supone la utilización de la tarifa 6.1A (tarifa de seis periodos y una tensión inferior a 30 kV), y el Término de Potencia viene definido en la Orden ETU/1976/2016, de 23 de diciembre de 2016 del Ministerio de Energía, Turismo y Agenda Digital:

| Periodo | P1 | P2 | P3 | P4 | P5 | P6 | Total |
|------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|----------|------------|
| €/kW y año | 39,139427 | 19,586654 | 14,334178 | 14,334178 | 14,334178 | 6,540177 | 108,268792 |

6.3 Fuentes del recurso agua

La fuente del recurso hídrico para este caso de estudio, se encuentra en el potencial de reutilización de aguas depuradas de las EDARs de la zona de estudio, que aún no están siendo reutilizadas.

6.3.1 EDAR-ERAs intervinientes

En el Real Decreto 1/2016, de 8 de enero, por el que se aprueba el Plan Hidrológico de la Demarcación Hidrográfica del Júcar (PHJ), se establecen las asignaciones y reservas que condicionan la reutilización de aguas regeneradas en el interfluvio, y que registrarán cualquier actuación que se realice, y que son:

- EDAR de Castelló, tienen preferencia de uso los riegos tradicionales en caso de sequía, y como máximo se pueden derivar 9 hm³/año al interfluvio.
- Las EDARs de Almassora, Borriana y Mancomunada, no tienen ninguna asignación o reserva sobre sus aguas regeneradas.
- La EDAR de Moncofa tiene una reserva de 1 hm³/año para los regadíos de la Vall d'Uixó y Moncofa, sin embargo, debido a su alta salinidad no se contempla en este estudio.

| EDAR | Q diseño EDAR (m ³ /d) | Efluentes depurados EDAR (hm ³ /año) | Vol. Reut actual (hm ³ /año) | % Reutilización | Incremento Reutilización (hm ³ /año) | Reutilización Total (hm ³ /año) |
|-------------------------|-----------------------------------|---|---|-----------------|---|--|
| EDAR Castelló | 40.000,00 | 13,74 | 1,11 | 8,08% | 12,63 | 13,74 |
| EDAR Borriana | 12.750,00 | 4,59 | | 0,00% | 4,59 | 4,59 |
| EDAR Benicàssim | 6.361,00 | 2,32 | | 0,00% | | 2,32 |
| EDAR Vall d'Uixò | 4.119,00 | 1,50 | 1,47 | 97,78% | 0,03 | 1,50 |
| EDAR Almassora | 6.797,00 | 2,48 | 1,34 | 54,01% | 1,14 | 2,48 |
| EDAR NulesVillavieja | 3.295,00 | 1,20 | 1,19 | 98,95% | 0,01 | 1,20 |
| EDAR Mancomunada | 9.125,00 | 3,33 | 1,34 | 40,23% | 1,99 | 3,33 |
| EDAR Vila-Real | 3.559,00 | 1,30 | 1,30 | 100,00% | | 1,30 |
| EDAR Moncofa | 3.385,00 | 1,24 | | 0,00% | | 1,24 |
| Total | 86.857,00 | 31,70 | 7,75 | 44,34% | 20,40 | 28,15 |

Cuadro 3. Datos de depuración y reutilización actual, e incrementos planteados

Combinando la gestión de recursos hídricos y las energías renovables para resolver la escasez de agua en áreas con estrés hídrico en la región del mediterráneo - cuenca baja del río mijares (España)

Vemos que existe un potencial de reutilización importante en las aguas residuales depuradas de la zona (20,4 hm³/año), concretamente en las EDAR que intervienen en la solución aquí expuesta, son las EDARs de Castelló, Mancomunada, Almassora y Borriana, las cuales suponen la mayor parte del potencial incremento de reutilización, respecto a la situación actual. A continuación, se describen sus principales características, así como la Estación de Regeneración de Aguas (ERA) a desarrollar para la implantación de las soluciones propuestas.

EDAR de Castelló

La EDAR de Castelló está ubicada entre el núcleo urbano de Castelló y el Grao de Castellón. La depuradora fue diseñada para un caudal de proyecto de 45.000 m³/día, aunque en la media de estos últimos cinco años es de 37.201 m³/día, y la tendencia es a estabilizarse en este rango.



Figura 11. Imagen de las instalaciones de la EDAR de Castelló. (Fuente: EPSAR)

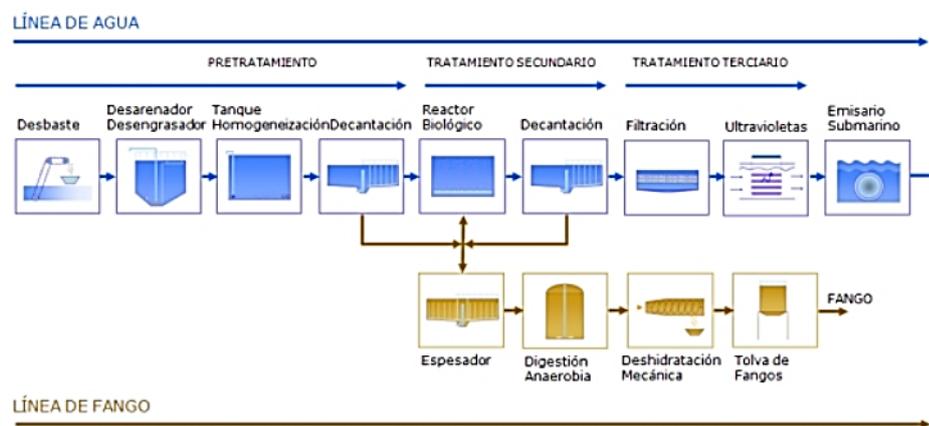


Figura 12. Esquema de la línea de Tratamiento de la EDAR de Castelló. (Fuente: EPSAR)

Los **datos de efluentes** de estos últimos años ascienden a una media de 13,58 hm³/año. En la actualidad se está reutilizando parte de sus efluentes en riegos de parques y jardines del municipio de Castellón, aunque cerca del 90% de sus efluentes se vierten al mar por el emisario submarino existente (datos EPSAR 2017). En cuanto a la **conductividad de los efluentes** estos varían entre 1.845 y 4.555 µS/cm,

Combinando la gestión de recursos hídricos y las energías renovables para resolver la escasez de agua en áreas con estrés hídrico en la región del mediterráneo - cuenca baja del río mijares (España)

pero se pueden estimar la media de estos últimos cinco años alrededor de $3.230 \mu\text{S}/\text{cm}$. Estos valores tan altos son debidos principalmente a la intrusión de agua salina en la zona costera.

En cuanto al **consumo eléctrico de la depuradora**, la Potencia Total Instalada (datos EPSAR 2018) es de 1.369 kW , y el consumo eléctrico asciende a $2.926.902 \text{ kWh/año}$ de media. Con estos datos, el consumo medio horario de energía eléctrica se sitúa en 334 kWh/hora , y la media del consumo eléctrico por metro cubico de agua depurada se establece en $239 \text{ Wh}/\text{m}^3$.

ERA de Castelló:

Los caudales diarios de entrada a la EDAR son, un máximo de $26.789 \text{ m}^3/\text{día}$ en noviembre y un caudal medio de $24.861 \text{ m}^3/\text{día}$. Podemos estimar que el **caudal óptimo de la ERA es de $26.000 \text{ m}^3/\text{día}$** , dado que, solamente existe un mes que sobrepasa esa capacidad.

Según el Informe de la EPSAR, la conductividad media esperada de este efluente es de $2.300 \mu\text{S}/\text{cm}$, por tanto, será necesario rebajar la conductividad de las aguas regeneradas alrededor de $1.500 \mu\text{S}/\text{cm}$. Para ello, calcularemos que porcentaje de las aguas deben pasar por el Tratamiento tipo 6 (TR-6) para rebajar la salida a la conductividad deseada. En nuestro caso, sería: **30% TR-6 + 70% TR-3**, con una conductividad de salida estimada de $1.495 \mu\text{S}/\text{cm}$. Por tanto, la ERA óptima sería: un Tratamiento tipo 3 de Filtración, con un caudal de $30.000 \text{ m}^3/\text{día}$, y un Tratamiento tipo 6 de Desalación, con un caudal de $7.200 \text{ m}^3/\text{día}$

EDAR de Almassora

La EDAR de Almassora está ubicada al sureste del núcleo urbano de Almassora, junto Delta del Mijares. La depuradora fue diseñada para un caudal de proyecto de $13.500 \text{ m}^3/\text{día}$, aunque en la media de estos últimos cinco años es de $6.996 \text{ m}^3/\text{día}$, y la tendencia es a estabilizarse en este rango.



Figura 13. Imagen de las instalaciones de la EDAR de Almassora. (Fuente: EPSAR)

Combinando la gestión de recursos hídricos y las energías renovables para resolver la escasez de agua en áreas con estrés hídrico en la región del mediterráneo - cuenca baja del río mijares (España)

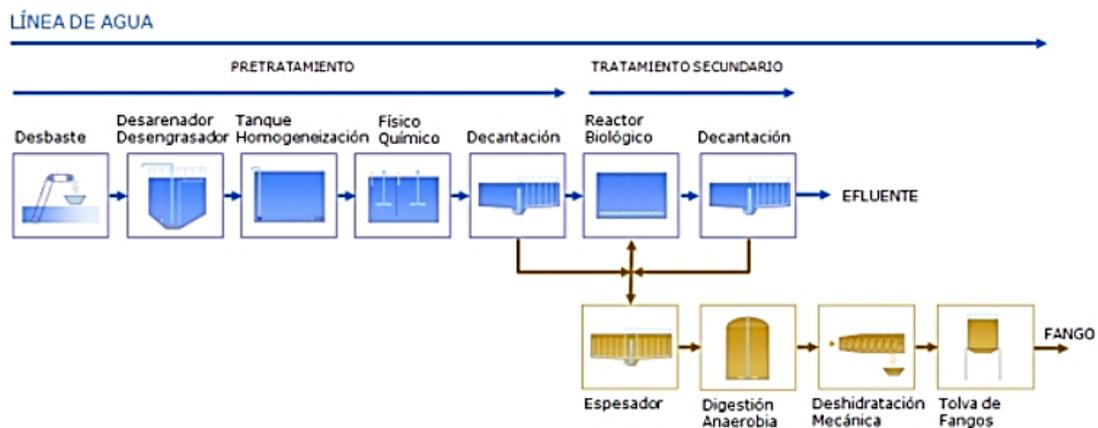


Figura 14. Esquema de la línea de Tratamiento de la EDAR de Almasora. (Fuente: EPSAR)

Los **datos de efluentes** de estos últimos años ascienden a una media de 2,56 hm³/año. Gran parte de los efluentes vierten al Río Mijares, y se estima que nos 2.000 m³/día se derivan a los Humedales Artificiales construidos por la CHJ y Conselleria. El volumen depurado en 2016 fue de 12.110 m³/día, y el caudal de proyecto es de 20.000 m³/día. El caudal útil es el total de los efluentes 4,44 hm³/año.

La **conductividad de los efluentes**, según los datos de las analíticas proporcionados por la EPSAR, la media de estos últimos cinco años está alrededor de 1.560 µS/cm. Por tanto, solo es necesario la construcción de un Tratamiento Terciario mediante Filtración e incluir la Desinfección mediante Ultravioletas.

En cuanto al **consumo eléctrico de la depuradora**, la Potencia Total Instalada (datos EPSAR 2018) es de 1.073 kW, y la media de consumos eléctricos de los años 2016 – 2018 es de 2.042.103 kWh. Con estos datos, el consumo horario medio de energía eléctrica se establece en 233 kWh/hora, y un consumo eléctrico por metro cubico de agua depurada se establece en 769 Wh/m³, valor que triplica los valores de la EDAR de Castellón y la EDAR de Borriana.

EDAR de Borriana

La EDAR de Castellón está ubicada al sur del puerto de Borriana, junto al paseo marítimo en la playa de Borriana. La depuradora fue diseñada para un caudal de proyecto de 20.000 m³/día, aunque en la media de estos últimos cinco años es de 12.685 m³/día, y la tendencia es a estabilizarse en este rango.

Combinando la gestión de recursos hídricos y las energías renovables para resolver la escasez de agua en áreas con estrés hídrico en la región del mediterráneo - cuenca baja del río mijares (España)



Figura 15. Imagen de las instalaciones de la EDAR de Borriana. (Fuente: EPSAR)

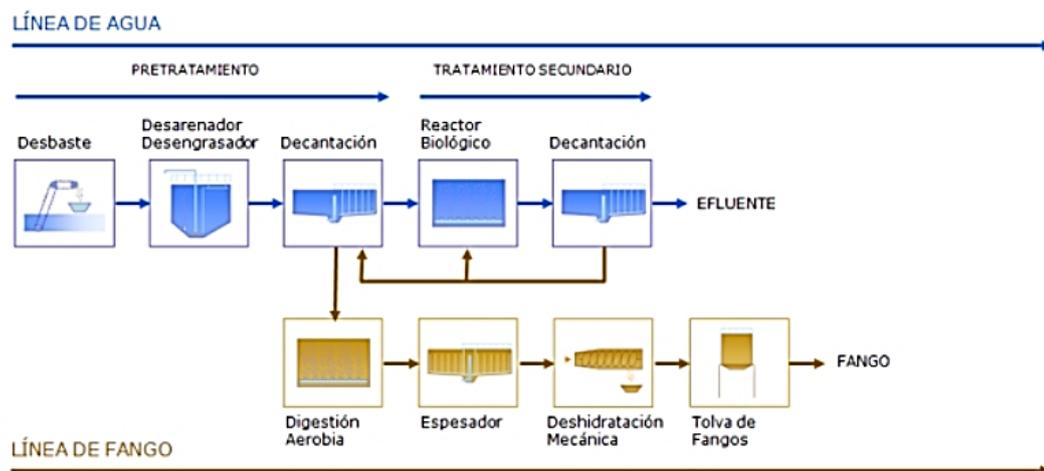


Figura 16. Esquema de la línea de Tratamiento de la EDAR de Borriana. (Fuente: EPSAR)

Los **datos de efluentes** de los estos últimos años ascienden a una media de 4,63 hm³/año, la totalidad van directos al mar, mediante una tubería que termina en la escollera situado enfrente de la depuradora. El caudal de proyecto es de 13.500 m³/día. La EDAR consta de dos líneas separadas de 9.500 y 4.500 m³/día. Se estima que 2.000 m³/día se derivan a los humedales artificiales que existen en el Delta del Mijares.

En cuanto a la **conductividad de los efluentes**, estos varían entre 1.466 y 2.970 $\mu\text{S}/\text{cm}$, pero se pueden estimar la media de estos últimos cinco años se sitúa alrededor de 2.010 $\mu\text{S}/\text{cm}$ siendo necesario, la instalación de un tratamiento de desalación que rebaje la conductividad de las aguas regeneradas por debajo de 1.500 $\mu\text{S}/\text{cm}$.

Combinando la gestión de recursos hídricos y las energías renovables para resolver la escasez de agua en áreas con estrés hídrico en la región del mediterráneo - cuenca baja del río mijares (España)

En cuanto al **consumo eléctrico de la depuradora**, la Potencia Total Instalada (datos EPSAR 2018) es de 451 kW. La media de los consumos eléctricos de los años 2016 – 2018 asciende a 1.157.399 kWh. Con estos datos, el consumo horario medio de energía eléctrica se establece en 132 kWh/hora, y el consumo eléctrico por metro cubico de agua depurada se establece en 243 Wh/m³.

ERA de Borriana:

No existe ninguna reserva asociada a esta EDAR, por tanto, podemos suponer que todo el caudal es susceptible de su reutilización en el Interfluvio. Estos serían los caudales diarios de las entradas, con un máximo de 13.129 m³/día en septiembre y un caudal medio de 12.160 m³/día. Podemos estimar que el **caudal óptimo de la ERA de Borriana** es de **13.000 m³/día**, dado que, solamente existen dos meses que sobrepasan esa capacidad. Como ya hemos comentado, un caudal menor comportaría un menor importe de las instalaciones, a costa de un menor caudal de aguas regeneradas.

Para rebajar la conductividad de las aguas regeneradas por debajo de 1.500 µS/cm, en nuestro caso, sería: con un **55% de TR-6 y un 45% de TR-3**, con una conductividad de salida estimada de 1.551 µS/cm. Por tanto, la ERA óptima sería: tratamiento tipo 3, caudal 6.000 m³/día (se ha redondeado al alza) y tratamiento tipo 6, caudal 7.150 m³/día

ERA de Almassora:

Esta planta, junto a la EDAR Mancomunada y la de Vora Riu aportan el caudal ecológico del Delta del Mijares, y por tanto hay que respetar estos caudales ecológicos. Para conseguir el objetivo de mantener el caudal ecológico se realiza la siguiente propuesta:

Con un caudal diario medio de 8.229 m³/día, podemos estimar que el **caudal óptimo de la ERA es de 10.000 m³/día**. El **tratamiento necesario será el de tipo TR-3**, ya que, según los datos facilitados por la EPSAR, la conductividad media esperada de este efluente es de 1.543 µS/cm (media ponderada de los dos vertidos), por tanto, no será necesario rebajar la conductividad de las aguas regeneradas.

Combinando la gestión de recursos hídricos y las energías renovables para resolver la escasez de agua en áreas con estrés hídrico en la región del mediterráneo - cuenca baja del río mijares (España)

6.4 Fuentes del recurso energía

Para el caso de la energía (sistema híbrido), los costes asociados a este concepto, abarcan desde los costes de compra de energía, para el funcionamiento de las plantas EDAR y ERA, y de los bombes, de la parte que no se cubra con la producción de energía de la planta solar fotovoltaica (PSFV), hasta los costes de inversión de esta última, que a continuación se explican.

Cuando por encima del emplazamiento de la instalación fotovoltaica se produce un paso de nubes, la instalación fotovoltaica disminuye la potencia entregada, y en ese punto será necesario que la instalación de bombeo se complemente con energía de la red.

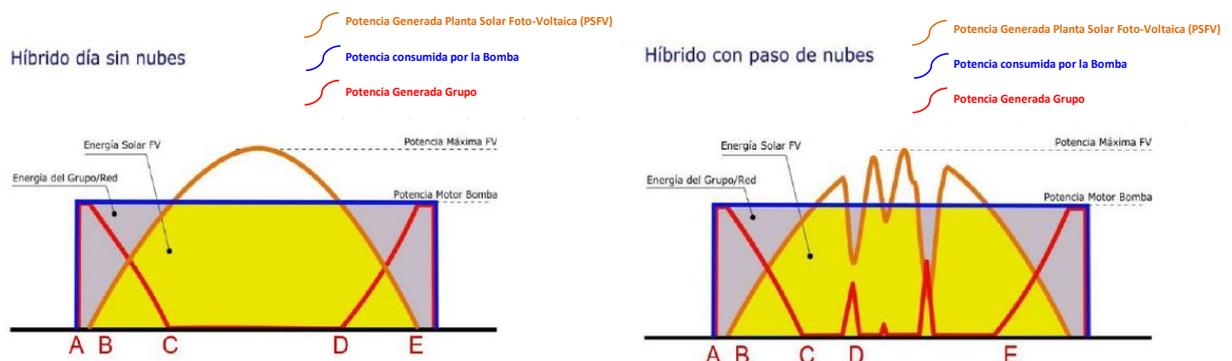


Figura 17. Funcionamiento de un sistema híbrido PSFV+Red. (Fuente Díaz 2018)

Orientación e Inclinación:

Otro punto importante es la orientación de los módulos solares, dado que, un módulo solar recibe la mayor cantidad posible de energía si es perpendicular a la dirección del Sol. Como la posición del Sol varía a lo largo del día y a lo largo del año, la posición óptima del módulo también varía.

Como la máxima irradiación se produce a mediodía, las placas deben situarse con una orientación sur, que aprovecha mejor la producción máxima durante más horas al año. En el estudio que se realizó, resultó que **el ángulo de inclinación, de mayor producción, era el de 37°**, siendo su suma promedio de **irradiación global anual de 2.041,68 kWh/m²/año**, y según el ángulo de incidencia suba o baje, la suma anual disminuye hasta el 1.975,41 kWh/m²/año para un ángulo de 20°, o 1.871,64 kWh/m²/año para un ángulo de 63°, que supone una disminución del 2,25% y 8,33 % respectivamente.

Finalmente, las 3 Plantas Solares Fotovoltaicas (PSFV) a instalar resultaron: en la ERA de Almassora, 17.240 m² y 1.197 kW instalados, 20.107 m² y 1.676 kW instalados en la ERA de Borriana y 17.240 m² y 1.436 kW instalados en la ERA de Castelló.

Para este estudio se elaboró un modelo de simulación de consumos energéticos y costes de las instalaciones de la ERA y de la EDAR asociada, donde se establecen cuatro situaciones: la compra de energía a la red para el consumo no cubierto por la PSFV, el autoconsumo cubierto con PSFV en la ERA y parte en la EDAR, y el vertido a la red, en caso de exceso de producción.

Combinando la gestión de recursos hídricos y las energías renovables para resolver la escasez de agua en áreas con estrés hídrico en la región del mediterráneo - cuenca baja del río mijares (España)

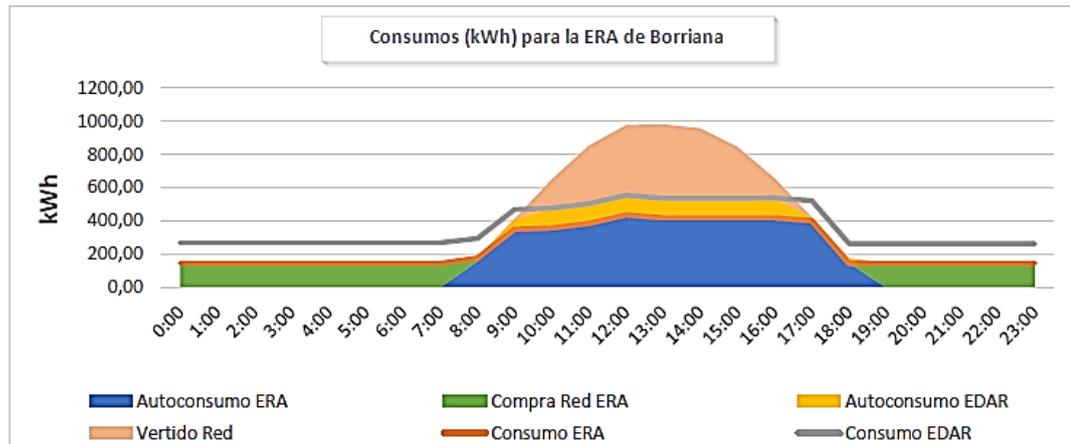


Figura 18. Resultado del modelo de consumos y costes energéticos para la EDAR-ERA de Borriana, con una potencia instalada de 1.675 kW.

Con estos datos se estableció el Saldo Económico-Energético (€/año) de cada una de las alternativas, según su potencia instalada y el ángulo de inclinación de las placas solares. Este saldo se tiene en cuenta dentro del cálculo del CAO y del CAE, y se establece según la siguiente fórmula.

$$\text{Saldo} = A_{\text{EDAR}} + V - D$$

Siendo:

Saldo: Saldo Económico-Energético de la planta, en €/año

A_{EDAR} : Valor del autoconsumo de la EDAR según el modelo de la alternativa, en €/año

V: Valor de los Vertidos a Red según el modelo de la alternativa, en €/año

D: Valor de las Compras a Red según el modelo de la alternativa, en €/año.

Combinando la gestión de recursos hídricos y las energías renovables para resolver la escasez de agua en áreas con estrés hídrico en la región del mediterráneo - cuenca baja del río mijares (España)

6.5 Resumen de costes de las alternativas

Para poder comparar las diferentes opciones del estudio debe obtenerse el Coste Anual Equivalente de cada actuación (CAE). El coste anual equivalente integra los componentes de costes de inversión y costes de explotación y mantenimiento. Se ha supuesto la vida útil de las actuaciones conforme a los valores recogidos en la Guía del CEDEX 2011, y de forma simplificada, éstos han sido de 25 años para las Estaciones de Bombeo y Conducciones, 15 años para los módulos de desalación y ERAs, y de 35 años para tratamientos terciarios y balsas de regulación. El coste anual equivalente (CAE) se obtiene conforme a la siguiente expresión:

$$CAE = I * \frac{r * (1 + r)^n}{(1 + r)^n - 1} + CAO$$

En donde: r: tasa de descuento, igual al 4%

n: vida útil

I: Coste de inversión

CAO: coste de operación y mantenimiento.

Las siguientes tablas muestran los **costes totales de la solución** para cada solución, considerando los **costes de instalación o de primer establecimiento y los costes de operación**, para evaluar finalmente los costes totales anuales y la tasa de coste específico (€/m³). Los conceptos principales involucrados son los costes de inversión de las ERAs, las plantas fotovoltaicas, las tuberías de transferencia y estaciones de bombeo, por un lado, y los costes de operación, por el otro (La Jeunesse et al., 2016)

Cuadro 4. Tabla de Costes de Inversión (Millones de €) para ambas Soluciones (Sol 1- Caudales ambientales para el Bajo Mijares y Delta cubiertos con efluentes de la ERA de Castelló; Sol 2 - Caudales de riego en el acuífero del Interfluvio con efluentes de las ERAs de Almassora y Borriana)

| Concept | Costes Tuberías | Costes Bombeo | Balsa Regulación | Const. Planta PSFV | Coste Trat. Regeneración | Costes Expropiar | TOTAL Costes Inversión |
|--------------------------|-----------------|---------------|------------------|--------------------|--------------------------|------------------|------------------------|
| ERA Castelló | 6,52 | 1,61 | 0,13 | 1,94 | | 0,33 | 10,53 |
| ERA Almassora | 6,98 | 1,4 | 0,15 | 1,62 | 0,95 | 0,3 | 11,4 |
| ERA Borriana | 5,51 | 1,44 | 0,15 | 2,27 | 5,32 | 0,43 | 15,12 |
| Total Interfluvio | 12,49 | 2,84 | 0,3 | 3,89 | 6,27 | 0,73 | 26,52 |

El coste medio del Wp instalado para la Planta Solar Fotovoltaica (PSFV) resultó ser de 1,354 €/Wp teniendo en cuenta todos los componentes considerados ya mencionados (paneles o módulos solares fotovoltaicos, inversor, estructura de soporte y ensamblaje, instalación eléctrica, obras auxiliares y costes de redacción de proyecto y dirección de obra.

Combinando la gestión de recursos hídricos y las energías renovables para resolver la escasez de agua en áreas con estrés hídrico en la región del mediterráneo - cuenca baja del río mijares (España)

6.5.1 Costes Bajo Mijares

El Cuadro 5 muestra los resultados de costes en una situación en la que se construye una PSFV que contribuye a cubrir gran parte de los consumos energéticos, mientras que el Cuadro 6 muestra los mismos resultados, pero sin el aporte de la PSFV y toda la energía necesaria para las EDAR-ERA y los bombeos, proviene de red. La instalación de la PSFV supone una mayor inversión inicial, pero unos costes de operación, mucho menores a lo largo de la vida de las instalaciones.

Cuadro 5. Tabla de resultados de Costes Anuales de Operación (CAO) y Costes Anuales Equivalentes (CAE) para ambas Soluciones (con Instalación Fotovoltaica).

| | Costes Inversión con PSFV (€) | Costes de Operación (€) | Volúmenes anuales (m ³ /año) | Coste Anual Equivalente (CAE) (€) | Coste Anual Operación (CAO) (€/m ³) | Coste Anual Equivalente (EAC) (€/m ³) |
|--|-------------------------------|-------------------------|---|-----------------------------------|---|---|
| Bajo Mijares Delta (Aportes al Caudal ecológico con EDAR Mancomunada y ERA Castelló) | | | | | | |
| Bajo Mijares | 10.530.000,00 | 208.018,00 | 12.080.000,00 | 880.925,00 | 0,017 | 0,064 |
| Interfluvio Palancia-Mijares (Balsa de Belcaire-Riego) | | | | | | |
| ERA Almassora | 11.400.000,00 | | | | | |
| ERA Borriana | 15.120.000,00 | | | | | |
| Total Interfluvio | 26.520.000,00 | 781.676,00 | 9.910.000,00 | 3.680.458,00 | 0,079 | 0,37 |

En la solución del Bajo Mijares y el Delta, se abastecerán un total de 12.080.000,00 m³/año, respetando el caudal ambiental del río Mijares, con los efluentes procedentes de la ERA de Castelló y la EDAR Mancomunada (ya existente), entre otros, y la ratio de coste específico CAO será de 0,017 €/m³ y 0,064 €/m³ para el CAE, considerando la instalación de las 3 Plantas Fotovoltaicas en cada parcela de EDAR. Esta solución sin considerar las ventajas del uso de energía fotovoltaica, resulta en 0,035 €/m³ para el CAO (+ 51%) y valores similares para el CAE 0,065 €/m³.

Combinando la gestión de recursos hídricos y las energías renovables para resolver la escasez de agua en áreas con estrés hídrico en la región del mediterráneo - cuenca baja del río mijares (España)

6.5.2 Costes Interfluvio Mijares-Palancia

Para la solución del Interfluvio Palancia-Mijares y aportes a la balsa de Belcaire, se abastecerá un total de 9.910.000,00 m³/año, para riego de cultivos, con los efluentes provenientes de la ERA de Borriana (4.233.964,00 m³/año), y la ERA de Almassora (3.663.518,00 m³/año), y efluentes de otras EDAR, y la ratio de coste específico será de 0,079 €/m³ para AOC y de 0,370 €/m³ para AEC. Esta solución sin considerar las ventajas del uso de energía fotovoltaica, resulta en 0,112 €/m³ para el CAO (+ 30%) y valores similares para el CAE 0,367 €/m³.

Cuadro 6. Tabla de resultados de Costes Anuales de Operación (CAO) y Costes Anuales Equivalentes (CAE) para ambas Soluciones (Sin Instalación Fotovoltaica).

| | Costes Inversión sin PSFV (€) | Costes de Operación (€) | Volúmenes anuales (m ³ /año) | Coste Anual Equivalente (CAE) (€) | Coste Anual Operación (CAO) (€/m ³) | Coste Anual Equivalente (EAC) (€/m ³) |
|--|-------------------------------------|-------------------------------|---|---|---|---|
| Bajo Mijares Delta (Aportes al Caudal ecológico con EDAR Mancomunada y ERA Castelló) | | | | | | |
| Bajo Mijares | 7.271.690,00 | 428.249,00 | 12.080.000,00 | 782.965,59 | 0,035 | 0,065 |
| Interfluvio Palancia-Mijares (Balsa de Belcaire-Riego) | | | | | +51% | +1% |
| ERA Almassora | 8.770.000,00 | | | | | |
| ERA Borriana | 12.121.920,00 | | | | | |
| Total Interfluvio | 20.891.920,00 | 1.108.948,00 | 9.910.000,00 | 3.379.808,87 | 0,11 | 0,37 |
| | | | | | +30% | -1% |

La situación actual es que la Administración es responsable tanto de la protección del medio ambiente y del buen estado del río, como de la operación de las EDAR de la zona, mediante contratos de concesión de explotación a empresas privadas. Las Comunidades de Regantes pagan 0,15 €/m³ por el agua utilizada, y los ciudadanos pagan el tratamiento de las aguas residuales a través de sus impuestos de alcantarillado. Debe haber un compromiso mutuo entre administraciones, gestores y usuarios, para poder afrontar estas acciones necesarias, y ahí es donde entran en juego la legislación y la normativa.

7 DISCUSIÓN

El objetivo principal de esta Comunicación es estudiar cómo la reutilización de las aguas residuales depuradas que se producen en las EDARs de la zona de la Plana de Castelló y el uso de fuentes de energías renovables como la solar fotovoltaica, permiten dar soluciones a problemas de escasez de agua y medioambientales, en zonas, que a priori no se encuentra disponibilidad inmediata del recurso, como la parte baja de la cuenca del Mijares y las zonas de regadío en el interfluvio, dentro del Sistema de Explotación Mijares – Plana de Castelló.

Del análisis de las posibles alternativas de solución, analizando el suministro a las zonas de demanda desde los distintos puntos de producción (ERAs) y teniendo en cuenta los condicionantes técnicos, económicos y normativos, se han detectado posibles alternativas para la resolución de los dos principales problemas existentes en el sistema, es decir:

- Mitigar la sobreexplotación de las aguas subterráneas en el Interfluvio Palancia –Mijares donde los niveles piezométricos en las últimas décadas, han ido descendiendo de forma progresiva, favoreciendo el avance de la cuña salina.
- La implantación de un Caudal Ecológico en el tramo desde el azud de Santa Quiteria en Almassora y Castelló y la depuradora de Vila-real, con el objetivo de garantizar la continuidad del curso de agua.

Para ello se tuvo en cuenta diversos estudios de soluciones, como las planteadas por la Confederación Hidrográfica del Júcar (CHJ) en el marco de la planificación hidrológica en el Plan Hidrológico del Júcar 2015-21 (PHJ 2015-21).

Desde el anterior estudio (Castro 2017), se analizó y concluyó que la solución idónea, desde el punto de vista del planeamiento, era la conveniencia de trasegar los efluentes de la EDAR de Castellón hasta el Azud de Santa Quiteria, situado a escasos metros agua arriba del Azud de Almassora-Castelló. Esta aportación, junto a agua superficial del río deberían de satisfacer el nuevo régimen ecológico de este tramo intermedio del Bajo Mijares.

El estudio tenía como premisa que el caudal ecológico a implementar en este tramo se establecería entre 0,30 m³/s y 0,4 m³/s, valor superior al establecido en el Delta del Mijares que es de 0,1 m³/s. Sin embargo, el modelo de caudales ecológicos realizado posteriormente por la CHJ, concluyó que eran necesarios en el entorno de 3,7 m³/s si se quiere dar continuidad hasta el mar suponiendo el punto de vertido en el azud de Almassora-Castellón. Para conseguir la continuidad del río se presenta en este estudio una reutilización mayor de 3,99 hm³/año, necesaria junto con la aportación de agua superficial del río, aprovechando la totalidad de las aguas depuradas de la EDAR de Castelló, y compensar así las filtraciones que existen en ciertos tramos bajos del río Mijares.

Así, luego de aplicar la metodología de toma de decisiones y gestión presentada anteriormente, el caso de estudio aquí explicado consistió principalmente en resolver una demanda de agua para dos usos diferentes del agua:

- Por un lado el aprovechamiento medioambiental de asegurar el caudal medioambiental de 3,99 hm³/año en el tramo bajo del río Mijares y Delta (ERA de Castelló y EDAR Mancomunada),
- Y por otro lado, el suministro de agua de riego de las ERAs vinculadas a las EDAR de Borriana y Almassora hasta la balsa de riego de Belcaire en el municipio de Vall d'Uixò (7,9 hm³ / año).

Combinando la gestión de recursos hídricos y las energías renovables para resolver la escasez de agua en áreas con estrés hídrico en la región del mediterráneo - cuenca baja del río mijares (España)

Las aportaciones de agua en la solución del Interfluvio, provendrán 100% de EDAR Borriana y EDAR Almassora, como la mejor opción de recurso (Castro 2017), y las aportaciones para la mejora del caudal ecológico del Bajo Mijares, provendrán 100% de EDAR Mancomunada y de la EDAR de Castelló.

Las ventajas de estas soluciones suponen un incremento de la reutilización en la zona, ya que en la actualidad se estaban reutilizando una media de 7,76 hm³/año (25 % de 30,85 hm³/año) de las aguas depuradas, y con las actuaciones planteadas la media de la reutilización alcanza los 28,15 hm³/año (un 88,7 % más), lo cual supone un aporte de recurso al sistema de explotación, con una mayor garantía de suministro, al ser permanente y de una mejor calidad, y en todo caso, ajustable, por medio de los tratamientos que se lleven a cabo en las ERAs

Por otro lado, se garantizan los caudales ecológicos en el río Mijares, dándole continuidad hasta la zona de la desembocadura y del Delta, con un Qeco de 0,30 m³/s cuando en la actualidad no existe, con todos los beneficios medioambientales que conlleva, aunque sean de cuantificación compleja. Se mantiene, así mismo, el Qeco de 0,10 m³/s de la zona del Delta y los 2.000 m³/día de los humedales artificiales.

En cuanto a la problemática existente a la sobreexplotación del acuífero en la zona del Interfluvio y los problemas crecientes de intrusión salina, el aporte de efluentes regenerados desde la ERAs de Almassora y Borriana, y su regulación a través de la balsa de Belcaire, supone una reducción de las extracciones de aguas subterráneas. Con esta alternativa elegida y las reglas de gestión, las reducciones de las extracciones de aguas subterráneas en la zona del Interfluvio alcanzan el 58,8 %. La aportación media de la balsa (escorrentía + regeneración) se sitúa en 11,53 hm³/año, muy superior al Déficit Hídrico calculado por la Confederación Hidrográfica del Júcar, que lo cifra entre 5,6 y 7,8 hm³/año. De esta forma, se da garantía de suministro a la demanda de las comunidades de regantes.

Combinando la gestión de recursos hídricos y las energías renovables para resolver la escasez de agua en áreas con estrés hídrico en la región del mediterráneo - cuenca baja del río mijares (España)

8 CONCLUSIONES

La gestión integrada utilizada en la planificación de la asignación de recursos hídricos, teniendo en cuenta el binomio agua-energía, puede significar una manera eficaz de resolver los problemas de escasez de agua en regiones donde el estrés hídrico probablemente empeorará en el futuro, como consecuencia de los efectos del cambio climático. y prácticas insostenibles.

En este caso de estudio, a través de la integración de fuentes de energía renovable (energía fotovoltaica) en el proceso de producción de recursos hídricos, encontremos una solución a una situación de uso insostenible del agua, reduciendo significativamente los costos operativos y resolviendo un problema de pérdida de continuidad del río Mijares. y cambio de origen del agua de riego, procedente de la extracción del acuífero para la recuperación de efluentes de agua, en el acuífero del Interfluvio Palancia-Mijares, frente a la sobreexplotación e intrusión marina del acuífero.

En el caso del bajo Mijares: se pueden resolver problemas de falta de continuidad de cursos fluviales o de desaparición de humedales, como el caso del Río Mijares, contribuyendo a las aportaciones de caudales ecológicos establecidos; y se mantiene y mejora la garantía de los Riegos Tradicionales del Mijares.

En el caso del interfluvio Mijares-Palancia: El Coste Anual de Operación (CAO) de sistemas EDAR-ERA-Bombeo para cubrir demandas de agua en localizaciones distantes, pueden verse fuertemente disminuidos, con la introducción de fuentes de energía renovable, como la solar fotovoltaica, haciendo viable la inversión inicial; la conductividad de las aguas regeneradas se sitúa alrededor de 1.550 $\mu\text{S}/\text{cm}$, inferior a los 2.000 $\mu\text{S}/\text{cm}$ que como mínimo existe en la zona; las aguas regeneradas, frente a las aguas subterráneas, llevan ya aporte de nutrientes, que pueden producir un ahorro en fertilizantes, sin contar la mejor calidad, en el caso de acuíferos sobreexplotados con intrusión salina, que puede llevar a producir, riego con aguas salobres; la eliminación del Déficit Hídrico, podemos esperar que se elimine poco a poco el cono de depresión por sobreexplotación de aguas para riego y se elimine la entrada de la cuña salina; finalmente, se mantiene y mejora la garantía de los Riegos de la zona del Interfluvio.

El uso de energía solar mediante planta fotovoltaica reduce el coste operativo en torno al 50% para el aseguramiento de los caudales ambientales en el río Mijares y en torno al 30% para las actividades de riego, trasladando esta reducción de costes a las empresas explotadoras y administraciones, en primer lugar, y en segundo lugar a los impuestos pagados por los usuarios, pero dentro de una alternativa sustentable y de preocupación ambiental.

Combinando la gestión de recursos hídricos y las energías renovables para resolver la escasez de agua en áreas con estrés hídrico en la región del mediterráneo - cuenca baja del río mijares (España)

9 AGRADECIMIENTOS

Este trabajo ha sido realizado gracias a la información facilitada por la Confederación Hidrográfica del Júcar, la Entidad Pública de Saneamiento de Aguas Residuales (EPSAR) y la Conselleria d'Agricultura, Medi Ambient, Canvi Climàtic i Desenvolupament Rural de la Generalitat Valenciana.

10 BIBLIOGRAFIA

Anpier (2019): Photovoltaic Yearbook 2019 edited by the National Association of Photovoltaic Energy

Producers. <https://anpier.org/wp-content/uploads/2019/06/anuario245x173-DEF.junio-2019-WEB.pdf>

Castro (2017): Castro Quiles, B., 2017. Trabajo Fin de Master: Estudio de la reutilización integrada de las aguas regeneradas en el tramo final del río Mijares. Universitat Politècnica de València. Septiembre, 2017.

Castro (2020): Castro Quiles, B., 2020. Trabajo Fin de Máster. Estudio integrado hidráulico y energético de la reutilización de aguas regeneradas en el tramo final del Río Mijares (Castellón). Master Universitario en Ingeniería de Caminos, Canales y Puertos. Universitat Politècnica de València Febrero 2020.

CEDEX (2009). Technical Guide on pipes for the transport of water under pressure (CEDEX), 6th Edition. Madrid 2009, Publications Center, Ministry of Development.

CEDEX (2011). Technical Guide for the characterization of measures to be included in the river basin management plans. Madrid: Center for Hydrographic Studies (CEDEX). Ministry of Environment.

CHJ (2019) Jucar River Basin Authority (CHJ) – Ministerio de Medio Ambiente. Plan Hidrológico de la Demarcación Hidrográfica del Júcar - Plan 2015-2021 (PHJ 2015-21). <http://www.chj.es/es-es/medioambiente/planificacionhidrologica/Paginas/PHC-2015-2021-Plan-Hidrologico-cuenca.aspx>

EPSAR (2018). Entidad Pública de Saneamiento de Aguas Residuales (EPSAR). Generalitat Valenciana

Combinando la gestión de recursos hídricos y las energías renovables para resolver la escasez de agua en áreas con estrés hídrico en la región del mediterráneo - cuenca baja del río mijares (España)

(GVA). Data series of WWTP effluents and energy and power costs data

García & Pargament (2013): X. Garcia and D. Pargament, 2015: Reusing wastewater to cope with water scarcity: Economic, social and environmental considerations for decision-making – Science

Direct. Resources, Conservation and Recycling.

<https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2015.05.015>.

HidroJING (2019): HidroJING ¿Cuál es el diámetro óptimo de una impulsión?

<http://www.hidrojing.com/diametro-optimo-de-una-impulsion/> visitado el 12 de diciembre

2019

IDAE (2011): Institute for the Diversification and Saving of Energy (IDAE 2011). Specifications of Technical Conditions for Installations Connected to the Grid (July 211)

Iglesias (2006): Iglesias et al., 2006: Ana Iglesias & Luis Garrote & Francisco Flores & Marta Moneo, 2006: Challenges to Manage the Risk of Water Scarcity and Climate Change in the Mediterranean -

Water Resour Manage (2007) 21:775–788 - DOI 10.1007/s11269-006-9111-6

La Jeunesse et al., (2016): I. La Jeunesse C. Cirellia, D. Aubin, C. Larrued, H. Sellamie, S. Afifif, A. Belling, S. Benabdallah, D.N. Birdi, R. Deiddajk, M. Dettoril, G. Enginm, F. Herrmannn, R. Ludwig, B.

Mabrouk, B. Majone, C. Paniconi, and A. Soddu 2016: Is climate change a threat for water uses in the Mediterranean region? Results from a survey at local scale - Science of The Total

Environment. Volume 543, Part B, 1 February 2016, Pages 981-996

<https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2015.04.062>

Mas (2016): Mas Ortega JG. (2016): Análisis coste / beneficio aplicado a procesos de depuración y reutilización, Máster Universitario en Gestión Sostenible y Tecnologías del Agua. Trabajo Fin de

Máster. Universitat d'Alacant 2016. [https://iuaca.ua.es/es/master-agua/documentos/-](https://iuaca.ua.es/es/master-agua/documentos/-gestadm/trabajos-fin-de-master/tfm10/tfm10-guillermo-mas-ortega.pdf)

[gestadm/trabajos-fin-de-master/tfm10/tfm10-guillermo-mas-ortega.pdf](https://iuaca.ua.es/es/master-agua/documentos/-gestadm/trabajos-fin-de-master/tfm10/tfm10-guillermo-mas-ortega.pdf)

Combinando la gestión de recursos hídricos y las energías renovables para resolver la escasez de agua en áreas con estrés hídrico en la región del mediterráneo - cuenca baja del río mijares (España)

MMARM (2010): Guía para la Aplicación del R.D. 1620/2007 que establece el Régimen Legal de Reutilización de Aguas Depuradas. Madrid: Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino.

RD 1620/2007: Real Decreto 1620/2007, de 7 de diciembre, por el que se establece el régimen legal para la reutilización de aguas tratadas. BOE, December 8, 2007, no. 294, p. 50639- 50661.

Ruiz (2010): Ruiz Canales, A. y Molina Martínez (2010), Automation and remote control of irrigation systems, Murcia 2010, Marcombo: Official College of Agricultural Engineers of Murcia.