

The feasibility of self-consumption of energy by solar panels in water services in Spain

La viabilidad del autoconsumo energético por medio de placas solares en los servicios del agua en España

 M. García¹

 B. Montano¹

 J. Melgarejo¹

¹Instituto del Agua y de las Ciencias Ambientales, Universidad de Alicante
Email: marcos.garcialopez@ua.es; borja.montano@ua.es; jmelgar@ua.es

Abstract

Energy consumption is one of the main components of the financial cost of water services. To a large extent, this comes from the traditional supply through the purchase of energy from private utilities, which is associated with a certain amount of pollution. This justifies a constant pursuit of the development of alternative energy sources with lower environmental impact and, if possible, lower financial cost. Fortunately, in recent years there have been constant improvements in the technology of solar panels, so that their viability no longer depends exclusively on their environmental benefits or public subsidies but is an alternative that can be financially viable in certain cases. Specifically, in some regions with a high shortage of water resources, there is an important development of non-conventional water sources that consume a significant amount of energy, so this work studies the possibility of substituting part of this energy by self-consumption from photovoltaic panels. In general terms, this possibility is viable from a financial point of view when consumption is low, as the yearly savings from self-consumption compensate for the initial investment. However, the low prices at high consumption levels make it difficult to build large solar panel installations financially profitable.

Index terms— Energy consumption; Financial cost of energy consumption; Self-consumption of energy; Water services; Energy price; Solar energy.

Resumen

El consumo energético es uno de los principales componentes del gasto financiero en la provisión de los servicios del agua. Este deriva, en gran medida, del suministro tradicional a través de la compra de energía a las empresas suministradoras, lo que lleva asociada una determinada contaminación. Esto justifica una persecución constante del desarrollo de fuentes alternativas de energía con un menor impacto ambiental y, si es posible, con un menor coste financiero. Afortunadamente, en los últimos años se han dado constantes mejoras en la tecnología de las placas solares, por lo que su viabilidad ya no depende exclusivamente de sus beneficios ambientales o de subvenciones públicas, sino, que es una alternativa que puede ser viable económicamente en determinados casos. En concreto, en algunas regiones con una elevada escasez de recursos hídricos existe un importante desarrollo de las fuentes no convencionales, las cuales consumen una cantidad importante de energía, por lo que este trabajo estudia la posibilidad de sustituir parte de esa energía por autoconsumo a partir de placas solares fotovoltaicas. En términos generales, esta posibilidad se muestra viable desde el punto de vista financiero cuando el consumo energético es reducido, pues el ahorro que surge del autoconsumo año tras año permite compensar la importante inversión inicial que debe realizarse. No obstante, los menores precios unitarios cuando el consumo es elevado dificultan que las instalaciones de placas solares de elevado tamaño sean rentables en términos financieros.

Palabras clave— Consumo energético; Coste financiero del consumo energético; Autoconsumo de energía; Servicios del agua; Precio de la energía; Energía solar.

Recibido: 30-06-2022, Aprobado tras revisión: 15-07-2022

Forma sugerida de citación: García, M.; Montano, B.; Melgarejo, J. (2022). “La viabilidad del autoconsumo energético por medio de placas solares en los servicios del agua en España”. Revista Técnica “energía”. No. 19, Issue I, Pp. 132-149

Doi: <https://doi.org/10.37116/revistaenergia.v19.n1.2022.533>

© 2022 Operador Nacional de Electricidad, CENACE

1. INTRODUCCIÓN

Las condiciones climáticas del planeta son cada vez más adversas. Ya no cabe duda de que la contaminación que hemos generado con el paso de los años está afectando de manera significativa la forma de vivir y de realizar las distintas actividades económicas de nuestra sociedad. De este modo, uno de los conceptos clave en los que debemos basarnos para combatir esta situación es la economía circular, cuyo pilar fundamental consiste en minimizar la generación de residuos a través de la constante reutilización de los materiales o productos. Por su parte, los combustibles fósiles forman parte de una economía lineal, pues se extraen, se transforman para generar energía y dejan a su paso residuos que inciden sobre el medio natural. Sin embargo, las energías renovables encajan mucho mejor en el concepto de economía circular, ya que la contaminación que generan es mucho menor y sus materiales son susceptibles de reutilización [1]. Además, las energías renovables, especialmente en el caso de las placas solares fotovoltaicas, llevan asociadas un fuerte impulso económico gracias a la generación de negocio y, por lo tanto, de empleo, cuestión de gran relevancia en un contexto como el actual, donde la pandemia está provocando un fuerte impacto económico [2].

Todas estas ventajas contaban en el pasado con dos fuertes inconvenientes: la reducida eficiencia de las placas solares y el elevado coste que generaba su instalación y mantenimiento. No obstante, la tecnología ha mejorado con el paso del tiempo, reduciendo su coste y mejorando su eficiencia, lo que explica el reciente incremento de la capacidad instalada y las perspectivas de que este crecimiento continúe [3]. Gracias a esto, en los últimos años se han reducido las emisiones de gases de efecto invernadero en España y se ha generado negocio y empleo [4]. Incluso en este contexto reciente, que ha mejorado significativamente la viabilidad de los proyectos consistentes en el aprovechamiento de la energía solar, el desarrollo de esta fuente de energía no ha sido suficiente, pues todavía existen barreras importantes para dicho desarrollo [5]. En concreto, podemos encontrar importantes barreras burocráticas debido a que los procedimientos administrativos para conceder permisos son muy lentos, pero también destaca una falta de impulso a este tipo de proyectos, tanto en términos regulatorios, como financieros [5]. Por este motivo, recientemente el gobierno de la Comunidad Valenciana modificó la situación burocrática de estos proyectos, haciendo que los trámites sean más ágiles y su coste menor si se cumplen determinadas condiciones [6]. Por tanto, el objetivo es suavizar las restricciones burocráticas y normativas de modo que se sumen a las constantes mejoras tecnológicas y a la continua reducción de costes y pueda aprovecharse en mejor medida el potencial de esta energía [7]. No obstante,

conviene recordar que el impacto de las instalaciones de energías renovables no es nulo y debe optimizarse su diseño de manera que el impacto sobre el entorno sea mínimo [8].

El reciente cambio burocrático en la Comunidad Valenciana es participe de los incentivos económicos ya existentes. En primer lugar, el gobierno regional cuenta con dos tipos de ayudas, como son, una deducción sobre el impuesto sobre la renta de las personas físicas (IRPF) y una subvención directa para contribuir a financiar el proyecto [9]. Como es lógico, la primera de estas ayudas está orientada a que las personas físicas consideren el autoconsumo; mientras que, de la segunda se pueden beneficiar empresas tanto públicas como privadas, siempre y cuando no sean empresas de servicios energéticos y entren en la categoría de PYME. Por otra parte, los ayuntamientos tienen la capacidad de bonificar una serie de impuestos, que son, el Impuesto sobre Bienes Inmuebles (IBI) y el Impuesto sobre Construcciones, Instalaciones y Obras (ICIO), que se suman a la bonificación regional sobre el IRPF. Sin embargo, esta es una decisión de cada gobierno local, por lo que las bonificaciones varían según el lugar. De esta manera, las ciudades de menos de 10.000 habitantes no cuentan con las bonificaciones de las ciudades más grandes, aunque tampoco todas las ciudades de más de 10.000 habitantes aplican dichas bonificaciones. En resumen, estas ayudas combinan actualmente con la relajación burocrática introducida por el gobierno regional, aunque recientemente se ha planteado que los estímulos públicos a las energías renovables son insuficientes para aprovechar su potencial [3, 5].

Como se ha comentado, en los últimos años la mejora tecnológica y la disminución de costes han contribuido de manera significativa a impulsar la utilización de la energía solar. De este modo, podemos ver que existen diversos proyectos orientados a aprovecharla, lo que requiere de un análisis de viabilidad [10, 11, 12], siempre teniendo en cuenta que cada proyecto deberá ser diseñado con sumo cuidado, pues la existencia de diversas tecnologías permite adaptar la instalación a las condiciones de la región y alcanzar así un desempeño óptimo [13]. Así, existen proyectos orientados a integrar la generación de energía con invernaderos, de modo que esta se pueda utilizar para depurar el agua residual que estos lugares generan [10], aunque también es habitual encontrar que se recurre a la instalación de placas fotovoltaicas como forma de dar energía al sistema de bombeo de agua para abastecer a la población [11, 12, 14] o para suministrar energía a sistemas de trasvase [15]. Además, conviene resaltar que la Empresa Pública de Saneamiento de Aguas Residuales de la Comunidad Valenciana (EPSAR) lleva tiempo invirtiendo en la instalación de placas solares con el fin de reducir el consumo de combustibles fósiles en una actividad tan intensa en el

consumo de energía como es el tratamiento de aguas [16]. Estos proyectos, además de contribuir a reducir la contaminación y generar actividad económica, también pueden contribuir a fomentar el aprendizaje de los que participan en ellos, pues se requiere de unos conocimientos diversos que podrán compartirse entre participantes [17]. Esta cuestión es de gran importancia debido a que la falta de conocimiento puede suponer un freno al desarrollo de esta energía, especialmente cuando es el público el que desconoce sus ventajas, pues no considerarán su instalación [18]. Esta cuestión, unida al bajo precio de la energía convencional y a las restricciones burocráticas y normativas, incide en la evolución de la capacidad instalada y, por tanto, contribuye a desaprovechar el potencial de la energía solar. En cualquier caso, los proyectos basados en la utilización de este tipo de energía requieren de un diseño eficiente para ser una alternativa viable económicamente [19]. Esto se debe al coste de instalación y de mantenimiento, que puede llegar a ser elevado, de modo que un adecuado diseño se uniría a las constantes mejoras tecnológicas de que disfruta el sector, haciendo que las placas solares maximicen su eficiencia [20]. En definitiva, se puede afirmar que la utilización de energía solar es cada vez una alternativa más interesante debido a su constante reducción en costes, a sus mejoras tecnológicas y al impulso público de que disfrutan. Prueba de ello, es la existencia de cada vez más proyectos que la utilizan, estableciéndose como una magnífica alternativa para suministrar energía a los distintos servicios del agua, que son tan necesarios en regiones como la Comunidad Valenciana.

La Comunidad Valenciana es una región del este de España que sufre de gran escasez de recursos hídricos. En concreto, la zona suroeste de la región y otros territorios cercanos como son Murcia y Almería presentan una necesidad de recursos hídricos adicionales, tan elevada, que son receptoras de aguas de trasvases, han desarrollado de manera importante actividades como la reutilización de aguas residuales, la desalación de aguas y buscan constantemente la introducción de mejoras en las técnicas de riego. Todas estas actividades presentan un coste energético que condiciona en gran medida el desarrollo de las actividades. Los trasvases, debido a la necesidad de transportar el agua a una distancia considerable, con cambios de altitud, requieren de energía para poder funcionar [21]. La depuración de aguas residuales y la desalación de aguas, también presentan un coste energético significativo debido a los tratamientos que deben aplicarse [22, 23]. Por último, las mejoras en las técnicas llevan asociado un coste energético y, dada la constante escasez, estas mejoras son necesarias para los agricultores [24, 25]. En cualquier caso, este consumo energético está justificado, pues se produce a consecuencia de la respuesta dada a la necesidad de

recursos hídricos adicionales. Por tanto, minimizar dicho consumo y desarrollar fuentes alternativas de energía, son cuestiones de gran utilidad.

Debido a la situación actual en el sureste español, el objetivo de este trabajo consiste en analizar el coste energético de diversos servicios del agua; así como, estudiar la viabilidad de la instalación de placas fotovoltaicas, de manera que se podría determinar la rentabilidad de este tipo de proyectos. Esta introducción ha mostrado la voluntad de la Comunidad Valenciana para estimular el autoconsumo energético mediante placas solares. Naturalmente, no es la única región de España que realiza este tipo de actividades, pero este ejemplo nos puede servir para conocer qué aspectos deben tenerse en cuenta a la hora de valorar dicho autoconsumo. Para cumplir con el objetivo, el primer paso consiste en analizar el consumo energético de los distintos servicios del agua, con especial atención sobre el coste financiero que supone sobre los costes de operación totales. Tras esto, se determinará el coste que tendría la instalación de placas solares y, por último, combinando ambas cuestiones obtendremos la viabilidad de estos proyectos.

2. MATERIALES

Los datos que hemos utilizado para el objetivo propuesto provienen de diversas fuentes. En primer lugar, los datos de consumo energético, así como del coste económico de las depuradoras de la Comunidad Valenciana provienen de la Entidad Pública de Saneamiento de Aguas Residuales de la Comunidad Valenciana (EPSAR) y contienen factores clave como cantidad de agua tratada, consumo energético y coste de la potencia contratada y, de la energía consumida. La Comunidad Valenciana es una región del este de España que sufre de una elevada presión sobre sus masas de agua, motivo por el cual las fuentes de recursos hídricos no convencionales están muy desarrolladas. Los datos de consumo energético están disponibles en la página web de la EPSAR, mientras que los otros datos se nos cedieron directamente por correo. En segundo lugar, los datos acerca del consumo energético y del respectivo coste financiero del trasvase Tajo-Segura provienen del Sindicato Central de Regantes del Acueducto Tajo-Segura (SCRATS). Este trasvase permite suministrar agua a una región del sur de España donde los recursos son extraordinariamente escasos, por lo que cualquier medida que permita mejorar el funcionamiento del trasvase puede adquirir una gran importancia. No obstante, esta información no está actualmente publicada, pues los datos son provisionales a la espera de obtener los resultados definitivos. En cuanto a los costes de la instalación de placas fotovoltaicas para autoconsumo, estos provienen de una empresa del sector, Enerficz, que nos ha elaborado dos presupuestos en función del tamaño de la instalación. Estos datos incluyen información acerca

de la inversión necesaria, del coste de financiación o de los costes de operación y mantenimiento.

3. RESULTADOS

3.1. Consumo energético de los servicios del agua

El apartado de resultados presentará los datos disponibles y se dividirá en diversos apartados. En primer lugar, se presentará el consumo energético de la depuración de aguas residuales, de la desalación de aguas, del trasvase Tajo-Segura y del regadío con el objetivo de mostrar la importancia de la cuestión. Tras esto, se analizará el coste financiero derivado del consumo energético de algunas estaciones de depuración de aguas de la Comunidad Valenciana (España) y del trasvase Tajo-Segura (España).

3.1.1 Consumo energético de la depuración de aguas residuales

Por desgracia, el coste económico derivado del consumo energético no es un dato disponible en la mayoría de los casos, pero sí que disponemos de información de algunos casos concretos, además de que otros trabajos han tratado el tema de la eficiencia energética de estas instalaciones, así como de su coste [22, 26, 27]. Estos trabajos mostraron algunas cuestiones de interés, por ejemplo, que el consumo energético y la cantidad de aguas tratadas, es decir, el tamaño de la planta de tratamiento, guardan una clara relación. En este sentido, el consumo energético es menor a medida que aumenta la cantidad de aguas tratadas, por lo que, debido a las economías de escala, el consumo energético medio es menor en las grandes instalaciones [26]. Además, estas grandes infraestructuras acumulan la mayor parte de aguas tratadas, por lo que incrementar el suministro de energía proveniente de fuentes renovables (el 16,57% de la energía requerida ya se suministra por estas fuentes) en este caso sería una buena opción dada la mayor eficiencia en su funcionamiento [16]. Otra cuestión de interés consiste en la eficiencia energética de las distintas plantas, pues debe tenerse en cuenta que constantemente se busca mejorar su eficiencia energética con el objetivo de minimizar costes [22]. Esta es una manera de reducir las necesidades energéticas de la actividad, pero también es importante de cara al diseño de proyectos de autoconsumo mediante placas solares, pues si no se tiene en cuenta, en un futuro se podría estar desperdiciando la capacidad instalada, aunque siempre cabe la posibilidad de darle otro uso a la energía.

Por tanto, analizar el consumo energético puede volverse complicado, pero es fundamental para determinar la viabilidad de los proyectos orientados a suministrar energía por medio de fuentes renovables. Así, los datos, resumidos en la Tabla 1, muestran

claramente la relación entre el tamaño (medido en este caso en habitantes equivalentes) y el consumo energético por metro cúbico de agua tratado. Como es natural, en términos relativos son las estaciones pequeñas las que más consumen, mientras las más grandes consumen menos que la media. De este modo, la media se sitúa en un consumo de 0,77 kWh por metro cúbico, muy alejada tanto de las estaciones más pequeñas como de las más grandes. No obstante, debe tenerse en cuenta que el elevado número de instalaciones de reducido tamaño eleva esta media al no ser ponderada. Así, si dividimos el total de consumo energético por el total de metros cúbicos tratados encontramos un promedio de 0,38 kWh/m³. La diferencia es significativa, pues el valor de 0,77 kWh/m³ se situaba por encima de casi todos los grupos, mientras que 0,38 kWh/m³ se sitúa por debajo de la mayoría de ellos. Como se puede observar, aunque el coste energético medio se reduce a medida que el tamaño de la planta crece, no es hasta el penúltimo grupo cuando se puede considerar que la actividad se desarrolla de una manera eficiente, ya que en ese punto el gasto energético se sitúa en 0,28 kWh/m³, es decir, por primera vez se sitúa por debajo de la media. Sin embargo, solamente podemos encontrar cuatro (4) Estaciones Depuradoras de Aguas Residuales (EDAR) en este umbral de consumo, de modo que podemos observar que la mayoría de las estaciones sufren de una falta de eficiencia energética derivada, al menos parcialmente, de su reducido tamaño. Es decir, las economías de escala están muy presentes en esta actividad, lo que hace del tamaño de la instalación una variable clave que ha llevado a proponer que se concentren los caudales con el fin de aprovechar las ventajas de dichas economías de escala y reducir costes, tanto económicos como ambientales [26]. Estos datos muestran conclusiones similares a las obtenidas por Albadaejo-Ruiz, Martínez-Muro & Santos-Asensi [26], aunque con algunas variaciones. En primer lugar, destaca cómo el consumo energético por metro cúbico en general es menor, pero es significativa la diferencia en el grupo de menor tamaño, tanto en términos de consumo energético (de 1,94 kWh/m³ en el citado trabajo al 1,21 kWh/m³ obtenido en este) como en número de depuradoras (de 54 depuradoras en el citado trabajo a 105 depuradoras en este). Del mismo modo, en este trabajo encontramos que tanto las demás plantas de reducido tamaño como las de mayor tamaño muestran un consumo energético medio menor respecto a hace unos años. Por el contrario, aquellas situadas en los grupos intermedios presentan un consumo energético relativamente superior al obtenido por Albadaejo-Ruiz, Martínez-Muro & Santos-Asensi [26].

La Fig. 1 es una representación del consumo energético de las distintas plantas depuradoras en función del tamaño, donde se puede ver claramente la



relación y cómo solamente las instalaciones de mayor tamaño son eficientes. También se han incluido líneas rectas que representan el consumo medio ponderado y el consumo medio, que permiten ver claramente la gran cantidad de estaciones que superan esas cantidades, especialmente en el caso del consumo medio ponderado. En concordancia con la Tabla 1, en la Fig.

1 está presente la relación entre el consumo y el tamaño, a partir de la cual se puede observar que las plantas de mayor tamaño presentan un menor consumo por metro cúbico que el resto. No obstante, conviene comentar que los datos disponibles contienen un pequeño número de infraestructuras de tamaño medio con consumos muy reducidos o incluso nulos.

Tabla 1: Características básicas de las EDAR de la Comunidad Valenciana en 2018. Fuente: EPSAR

Grupo	EDAR (Número)	Población servida (he)	Consumo eléctrico (kWh/m ³)	Caudal de proyecto (m ³ /día)	Potencia instalada (kW)	Rendimientos sólidos en suspensión (%)	Rendimientos demanda biológica de oxígeno (%)	Rendimientos demanda química de oxígeno (%)
Hasta 200 he	105	96,48	1,21	106,14	13,48	87,45	92,67	87,75
Hasta 400 he	64	286,28	0,76	294,02	29,83	91,06	94,73	89,41
Hasta 600 he	55	495,91	0,68	242,07	24,51	93,00	95,95	91,78
Hasta 1000 he	55	766,16	0,65	371,44	29,44	90,38	93,49	88,96
Hasta 1600 he	39	1266,00	0,66	651,97	62,53	93,18	95,69	90,67
Hasta 4000 he	50	2551,90	0,64	1105,00	93,04	93,12	95,54	91,14
Hasta 13000 he	48	7168,31	0,65	3409,10	271,25	95,06	96,54	92,60
Hasta 125000 he	57	39068,40	0,57	14243,30	980,68	95,58	96,49	92,75
Hasta 200000 he	6	164596,00	0,49	50166,67	2129,00	96,67	98,00	94,00
Hasta 500000 he	3	308637,67	0,28	87373,33	2510,33	95,00	97,67	93,00
Hasta 1000000 he	1	852799,00	0,23	200000,00	15232,00	97,00	98,00	94,00
Total	483	11619,25	0,77	3898,57	247,22	91,84	94,89	90,35

En todo caso, se puede observar fácilmente que existe mucho margen de mejora en cuanto a eficiencia energética, así como, que existe una gran demanda de energía, por lo que estimular el suministro a través de fuentes renovables puede aportar importantes beneficios.

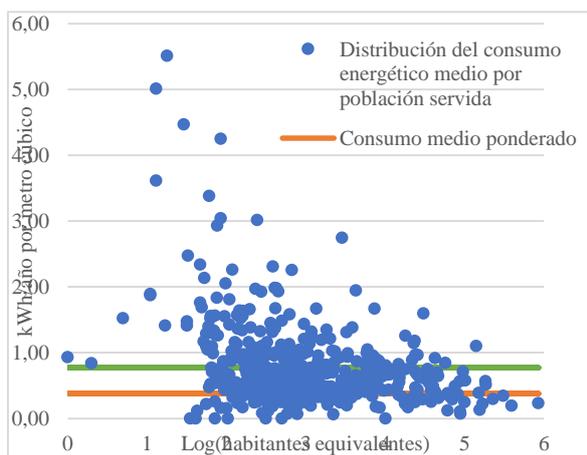


Figura 1: Distribución de las estaciones depuradoras en base a su tamaño y consumo energético

3.1.2. Consumo energético de la desalinización de aguas

La desalinización es una fuente de recursos hídricos no convencional que permite incrementar los recursos

disponibles, lo que es especialmente útil en regiones de gran escasez, en las que otras alternativas no sean factibles. Sin embargo, presenta unos costes importantes, entre los cuales destacan los energéticos, que generan un coste medio por metro cúbico relativamente elevado. En cualquier caso, la capacidad de las desaladoras para la generación de recursos adicionales ha motivado su desarrollo en lugares de escasez. De esta manera, en España se diseñó el Programa A.G.U.A. (Actuaciones para la Gestión y la Utilización del Agua), el cual buscaba reorientar la política del agua a partir de la explicación y difusión de actuaciones concretas diseñadas para garantizar la disponibilidad y la calidad del agua en cada territorio. Diversas desalinizadoras formaron parte de este programa y, de hecho, la capacidad instalada de desalación de aguas de España es de 5 millones de metros cúbicos al día, una de las mayores del mundo [28]. Cuando se planificaron estas instalaciones, se estimó que el coste energético supondría aproximadamente el 32 % del coste total pero, debido a incrementos en los precios de la energía, el coste energético ha alcanzado casi el 50 % del coste de producción en 2012 [23]. De la misma manera que con la depuración de aguas residuales, el coste financiero derivado del consumo energético es muy importante y es, de hecho, uno de los mayores condicionantes del adecuado desarrollo de la actividad. Por tanto, son



actividades especialmente vulnerables a incrementos del precio de la energía y que podrían beneficiarse enormemente de las mejoras en eficiencia y reducciones de precio de las placas solares, pues se podrían constituir como una alternativa que genere ahorros ambientales y monetarios. Por supuesto, la eficiencia energética es de gran interés, ya que minimizar el uso de recursos es un signo de eficiencia económica, no obstante, teniendo en cuenta que

siempre debe existir un consumo mínimo, deben valorarse otras alternativas que ayuden a mejorar la situación. Por tanto, la problemática energética es fundamental a la hora de determinar la viabilidad de un instrumento capaz de incrementar los recursos hídricos disponibles.

Tabla 2: Volumen de agua desalinizada, volumen de agua desalinizada destinada a riego y sus costes para los años 2007 y 2012 para 6 plantas desalinizadoras. Fuente: [23]

Nombre actuación	Volumen total (m ³)	Volumen Riego (m ³)	Costes 2007		Costes 2012	
			Total (€)	€/m ³	Total (€)	€/m ³
Desalinizadora Torrevieja (ATS)(Riego)	80.000.000,00	60.000.000,00	83.422.792,00	1,04	102.349.719,00	1,28
Desalinizadora de Valdelentisco (Murcia)	70.200.000,00	37.000.000,00	36.667.611,00	0,52	45.866.039,00	0,65
Ampliación Desalinizadora de Águilas (Murcia)	40.000.000,00	30.000.000,00	38.015.085,00	0,95	45.547.112,00	1,14
Desalación Campo de Dalías (Almería)	30.000.000,00	7.500.000,00	31.472.912,00	1,05	39.743.025,00	1,32
Desalinizadora Bajo Almanzora (Almería)	20.000.000,00	15.000.000,00	16.544.298,00	0,83	20.736.462,00	1,04
Ampliación Desalinizadora de El Mojón (Murcia)	5.870.000,00	5.870.000,00	6.323.070,00	1,08	7.605.900,00	1,30
Totales	246.070.000,00	155.370.000,00	212.445.768,00	0,86	261.848.256,00	1,06

Este aspecto puede incidir de manera significativa en el momento de tomar la decisión de qué instrumento utilizar para afrontar la escasez [21]. En cualquier caso, no debe olvidarse que el coste financiero del consumo energético va directamente vinculado a la evolución de los precios de la energía. En este sentido, el valor monetario generado, por ejemplo, por una instalación de placas solares depende de dicha evolución de los precios. Esto es algo razonable y es un condicionante clave a la hora de determinar su viabilidad, pues sus costes de instalación, de operación y de mantenimiento no dependen de los precios, por lo que si estos son bajos, el ahorro obtenido también lo será; mientras que, es posible generar grandes ahorros financieros en un contexto de precios elevados. Es decir, el autoconsumo energético mediante placas solares, aunque genera beneficios ambientales y reduce la dependencia del suministro externo, está íntimamente ligado a la evolución de los precios de la energía para determinar su viabilidad financiera.

Con el objetivo de ejemplificar la situación del coste energético de las desalinizadoras del Programa A.G.U.A, la Tabla 2 [23] muestra el coste de producción de agua desalinizada en 2007 (momento del diseño) y 2012 (con los datos disponibles en el momento de revisar el funcionamiento de las desalinizadoras) para una serie de plantas cuya agua se destina, al menos parcialmente, al riego. De este modo, se puede observar cómo, en un periodo de tan sólo 5 años, el coste total pasó de aproximadamente 212 millones de euros a casi 50 millones más. Para realizar

esta comparación partimos de que el volumen de agua se mantiene constante entre ambos periodos, por lo que este incremento es realmente significativo. En términos relativos, podemos encontrar que la variación del coste de casi 50 millones de euros sobre los 212 millones originales se traduce en un incremento de alrededor de 20 céntimos por metro cúbico, es decir, el coste financiero de la desalación de aguas ha sufrido un incremento de aproximadamente el 23 % en un periodo de 5 años. Por supuesto, el coste financiero del consumo energético no supone la totalidad de este dato, pero es una parte muy importante que suele ascender al 50 %-60 % del coste total de una desalinizadora [29], lo que lleva al coste energético a ser la principal partida de gastos y a afectar directamente a la evolución de los costes totales. No obstante, existe una elevada variabilidad de costes entre distintas desalinizadoras debido a las particularidades de cada caso. Los costes financieros de la desalación suelen encontrarse entre 0,80€ y 1,20€ por metro cúbico cuando se incluye la amortización [28]. Sin incluirla, el coste se reduce y pasa a encontrarse, habitualmente, entre los 0,40€ y los 0,60€ [28], por lo que, si partimos de que el coste energético supone entre un 50 % y un 60 %, este supone entre 0,20€ y 0,36€ por metro cúbico. Aunque, por supuesto, existe cierta variabilidad y generalizar no es posible, pero esto es buena muestra de la importancia del consumo energético. De esta manera, actividades como mejorar la eficiencia energética de estas instalaciones y encontrar fuentes de energía alternativas son aspectos de interés, no solamente para reducir el coste financiero y ambiental de la desalación, sino

también, para maximizar las posibilidades de que este tipo de proyecto sea viable.

3.1.3. Consumo energético de los trasvases de agua

Los trasvases son otra de las herramientas que se pueden utilizar a la hora de combatir la escasez de recursos hídricos en determinados lugares. Como es lógico, requiere de una zona con suficiente abundancia de recursos como para poder prescindir de parte de ellos y de una con escasez para poder realizar la transferencia. Además, deben ser regiones relativamente cercanas para que los costes no se disparen y el proyecto sea económicamente viable. En este sentido, los trasvases largos supondrían un coste muy elevado no solamente en cuanto a inversión, sino también, en términos de operación y mantenimiento. Esto convierte a las alternativas de trasvases de menor distancia en una opción comparativamente mejor que los trasvases de larga distancia, pues los costes son menores y son más fáciles de asumir por los futuros usuarios de las aguas, que son los que cubren dichos costes. Uno de estos costes es el energético, pues el agua requiere de energía para desplazarse de un punto a otro, aspecto que está fuertemente vinculado con el terreno en el cual se construye el trasvase. De nuevo, como en los casos anteriores, podemos encontrar que esta alternativa de política hídrica es dependiente de la energía. Si tenemos en cuenta que un trasvase requiere de una gran infraestructura, con su correspondiente inversión, podemos pensar que los usuarios de sus aguas tienen una gran necesidad de recursos y que han valorado que esta era la alternativa disponible más eficiente. Por tanto, a pesar de los elevados costes de inversión, es una herramienta que puede generar grandes beneficios en regiones que padecen de gran escasez [30]. Aunque, no obstante, optimizar el diseño de un trasvase es esencial para que este tipo de proyectos sean rentables y presenten el menor consumo energético posible [31], pues la costosa infraestructura condiciona en gran medida el proyecto.

Para aportar información concreta, la Tabla 3 [21] presenta el consumo energético por tramos del trasvase Tajo-Segura. Se pueden encontrar grandes variaciones en función de dónde se produzca el consumo de agua a consecuencia de aspectos como la elevación o la distancia. Por ejemplo, la impulsión de Fuente Álamo (Campos de Cartagena) eleva 4,64m³ por segundo hasta superar un desnivel de 93 metros con un coste energético de 1,22 kWh/m³ mientras que la impulsión de Alhama eleva 10m³ por segundo para superar una distancia de 116 metros a un coste energético de 1,80 kWh/m³. Como se puede observar, la segunda de estas impulsiones, que sucede a más velocidad y debe compensar una mayor altura, presenta un coste energético significativamente superior. En cualquier caso, el consumo es significativo y se observa cómo puede alcanzar valores muy elevados en determinados

lugares, por lo que minimizar el consumo energético es una cuestión de gran relevancia, pues implica reducir el coste económico y ambiental que lleva asociado. Sin embargo, el aspecto energético debe valorarse en términos relativos. Como hemos visto anteriormente, tanto con el caso de la depuración de aguas como en el de la desalación, el coste energético puede variar según las características de la instalación. Por este motivo, es muy importante entender el contexto del consumo energético del trasvase Tajo-Segura. Así, si bien el consumo energético de determinadas plantas desalinizadoras puede ser menor al del trasvase, debe mencionarse que las desalinizadoras que podrían suponer una alternativa a este trasvase presentan un coste energético notablemente superior [21]. Por tanto, si bien el consumo energético del trasvase Tajo-Segura es relevante y debe minimizarse con el objetivo de reducir el impacto ambiental y el coste financiero, en comparación con otras alternativas la problemática energética es menor.

Tabla 3: Consumo energético por tramos del trasvase Tajo-Segura. Fuente: [21]

Zona	kWh/m ³
Zona I (C.R Calasparra y Cieza)	0,87
Zona II	1,42
Riegos de Levante (Margen Izquierda)	0,96
Campos de Cartagena	1,22
Lorca, Totana, Alhama y Valle de Almanzora	1,80
Yéchar, Pantano de La Cierva, La Puebla	1,94
Margen derecha	1,39
Media	1,21

3.1.4. Consumo energético del regadío

El regadío, aunque no es como tal un instrumento mediante el cual se pueda afrontar la sequía o la escasez de recursos, es una actividad que también lleva asociado un consumo energético muy importante [24, 32]. En concreto, es necesario captar el agua desde su punto de origen, transportarla a su destino y después distribuirla por la zona [25]. Esto no se aplica solamente al regadío, sino, al bombeo de agua en general, pero como el regadío en concreto guarda actualmente una estrecha relación con el consumo energético debido a la posibilidad de realizarlo de manera más eficiente a partir de la introducción de innovaciones, es uno de los servicios del agua que debemos valorar dentro del contexto de este análisis. Estas novedades se han ido introduciendo con el paso del tiempo como respuesta a los importantes periodos de escasez de recursos, haciendo que el consumo de recursos hídricos por parte de los agricultores sea más eficiente a costa de un mayor coste energético [25]. Esto presenta, como ya se ha mencionado



anteriormente, un importante coste financiero, en este caso para los agricultores, y un relevante impacto ambiental. La escasez de recursos hídricos es lo que impulsa estas mejoras con el objetivo de maximizar la rentabilidad del agua y minimizar su consumo, por lo que existe justificación para realizar el gasto energético de estas mejoras. Por tanto, las medidas orientadas a maximizar la eficiencia energética de las actividades de regadío pueden ser de gran ayuda para los agricultores, que ven cómo, con el objetivo de utilizar mejor el agua, sufren un coste financiero superior [33].

Del mismo modo que con el resto de los servicios del agua, esta problemática hace a las comunidades de regantes especialmente vulnerables a los precios de la energía, con importantes consecuencias sobre su situación económica [24]. Así, existen una serie de herramientas que permiten reducir el consumo energético, aparte de las alternativas en la generación de la energía, las cuales serían [34]: 1) sistema online de seguimiento de facturas y consumos para tener controlada la situación y disponer de información para introducir mejoras; 2) programar el bombeo en las horas en que la energía es más barata; 3) optimizar la potencia contratada y 4) negociación conjunta de contratos de suministro eléctrico. Mejoras de este tipo supusieron un ahorro del 10 % del consumo energético para los regantes de Riegos del Alto Aragón, aunque no alcanzó a compensar el incremento de precio [34]. Es decir, aunque optimizar el consumo energético del regadío no es una estrategia en sí para afrontar la escasez de recursos, sí que permite ahorrarse un gasto importante [35], lo que haría más rentable la actividad y liberaría recursos financieros para otros proyectos. Incluso en el caso de reducir el consumo energético a lo largo de un periodo en una proporción menor al incremento de los precios, este tipo de medidas contribuyen a reducir tanto el impacto ambiental como el efecto de la subida de precios, por tanto los efectos pueden ser muy positivos. De nuevo, el autoconsumo mediante paneles solares se presenta como una alternativa para la obtención de energía, pues en un contexto de precios elevados los beneficios financieros potenciales pueden ser importantes, además de reducir el impacto ambiental y la dependencia del mercado.

Con el objetivo de clarificar la situación, la Tabla 4 [25] muestra información relativa al consumo energético de los agricultores españoles. En concreto, permite observar cómo dicho consumo ha evolucionado de una manera mucho más intensa que la superficie de cultivo y el consumo de agua, por lo que ha ido ganando peso con el tiempo como coste de la agricultura de regadío. El consumo de agua es, de los 3 aspectos comentados, el que menos ha evolucionado. Por tanto, nos encontramos con que se consume menos agua por hectárea de cultivo, lo que surge como respuesta de las mejoras introducidas con el paso del

tiempo con el objetivo de ahorrar agua. Sin embargo, destaca el importante incremento del consumo energético ocasionado por la modernización del regadío, varias veces superior a los aumentos de superficie de cultivo y de consumo de agua. Esto muestra la importancia de la energía en las técnicas de riego, lo que hace a los agricultores dependientes de su precio. Tanto por hectárea de terreno como por hectómetro cúbico de agua consumida, el coste energético medio ha crecido e introducir medidas de eficiencia energética o encontrar alternativas de suministro energético sería de gran utilidad para mejorar la situación de una actividad tan básica como la agricultura.

Tabla 4: Evolución de la superficie de riego y del consumo de agua y energía para riego en España para el periodo 1900-2007.
Fuente: [25]

Año	Superficie (miles de Ha)	Consumo de Agua (hm ³)	Consumo de energía (GWH)
1900	1000	5400	0
1930	1350	7594	182
1940	1500	8288	191
1950	1500	8353	309
1970	2200	12320	1056
1980	2700	14648	2093
1990	3200	17400	3480
2000	3410	18499	4893
2007	3760	20163	5866
2007/1950	2,5	2,4	19

3.2. Coste financiero del consumo energético de los servicios del agua y viabilidad del autoconsumo energético mediante placas solares

3.2.1. Coste económico del consumo energético de las instalaciones de depuración

Por otra parte, este consumo energético, relevante en los distintos servicios del agua, lleva asociado un coste, el cual es uno de los más importantes, o incluso el más importante, a la hora de analizar los costes de operación y mantenimiento cuando hablamos de la depuración de aguas residuales [27]. Por este motivo, las medidas orientadas a maximizar la eficiencia energética y minimizar el coste económico, así como la contaminación generada, son de gran utilidad. Además, recientemente se han producido importantes incrementos de precio que, junto con la disminución del coste de la energía solar comentado anteriormente, hacen que la instalación de placas solares sea una alternativa cada vez más interesante. De hecho, en cuanto al coste económico implícito en el suministro de energía eléctrica, en el año 2009 suponía el 44 % de los

costes totales y, tras 3 años de incrementos, alcanzó el 56 % en el año 2012 [27]. Esto, ligado al importante consumo energético que presentan los distintos servicios del agua (este trabajo contiene diversos datos provenientes de las plantas depuradoras de la Comunidad Valenciana, pero otros servicios como la desalación o el suministro también requieren de energía), implica que es una parte de la gestión de los recursos hídricos que dispone de un gran margen de mejora. Como se ha comentado antes, los datos sobre el coste económico de la energía por parte de los servicios del agua no es una información que se suela publicar. No obstante, la EPSAR sí que dispone de este dato para algunas de las plantas depuradoras de la Comunidad Valenciana. Como nos indican desde esta misma entidad, las instalaciones de depuración las gestionan, en general, empresas privadas, por lo que cada una negocia por su cuenta el suministro energético. Teniendo en cuenta que existen 30 entidades diferentes que gestionan instalaciones de depuración, además de que están repartidas por toda la región y muestran características diversas, es lógico pensar que los precios puedan variar significativamente entre las distintas EDAR. Así, sin detallar en exceso, los datos (Tablas 5 y 6) muestran cómo las plantas de menor tamaño presentan un precio por kWh superior al resto, aunque su precio final es inferior debido al tamaño.

No obstante, se puede observar que las depuradoras de El Campello y San Juan (Tabla 6) disponen tanto de un precio como de una cantidad inferiores a la de Almussafes, aunque cabe destacar que las primeras utilizan la energía en planta mientras la de Almussafes la utiliza para el bombeo. El tipo de tarifa eléctrica escogida (Tabla 7) también es una cuestión de interés, pues las plantas de gran tamaño escogen una tarifa de seis tramos, mientras las demás disponen de tarifas de tres tramos o incluso de uno para consumos muy reducidos. Esto incide directamente sobre los costes, pero debido a que está íntimamente relacionado con el tamaño de la instalación, es una parte de interés concreta de uno de los aspectos más importantes. Por otra parte, cabe destacar que las EDAR se agrupan en sistemas de explotación con el objetivo de reducir sus costes operativos. Por tanto, aspectos como la calidad del agua residual entrante, la calidad requerida para su salida de la instalación, la cantidad de agua tratada o la empresa explotadora son aspectos muy específicos que afectan a la gestión de las instalaciones. De ahí que el objetivo de esta investigación no consista en determinar la viabilidad de la instalación de placas solares para un caso concreto, sino que se persigue establecer un marco teórico aplicable a futuros casos concretos a partir de la información real disponible.

Tabla 5: Datos básicos del coste energético de la estación de depuración de Ademuz

	Variable			
	Tipo de instalación	Planta depuradora	Estación de bombeo	Totales
	Tipo de tarifa eléctrica	3.1.A	2.0.A	
Datos término de potencia	Potencia contratada (kW/año)	480,00	119,00	
	Precio (€/kW)	7,34	3,64	
	Coste término de potencia (€/año)	3.522,38	432,99	3.955,37
Datos término de consumo	Energía (kWh/año)	85.748,00	4.538,00	
	Precio (€/kWh)	0,11	0,14	
	Coste término de consumo (€/año)	9.286,51	633,50	9.920,01
	Importe total (€/año)	12.808,89	1.066,49	13.875,38

Tabla 6: Datos básicos del coste energético de las estaciones de depuración de Alacantí norte

	Variable			
	Instalación	EBAR El Campello	Alacantí norte	EBAR San Juan
	Tipo de tarifa	3.1.A	6P	3.1.A
Datos término de potencia	Potencia contratada (kW/año)	1.200,00	5.157,00	1200
	Precio (€/kW)	3,11	3,46	3,11
	Coste término de potencia (€/año)	3.731,85	17.819,83	3.731,85
Datos término de consumo	Energía (kWh/año)	186.643,00	1.701.356,00	120.440,00
	Precio (€/kWh)	0,07	0,06	0,07
	Coste término de consumo (€/año)	12.345,68	104.746,74	7.966,63
	Importe total (€/año)	16.077,54	122.566,57	11.698,47

Tabla 7: Información básica de las cuatro tarifas eléctricas utilizadas

Tarifa/Variable	Tensión	Potencia	Periodos	Tipo de consumidor
2.0A	Baja	<10 kW	1	Hogares
3.0A	Baja	>15 kW	3	Pymes, casas grandes

Tarifa/Variable	Tensión	Potencia	Periodos	Tipo de consumidor
3.1A	Alta	>=15 kW <=450 kW	3	Instalaciones medianas /grandes
6P/6.1/6.1A	Alta	> 450 kW	6	Instalaciones Grandes

3.2.2. Viabilidad del autoconsumo energético en la depuración de aguas residuales a través de placas solares

Como alternativa energética, dada la situación actual, hemos valorado la posibilidad de obtener el suministro energético a través de paneles solares fotovoltaicos. En este sentido, una empresa del sector nos ha presupuestado el coste y características de dos instalaciones de distinto tamaño. La primera sería capaz de generar aproximadamente 10.000kWh al año y, la segunda, alrededor de 147.000kWh. El disponer de información de dos tamaños de instalación tan diferentes nos permitirá valorar la posibilidad de utilizar placas solares tanto para consumos de energía reducidos como para grandes. Como muestra la Tabla 8, existen diferencias importantes entre ambos tipos de presupuesto, destacando que la instalación grande requeriría de una potencia contratada mayor, de una mayor superficie y de un coste por tarifa de acceso. Por este motivo, la situación es muy diferente a la hora de valorar estas dos alternativas, pues un proyecto pequeño dispone de un coste de inversión relativamente alto en comparación con los costes operativos una vez se comienza a producir la electricidad. Por su parte, una instalación de mayor tamaño, además de la inversión inicial, presenta un coste operativo y de mantenimiento considerable, por lo que, el análisis debe realizarse con cuidado. En cualquier caso, los presupuestos muestran que el coste anual de la energía es menor para el caso del autoconsumo, por lo que deben valorarse aspectos como la vida útil de las placas fotovoltaicas, de manera que se le pueda asignar un periodo al análisis, o las condiciones de financiación del proyecto, pues lo más seguro es que los recursos financieros no estén disponibles para pagar al contado y deba recurrirse a financiación externa. Además, también cabe la posibilidad de solicitar las ayudas comentadas anteriormente, que permitirían reducir ligeramente el coste de la instalación y supondrían un nuevo factor a favor de las placas solares. Así, sumando las ayudas públicas con la propia competitividad de las instalaciones de placas fotovoltaicas, podríamos reducir tanto los costes energéticos de los servicios del agua como la contaminación que estos generan por medio de su demanda energética, proveniente principalmente de combustibles fósiles. Es decir, obtendríamos tanto ventajas económicas como ambientales.

Tabla 8: Características de dos alternativas de autoconsumo energético mediante instalaciones sobre cubierta con 10 grados de inclinación.

Energía anual demandada a la red (kWh/año)	10.000,00	339.534,00
Potencia necesaria para suministrar la energía (kWp)	7,20	100,00
Energía obtenida mediante la instalación de paneles (kWh/año)	10.010,00	147.000,00
Energía producida por cada m ² de módulo FV (kWh/m ² *año)	0,27	0,27
Superficie necesaria para la instalación (m ²)	78,00	1.080,00
Tipo de tarifa eléctrica contratada	2.0A	3.0
Potencia contratada (kW)	5,75	-
Coste de la energía de la tarifa 2.0A (€/kWh)	0,08	-
Coste Tarifa de Acceso 3.0 sin FV (€)	-	10.243,00
Coste total del consumo de energía con la Tarifa 3.0 sin FV (€)	1.430,38	4.117,00
Coste Tarifa de Acceso 3.0 con FV (€)	-	4.900,00
Coste total del consumo de energía con la Tarifa 3.0 con FV (€)	487,28	2.066,00
Inversión a realizar (€)	9.000,00	61.525,00
Tipo de financiación a 7 años (%)	3,00	3,00
Coste mantenimiento de la inversión (% sobre la inversión inicial)	1,00	1,00

Por tanto, una instalación de placas solares dispone, en resumen, de los siguientes costes: una inversión inicial para realizar la instalación; un coste de mantenimiento del 1 % anual sobre la inversión inicial; un tipo de interés del 3 % para la financiación a siete (7) años y un coste operativo relacionado con el proceso de generación y utilización de la energía. Las Tablas 9 y 10 presentan los costes, para los siete (7) años de financiación, de las dos instalaciones de placas solares a estudiar. La primera de estas generaría 10.010kWh al año mientras la segunda generaría 147.000kWh. Para la instalación pequeña, se puede observar cómo la financiación incrementa el coste de la inversión casi en 1.000€, lo que supone un importante coste adicional. De esta manera, si sumamos la inversión, su coste, el mantenimiento anual de la instalación y el coste de generación de la energía, obtenemos un coste de 14.030,21€ para los primeros siete (7) años, lo que es notablemente superior a los 10.012,66€ que costaría el suministro de la energía por medio de su compra directa. No obstante, a partir del séptimo año este tipo de instalación comenzaría a dar beneficios. El caso para la instalación grande es similar, con la diferencia de que en este caso sí que existe un coste por tarifa de acceso,

tanto si se compra la energía como si se realiza el autoconsumo. No obstante, las conclusiones son parecidas respecto a la instalación pequeña a excepción de que, debido a la presencia de economías de escala, el coste medio de generación de la energía es menor.

Tabla 9: Costes de una instalación de placas solares de 10.010 durante los 7 años de financiación

		Mes	Año	Total
Financiación	Pago sin intereses (€)	107,14	1.285,71	9.000,00
	Intereses (€)	11,78	141,32	989,25
	Pago con intereses (€)	118,92	1.427,04	9.989,25
Costes operativos	Mantenimiento (€)	7,50	90,00	630,00
	Coste energía (€)	40,61	487,28	3.410,96
	Coste tarifa de acceso (€)	0	0	0

Tabla 10: Costes de una instalación de placas solares de 147.000 durante los 7 años de financiación

		Mes	Año	Total
Financiación	Pago sin intereses (€)	732,44	8.789,29	61.525,00
	Intereses (€)	80,51	966,094	6.762,66
	Pago con intereses (€)	812,95	9.755,38	68.287,66
Costes operativos	Mantenimiento (€)	51,27	615,25	4.306,75
	Coste energía (€)	172,17	2.066,00	14.462,00
	Coste tarifa de acceso (€)	408,33	4.900,00	34.300,00

La inversión inicial, además de las condiciones de financiación, convierten una instalación como las planteadas en proyectos que solamente mostrarán rentabilidad económica en el largo plazo. Es decir, durante el periodo de financiación se obtienen pérdidas, pero una vez completados los pagos de la inversión al séptimo año, el ahorro que se deriva del autoconsumo provoca que sea una alternativa más barata que la compra de la energía. De esta manera, como muestra la Tabla 13, la instalación pequeña genera unos beneficios anuales de 853,10€ a partir del séptimo año, lo que al cabo de cinco (5) años ya ha cubierto las pérdidas acumuladas durante los siete (7) primeros años de 4.017,55€. Es decir, la inversión inicial se vuelve rentable tras casi 12 años cuando la vida útil de las placas solares se sitúa entre 25 y 30 años [36, 37], por lo que, a partir de este punto, y hasta el fin de la utilización de las placas, el ahorro obtenido cada año supone un beneficio económico, sin olvidar el beneficio ambiental derivado de la utilización de energía renovable. En cuanto a la instalación grande, el punto en que la inversión se vuelve rentable es el comienzo del décimo año de utilización de las placas solares. Es decir, en esta instalación de gran tamaño la inversión se

vuelve rentable a mayor velocidad y, a partir del décimo año, los beneficios anuales de 6.779€ suponen un ahorro neto.

Tabla 11: Resumen ganancias y pérdidas de las dos instalaciones durante y después del periodo de financiación en comparación con el suministro estándar

	10.010kWh		147.000kWh	
	Comprada	Autoconsumo	Comprada	Autoconsumo
Al cabo de 7 años (€)	10.012,66	14.030,21	100.520	121.356,41
Cada año a partir del séptimo (€)	1.430,38	577,28	14.360	7.581,25
Pérdidas tras 7 años (€)	4.017,55		20.836,41	
Ganancias anuales a partir del séptimo año (€)	853,10		6.779	
Punto en que comienza a obtenerse beneficios (año)	4,71		3,07	

No obstante, el precio de compra utilizado en las Tablas 8-11 consiste en una estimación, de modo que vamos a comparar esta información con los datos de que disponemos de estaciones de depuración de la Comunidad Valenciana (Tablas 5-8). Como es natural, estos presupuestos son dos estimaciones, de manera que no coincidirán exactamente con ninguna depuradora existente. Sin embargo, el objetivo no es cubrir la totalidad del consumo energético de una planta sino una parte, por lo que se compararán los presupuestos con instalaciones que consuman más de lo que proporcionarían las placas. Para comenzar, supongamos que realizamos la instalación pequeña con el objetivo de suministrar energía a la estación de Ademuz, es decir, suministraríamos 10.010kWh de un consumo total de 90.286kWh, por los cuales se afronta un coste anual de 13.875€. Esto conlleva que el coste de obtener 10.010kWh asciende a 1.084,08€ al año (10.010kWh a 0,10830€ el kWh, sin tener en cuenta el coste de la potencia contratada). Como vimos en la comparación inicial del presupuesto de las placas fotovoltaicas con el coste que tendría comprar la energía, el precio mostrado por esta planta depuradora es inferior, lo que condiciona el resultado. De esta manera, como muestra la Tabla 12, durante los 7 años del periodo de financiación el coste de la energía pasaría a ser de 7.588,58€ mientras el coste del proyecto se mantiene en los 14.030,21€. Así, las pérdidas de este periodo ascienden a 6.441,63€ y el ahorro anual una vez terminado este periodo asciende a 506,80€, lo que modifica significativamente el punto en que el proyecto se vuelve rentable, pues si

anteriormente determinamos que este punto se alcanzaría a los 12 años de la instalación, en este caso se alcanzaría al final del vigésimo año. Esto, por supuesto, sin considerar la existencia de subvenciones ni la posible disminución de la potencia contratada, aspectos que podrían adelantar la fecha en que el proyecto se vuelve rentable. Del mismo modo, no se consideran los beneficios ambientales, pero incluso así el proyecto se muestra económicamente viable, pues la vida útil de las placas solares supera los 20 años [36, 37].

En cuanto a la instalación de mayor tamaño, la comparación la realizaremos con la planta depuradora de El Campello, que consume al año 186.643kWh. Este caso es considerablemente diferente del anterior, pues la gran potencia contratada supone un coste muy elevado. En concreto, este coste asciende a 3.731,85€, por lo que, si no tenemos en cuenta que el autoconsumo permitiría reducir este coste, el proyecto se vuelve difícilmente viable, pues alcanzaría la rentabilidad en un punto muy tardío (tras 32 años desde la puesta en funcionamiento) y, dado el periodo de vida de una placa solar, probablemente el proyecto no sería económicamente viable. Con el fin de ejemplificar la importancia de esta cuestión, supongamos que el autoconsumo permite ahorrarse la mitad del coste derivado de la potencia contratada. Este ahorro ascendería a 13.061,48€ durante el periodo de financiación y 1.865,93€ cada año a partir de ese periodo. Teniendo en cuenta estos números, las pérdidas durante el periodo de financiación se reducen a 40.247,17€, el ahorro anual a partir del séptimo año asciende a 4.005,79€ y el proyecto se vuelve rentable al comienzo del decimoséptimo año de proyecto (10 después del fin del periodo de financiación). No obstante, esto es solamente una suposición, pues gracias al autoconsumo esta estación requeriría de un suministro adicional de únicamente 39.643kWh, consumo que no requiere de la potencia de 1.200kW/año que esta planta tiene actualmente contratada. A este ahorro también habría que sumarse las posibles subvenciones de cara a analizar por completo la rentabilidad económica, así como los beneficios ambientales para analizar la rentabilidad total.

Por tanto, se puede observar cómo, ya sea mediante la estimación o los costes reales de plantas depuradoras, la instalación de placas solares se muestra como un proyecto económicamente viable siempre y cuando se puedan afrontar las condiciones de financiación, ya que suponen un fuerte gasto inicial. Los ahorros obtenidos gracias a la menor potencia contratada, el menor coste unitario de la generación de energía por medio de placas fotovoltaicas y la presencia de subvenciones, que dependen de las características del proyecto y de la empresa o entidad que lo ejecute, convierten la energía

solar en una alternativa económica y ambientalmente viable. No obstante, cada proyecto requerirá de un análisis profundo, pues sería necesario conocer detalles relacionados con la instalación de placas solares como la superficie a utilizar, con la variación de los costes al modificar la forma de obtención de la energía (disminución del coste total de la energía comprada, pero cabe la posibilidad que el coste unitario de la energía comprada restante crezca) y las potenciales subvenciones a recibir.

Tabla 12: Resumen de ganancias y pérdidas de las dos instalaciones durante y después del periodo de financiación en comparación con el suministro estándar para la planta depuradora de Ademuz (sustituyendo 10.010kWh de su consumo total) y la estación de bombeo de El Campello (sustituyendo 147.000kWh de su consumo total)

	Ademuz (instalación de 10.010kWh)		El Campello (instalación de 147.000kWh)	
	Comprada	Autoconsumo	Comprada	Autoconsumo
Al cabo de 7 años (€)	7588,58	14.030,21	68.047,77	121.356,41
Cada año a partir del séptimo (€)	1084,08	577,28	9.721,11	7.581,25
Pérdidas tras 7 años (€)	6.441,63		53.308,64	
Ganancias anuales a partir del séptimo año (€)	506,80		2.139,86	
Punto en que comienza a obtenerse beneficios (año)	12,71		24,91	

3.2.3. Coste económico del consumo energético del trasvase Tajo-Segura

Con el objetivo de ampliar la información disponible acerca del consumo energético y de la viabilidad del autoconsumo a través de placas solares se realizará, a continuación, un análisis similar en base a los datos obtenidos sobre el trasvase Tajo-Segura. Toda la información utilizada la podemos encontrar en la Tabla 13 [38]. En esta ocasión, sí que se puede observar el periodo en que se realiza el consumo, algo importante teniendo en cuenta que cada uno de los periodos presenta un precio diferente. No obstante, los consumos que registró el trasvase Tajo-Segura son muy elevados en comparación a las instalaciones de placas solares con las que trabajamos, por lo que, para realizar el análisis trabajaremos con consumos ubicados en un periodo concreto. Así, utilizaremos el periodo de consumo 6 de Crevillente y el periodo de consumo 3 de Fuente Álamo. En cuanto a las 3 zonas de las cuales se presenta información en la tabla, cabe comentar que se

refiere a los lugares donde se realiza la medición del consumo. En este sentido, El Palmar se corresponde con el punto de medición del consumo de varios tramos del trasvase.

Tabla 13: Datos del consumo energético del trasvase Tajo-Segura (datos provisionales del coste energético del año 2020). Fuente: [38]

	Coste Término de potencia total (€)	Coste Término de consumo total (€)	Coste Término de potencia total (€)	Coste Término de consumo total (€)	Coste Término de potencia total (€)	Coste Término de consumo total (€)
Periodo de consumo 1	170.245,78	403.241,42	17.726,68	0,00	20.807,82	49.167,78
Periodo de consumo 2	85.196,57	510.597,93	8.871,01	0,00	10.412,91	62.518,60
Periodo de consumo 3	62.349,75	265.508,74	6.492,04	0,00	7.620,53	33.313,46
Periodo de consumo 4	62.349,75	412.619,38	6.500,04	0,00	7.620,53	51.983,25
Periodo de consumo 5	62.349,75	557.691,31	6.508,04	0,00	7.620,53	70.962,45
Periodo de consumo 6	91.665,72	8.570.636,21	8.515,89	107.907,08	10.209,67	264.952,77
Total (€)	534.157,33	10.720.294,98	54.613,68	107.907,08	64.291,97	532.898,31

En cualquier caso, se puede comprobar fácilmente cómo el trasvase requiere de un suministro energético continuo, con su respectiva contratación de una potencia determinada y, por tanto, de un coste financiero relevante para el funcionamiento del trasvase. Si tenemos en cuenta el coste financiero de este suministro podemos ver la importancia de la cuestión. En este sentido, el coste supera los 12 millones de euros, a lo que habría que sumar otros gastos e impuestos. Por tanto, las medidas de eficiencia energética y las fuentes de energía alternativas son de gran importancia para minimizar el impacto ambiental del trasvase y maximizar su eficiencia económica.

3.2.4. Viabilidad del autoconsumo energético en el trasvase Tajo-Segura a través de placas solares

Como se ha mostrado en el apartado anterior, el consumo energético del trasvase Tajo-Segura supone un coste total elevado, ya que supera los 15 millones de euros si sumamos todos los costes financieros, a lo que habría que añadir el impacto ambiental negativo que se deriva de la generación de la energía utilizada. No obstante, es algo razonable debido a que el agua debe recorrer una larga distancia, de modo que es necesario asegurarse de que esta pueda recorrer la infraestructura y suministrarse en las diferentes regiones. Además, las necesidades energéticas varían a lo largo del trasvase, cosa que presenta una influencia directa sobre el suministro energético [21]. Así, la Tabla 3 nos mostraba cómo, según zonas del trasvase, el consumo energético por metro cúbico de agua se sitúa entre 0,87kWh y 1,941kWh. Este aspecto condiciona directamente la situación en que se da el suministro energético, además de que la infraestructura transporta cada vez menos agua conforme esta se va

distribuyendo. Por tanto, las características del trasvase en las distintas elevaciones donde se requiere de energía tienen una gran relevancia sobre el coste final. En este sentido, un elevado consumo energético permite alcanzar un precio unitario reducido que dificulta la viabilidad económica de los proyectos de placas solares. En cualquier caso, en la práctica podría modificarse el tamaño de la instalación o tal vez se tendrían en cuenta más criterios a parte del puramente financiero.

La Tabla 14 muestra los resultados obtenidos de la misma manera que la Tabla 12 lo hacía para la depuración de aguas residuales. El cálculo realizado consiste en determinar el coste del suministro energético de los 147.000kWh que la instalación de placas solares sería capaz de producir, pudiendo comparar así, el coste de ambas alternativas. En los casos valorados anteriormente, la rentabilidad económica se alcanzaba en el año 20 para la instalación pequeña y en el 32 para la grande, lo que hacía que esta última, sin valorar aspectos diferentes al financiero, no fuera viable debido a la vida útil de las placas solares. En este caso la situación es similar, la elevada inversión que debe realizarse supone importantes pérdidas en comparación con el suministro tradicional. Estas pérdidas son muy difíciles de compensar cuando el consumo energético es muy elevado porque el precio medio del suministro es menor. Esta cuestión hace que los beneficios financieros obtenidos anualmente no sean lo suficientemente elevados como para rentabilizar la inversión. En el caso del trasvase las pérdidas tras siete (7) años superan los 50.000, de modo que los aproximadamente 2.000€ anuales obtenidos de beneficio anual elevan la fecha de amortización de la inversión a los años 37 (Crevillente) y 34 (Fuente



Álamo), lo que excede en ambos casos el periodo de vida útil de las placas solares.

La cantidad de energía suministrada es el aspecto que se ha mostrado más relevante. El presupuesto obtenido para una instalación grande de placas solares muestra que el coste medio del autoconsumo energético es menor que en la pequeña. No obstante, es precisamente esta última la que se ha mostrado más fácil de amortizar, siempre y cuando se compare con un suministro energético reducido. Esto muestra un detalle muy importante que debemos tener en cuenta, pues si bien una instalación grande de paneles solares presenta menores costes medios que una pequeña, también debe compararse con un suministro mayor. Esta cuestión condiciona la viabilidad financiera del autoconsumo, pues los ahorros por demandar una cantidad elevada de energía superan a los que surgen de incrementar el tamaño de la instalación de placas solares. Así, un pequeño proyecto puede ser viable debido al elevado coste financiero medio del consumo energético cuando este es reducido. Por tanto, el adecuado diseño de las instalaciones es una cuestión fundamental.

Tabla 14: Resumen ganancias y pérdidas de la instalación de 147.000kWh durante y después del periodo de financiación en comparación con el suministro estándar para el periodo de consumo 6 de Crevillente y el periodo de consumo 3 de Fuente Álamo

	Crevillente (P6)		Fuente Álamo (P3)	
	Comprada	Autoconsumo	Comprada	Autoconsumo
Al cabo de 7 años (€)	66.027,84	121.356,41	67.369,66	121.356,41
Cada año a partir del séptimo (€)	9.432,55	7.581,25	9.624,24	7.581,25
Pérdidas tras 7 años (€)	55.328,57		53.987,00	
Ganancias anuales a partir del séptimo año (€)	1.851,30		2.042,99	
Punto en que comienza a obtenerse beneficios (año)	29,89		26,43	

4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

El objetivo de este trabajo consistió en determinar la viabilidad general de los proyectos orientados a sustituir el suministro de energía convencional por autoconsumo a partir de paneles solares fotovoltaicos, así como en establecer un marco general que sirva como guía para futuros proyectos de estas características. Este trabajo dispone de información obtenida directamente de potenciales compradores y vendedores de instalaciones de placas solares para el autoconsumo. Como se ha podido constatar, la

situación es compleja y debe adaptarse a cada caso analizado, pero se ha podido ver que, en general, existen incentivos económicos suficientes para efectuar un gasto como este. Por supuesto, estos se corresponden al largo plazo, pues es improbable que una instalación de estas características se rentabilice antes de 10 años debido al alto coste inicial. Por este motivo, existe la necesidad de financiar la inversión inicial lo que, sumado a los gastos de operación y mantenimiento, provoca la tardía aparición de beneficios. No obstante, la larga vida útil de las placas solares, que puede alcanzar los 25-30 años [36, 37], convierte esta alternativa de suministro energético en una opción más que viable, aunque debe tenerse muy en cuenta el tamaño de la instalación, pues es más fácil amortizar instalaciones que cubran consumos reducidos. Este aspecto no debe dejarse de lado debido a que los elevados consumos disfrutan de precios medios más bajos. En este sentido, las instalaciones propuestas no se han mostrado competitivas en términos financieros respecto al suministro tradicional cuando dicho suministro es elevado a causa de un insuficiente ahorro anual cuando los precios son bajos. Esto sin tener en cuenta que la tecnología y el mercado de las placas fotovoltaicas están en constante desarrollo.

Esta cuestión es de gran importancia, es decir, el horizonte temporal del proyecto es esencial para determinar su viabilidad. Una instalación de estas características no puede competir en el corto plazo con el suministro tradicional de energía, pero si el mantenimiento de las placas solares y el aprovechamiento de la energía que generan es el adecuado, estamos hablando no solamente de un ahorro económico para el consumidor, que se puede traducir en incrementos de los beneficios o mejoras en términos de competitividad empresarial [39, 40], sino que también se deben considerar los beneficios ambientales. Es decir, combinando el ahorro económico y los beneficios ambientales derivados de la reducción de combustibles fósiles obtenemos unos resultados que merece la pena perseguir. No obstante, este aprovechamiento de la energía debe ser continuo para que sea posible amortizar la inversión y se compense el esfuerzo inicial en términos económicos.

Otro aspecto que es de gran importancia es la superficie disponible para la instalación. En este trabajo, dado su carácter general, no hemos entrado a valorar cuánto espacio disponible hay en ningún lugar concreto, así como el coste de dicho terreno. No obstante, servicios como la depuración de aguas residuales o la desalación de aguas se sitúan alejadas de los núcleos urbanos con el fin de no afectar a las condiciones de vida de la población de esas zonas. Además, ya existen algunas plantas depuradoras que disponen de generación de energía mediante placas

solares [16], por lo que teniendo en cuenta ambas cuestiones es posible que este no sea un gran problema, aunque sí que supone un coste adicional. Sin embargo, otros servicios del agua podrían no disponer de estas ventajas, por lo que esos casos requerirían de un estudio más profundo que incluyera detalles acerca de qué subvenciones específicas se pueden solicitar, qué trámites deberían realizarse, qué impacto urbano causarían los paneles o cuál sería la situación exacta de las posibles superficies de instalación. En todo caso, es improbable que los recursos financieros disponibles permitan ejecutar una gran cantidad de proyectos de estas características.

Por último, no debemos olvidar que estamos persiguiendo la viabilidad económica de las placas solares a través de constantes mejoras tecnológicas de manera que se extienda su uso. En este sentido, la rentabilidad depende no solamente de los propios costes de esta forma de generación de energía, sino también, del precio de sus competidoras. Así, el principal competidor al que debemos enfrentarnos son las empresas dedicadas al suministro energético. El aprovisionamiento energético mediante estas empresas carece de los elevados costes iniciales que presenta el autoconsumo, pero también supone pagar un precio mayor por la energía en comparación a los costes de operación y mantenimiento de las placas solares. De esta manera, la evolución de los precios de la energía es fundamental para determinar la viabilidad del autoconsumo, pues el constante ahorro año tras año es lo que hace viable el autoconsumo, pero si el precio de la energía fuera bajo, este ahorro no sería lo suficientemente elevado como para garantizar la viabilidad. Sin embargo, en tiempos recientes hemos encontrado incrementos de los precios de la energía en España [27] y no existen indicios para pensar que estos precios vayan a disminuir en el futuro. Por este motivo, el autoconsumo se presenta como una alternativa viable económica y ambientalmente, que podría incrementar la competitividad empresarial por medio de la reducción de un importante coste como es el energético y que permitiría acercarnos a los objetivos ambientales propuestos por la Unión Europea.

Por tanto, se puede concluir que, si bien el autoconsumo a partir de placas solares se muestra viable en general, existen algunos aspectos que requieren de atención detallada a la hora de ejecutar un proyecto concreto. Esto deja abierta una línea de investigación muy interesante acerca de cuestiones como la influencia de la superficie disponible, la evolución de los precios de la energía, los beneficios ambientales específicos en cada caso o incluso la distribución de la demanda (y de la producción) energética a lo largo de un año, por ejemplo según el momento del día o la estación del año.

Procedencia de los datos: Los datos acerca de las características de las depuradoras provienen de la página web de la EPSAR (<http://www.epsar.gva.es/>). Los datos sobre el coste económico de su consumo energético también provienen de la EPSAR, pero son una información concreta que nos enviaron por correo electrónico. Los datos del coste energético del trasvase Tajo-Segura provienen del Sindicato Central de Regantes del Acueducto Tajo-Segura (SCRATS), los cuales no están publicados al ser provisionales. Por último, los datos acerca de las instalaciones de placas solares para autoconsumo provienen de una empresa del sector, Enerficaz.

Financiación: Este trabajo ha sido financiado por el Vicerrectorado de Investigación y Transferencia del Conocimiento de la Universidad de Alicante, España (Marcos García-López tiene un contrato para La Formación del Profesorado Universitario de la Universidad de Alicante, UAFPU2019-16).

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] UNEF, (2020a). “Análisis del estado del arte del reciclaje de paneles fotovoltaicos”. Unión Española Fotovoltaica, Madrid. Disponible en: <https://www.uneef.es/es/descargar-documento/cf017acb44f537ef5e9773965c21a610> (Consultado 11/05/2022).
- [2] UNEF, (2020b). “Aportación del sector fotovoltaico a la reactivación económica tras la crisis del COVID-19”. Unión Española Fotovoltaica, Madrid. Disponible en: https://www.congreso.es/docu/comisiones/reconstruccion/documentacion_participacion_ciudadana/20200526_D15.pdf (Consultado 11/05/2022).
- [3] IRENA, (2019). “Future of solar photovoltaic: deployment, investment, technology, grid integration and socio-economic aspects”. International Renewable Energy Agency, Abu Dabi. Disponible en: <https://www.irena.org/publications/2019/Nov/Future-of-Solar-Photovoltaic> (Consultado 06/02/2021).
- [4] UNEF, (2020c). “El sector fotovoltaico: hacia una nueva era. Informe anual 2020”. Unión Española Fotovoltaica, Madrid. Disponible en: <https://www.uneef.es/es/descargar-documento/09a06238296b8a54271cea2112d40040> (Consultado 11/05/2022).
- [5] Solarplaza, (2020). “Spain 2020: The road ahead for solar”. Solarplaza International BV, Rotterdam. Disponible en: <https://spain.solarplaza.com/market-parity-watch-source/2019/10/30/the-road-ahead-for-solar> (Consultado 06/02/2021).



- [6] Generalitat Valenciana, (2020). DECRETO LEY 14/2020, de 7 de agosto, del Consell, de medidas para acelerar la implantación de instalaciones para el aprovechamiento de las energías renovables por la emergencia climática y la necesidad de la urgente reactivación económica. Disponible en: <https://boe.es/ccaadogv/2020/8893/r32878-32930.pdf> (Consultado 06/02/2021).
- [7] SolarPower, (2020). "Global Market Outlook For Solar Power 2020-2024". SolarPower Europe, Brussels. Disponible en: <https://www.solarpowereurope.org/global-market-outlook-2020-2024/> (Consultado 06/02/2021).
- [8] UNEF, (2022). "GUÍA DE MEJORES PRÁCTICAS PARA EL DESARROLLO DE PLANTAS SOLARES". Unión Española Fotovoltaica, Madrid. Disponible en: <https://www.unef.es/es/descargar-documento/7e5c042d61f74bb452e6a7d92cf9cc38> (Consultado 11/05/2022).
- [9] Otovo, (2020). "Incentivos fiscales para instalaciones de autoconsumo fotovoltaico en municipios con más de 10.000 habitantes". Otovo Iberic SL, Madrid. Disponible en: <https://www.otovo.es/assets/subvenciones-placas-solares.pdf> (Consultado 06/02/2021).
- [10] Arazola-Martínez, M. (2019). Depuración de agua mediante aprovechamiento de energía eléctrica en invernaderos. Trabajo de Fin de Máster. Universidad de Jaén, departamento de ingeniería eléctrica. Disponible en: <http://tauja.ujaen.es/handle/10953.1/10094> (Consultado 06/02/2021).
- [11] Martí Vidal, A. (2019). Diseño integrado de un bombeo de agua de 850 kW con energía solar fotovoltaica en el término municipal de Benifaió (Valencia). Trabajo de Fin de Grado. Universidad politécnica de Valencia, escuela técnica superior de ingenieros de caminos, canales y puertos. Disponible en: <https://riunet.upv.es/handle/10251/116392> (Consultado 06/02/2021).
- [12] Gil Tomás, A. (2018). Diseño integrado del funcionamiento de un bombeo de agua de gran potencia con una instalación solar fotovoltaica en el puerto de Catarroja (Valencia). Trabajo de Fin de Máster. Universidad politécnica de Valencia, escuela técnica superior de ingenieros de caminos, canales y puertos. Disponible en: <https://riunet.upv.es/handle/10251/103364> (Consultado 06/02/2021).
- [13] Tovar Ospino, I.R., (2010). Diseño de un banco de prueba para determinar los servicios globales ofrecidos por colectores solares planos para el calentamiento de agua. INGE CUC, 6(1), 119-130. Disponible en: <https://revistascientificas.cuc.edu.co/ingecuc/article/view/298> (Consultado 01/02/2022).
- [14] Setiawan, A. A., Purwanto, D. H., Pamuji, D. S., & Huda, N. (2014). Development of a solar water pumping system in Karsts Rural Area Tepus, Gunungkidul through student community services. *Energy Procedia*, 47, 7-14. <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2014.01.190>
- [15] JCU, (2020). "Integración de energía solar fotovoltaica en la conducción Júcar-Vinalopó y en el recurso de desalación". Junta Central de Usuarios del Vinalopó Alacantí y Consorcio de Agua de la Marina Baja. Informe elaborado por la Universitat Politècnica de València. Disponible en: https://www.juntacentral.es/sites/default/files/2020-11/20201030_informe_upv_FV_TJV.pdf (Consultado 06/02/2021).
- [16] EPSAR, (2020). "Memoria de Gestión". Ejercicio 2019. Entidad Pública de Saneamiento de Aguas Residuales de la Comunidad Valenciana, Valencia. Disponible en: https://www.epsar.gva.es/sites/default/files/2020-07/INFORME-DE-GESTION_2019.pdf (Consultado 11/05/2022).
- [17] Borg, J. P., & Zitomer, D. H. (2008). Dual-team model for international service learning in engineering: Remote solar water pumping in Guatemala. *Journal of Professional Issues in Engineering Education and Practice*, 134(2), 178-185. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)1052-3928\(2008\)134:2\(178\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)1052-3928(2008)134:2(178))
- [18] Urmee, T., Walker, E., Bahri, P. A., Baverstock, G., Rezvani, S., & Saman, W. (2018). Solar water heaters uptake in Australia—Issues and barriers. *Sustainable Energy Technologies and Assessments*, 30, 11-23. <https://doi.org/10.1016/j.seta.2018.08.006>
- [19] Hanes, R. J., Gopalakrishnan, V., & Bakshi, B. R. (2018). Including nature in the food-energy-water nexus can improve sustainability across multiple ecosystem services. *Resources, Conservation and Recycling*, 137, 214-228. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2018.06.003>
- [20] Deb, D., & Brahmabhatt, N. L. (2018). Review of yield increase of solar panels through soiling prevention, and a proposed water-free automated cleaning solution. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 82, 3306-3313. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2017.10.014>
- [21] Melgarejo, J., & Montano, B. (2011). The power efficiency of the Tajo-Segura transfer and

- desalination. *Water Science and Technology*, 63(3), 536-541. <https://doi.org/10.2166/wst.2011.254>
- [22] Hernández-Sancho, F., Molinos-Senante, M., & Sala-Garrido, R. (2011). Eficiencia energética, una medida para reducir los costes de operación en las estaciones depuradoras de aguas residuales. *Tecnología del agua*, 31(326), 46-54.
- [23] Villar, A. (2014) El coste energético de la desalinización en el programa A.G.U.A., *Investigaciones Geográficas*, 62, 101-112. <https://doi.org/10.14198/INGEO2014.62.07>
- [24] Langarita, R., Sarasa, C., & Jiménez, S. (2016). Los costes energéticos en la agricultura de regadío. Alternativas para su reducción y efectos de la implantación de una tarifa verde en España (No. ART-2016-95506). Disponible en: https://ideas.repec.org/a/eea/eeerse/v16y2016i1_9.html (Consultado 01/02/2022).
- [25] Corominas, J. (2010). Agua y energía en el riego, en la época de la sostenibilidad. *Ingeniería del agua*, 17(3), 219-233. <https://doi.org/10.4995/ia.2010.2977>
- [26] Albadalejo-Ruiz, A., Martínez-Muro, J. L. & Santos-Asensi, J. M. (2015). Parametrización del consumo energético en las depuradoras de aguas residuales urbanas de la Comunidad Valenciana. TecnoAqua, Lucca, Italy. Disponible en: <https://www.tecnoaqua.es/articulos/20200811/articulo-tecnico-parametrizacion-consumo-energetico-depuradoras-agua-residuales-urbanas-comunidad-valenciana#.YfIP1erMJEY> (Consultado 01/02/2022).
- [27] Albadalejo-Ruiz, A. & Trapote, A. (2009). Influencia de las tarifas eléctricas en los costes de operación y mantenimiento de las depuradoras de aguas residuales. *TecnoAqua*. Disponible en: <https://www.tecnoaqua.es/articulos/20160606/influencia-tarifas-electricas-costes-operacion-mantenimiento-depuradoras-aguas-residuales#.YfIP9urMJEY> (Consultado 01/02/2022).
- [28] Zarzo Martínez, D. (2020). La desalación del agua en España. En *Presupuesto y Gasto Público 101/2020*. El agua en España: economía y gobernanza, pp. 169-186. Secretaría de Estado de Presupuestos y Gastos: Instituto de Estudios Fiscales. Disponible en: <https://www.ief.es/docs/destacados/publicaciones/revistas/pgp/101.pdf> (Consultado 01/02/2022).
- [29] Zarzo, D., & Prats, D. (2018). Desalination and energy consumption. What can we expect in the near future?. *Desalination*, 427, 1-9. <https://doi.org/10.1016/j.desal.2017.10.046>
- [30] Melgarejo, J., & López-Ortiz, M. I. (2020). Externos: el valor socioeconómico del trasvase Tajo-Segura para la provincia de Alicante. En J. Melgarejo y M. Fernández (Eds.), *El agua en la Provincia de Alicante* (pp. 157-182). Diputación Provincial de Alicante y Universidad de Alicante. Disponible en: <http://rua.ua.es/dspace/handle/10045/108348> (Consultado 01/02/2022).
- [31] Gil-Meseguer, E. (2019). Trasvases de agua al sureste de España. *Agua y Territorio/Water and Landscape*, (13), 55-68. <https://doi.org/10.17561/at.13.4421>
- [32] Pardo, M. Á., Riquelme, A. J., Jodar-Abellan, A. & Melgarejo, J. (2020). Water and energy demand management in pressurized irrigation networks. *Water*, 12(7), 1878. <https://doi.org/10.3390/w12071878>
- [33] Pardo, M.A., Riquelme, A. & Melgarejo, J. (2019). A tool for calculating energy audits in water pressurized networks. *AIMS Environmental Science*. 2019, 6(2): 94-108. Disponible en: <https://rua.ua.es/dspace/handle/10045/91555> Consultado 11/05/2022)
- [34] Yusta Loyo, J. M. (2016). Estrategias para reducir el coste energético en comunidades de regantes. In *XXXIV Congreso Nacional de Riegos, Sevilla 2016*. Escuela Técnica Superior de Ingeniería-Agronómica. Disponible en: <https://idus.us.es/bitstream/handle/11441/41563/T-D-01.pdf;jsessionid=F097A39EC0F4F76A0B81011DAAFEA2B7?sequence=1> (Consultado 01/02/2022).
- [35] Braz-Tangerino, F., Ferreira, M. I., Moreno-Hidalgo, M. A., Playán, E., Pulido-Calvo, I., Rodríguez-Sinobas, L., Tarjuelo, J. M. & Serralheiro, R. (2014). Visión del regadío. *Ingeniería del agua*, 18(1), 39-53. <https://doi.org/10.4995/ia.2014.3077>
- [36] Malandrino, O., Sica, D., Testa, M., & Supino, S. (2017). Policies and measures for sustainable management of solar panel end-of-life in Italy. *Sustainability*, 9(4), 481. <https://doi.org/10.3390/su9040481>
- [37] Xu, Y., Li, J., Tan, Q., Peters, A. L., & Yang, C. (2018). Global status of recycling waste solar panels: A review. *Waste management*, 75, 450-458. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2018.01.036>
- [38] CCE, (2021). “Propuesta de Tarifas Acueducto Tajo-Segura”. Ministerio para la Transición

Ecológica y el Reto Demográfico. Secretaría de Estado de Medio Ambiente. Dirección General del Agua: Comisión Central de Explotación, Madrid.

- [39] González, J. S., & Alonso, C. Á. (2021). Industrial electricity prices in Spain: A discussion in the context of the European internal energy market. *Energy Policy*, 148, 111930. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2020.111930>
- [40] Moreno, B., García-Álvarez, M. T., Ramos, C., & Fernández-Vázquez, E. (2014). A General Maximum Entropy Econometric approach to model industrial electricity prices in Spain: A challenge for the competitiveness. *Applied Energy*, 135, 815-824. Disponible en: <https://ideas.repec.org/a/eee/appene/v135y2014icp815-824.html> (Consultado 01/02/2022).



Borja Montano.- Profesor Titular del Departamento de Análisis Económico Aplicado de la Universidad de Alicante. Se licenció en economía con premio extraordinario y se doctoró en economía realizando su tesis doctoral sobre la desalinización y el análisis económico aplicado a los recursos hídricos



Joaquín Melgarejo.- Catedrático de Historia e Instituciones Económicas del Departamento de Análisis Económico Aplicado y director del Instituto del Agua y de las Ciencias Ambientales (IUACA) de la Universidad de Alicante.



Marcos García-López.- personal docente e investigador en formación de la Universidad de Alicante. Tras realizar el Grado en Economía y el Máster en Economía Aplicada, actualmente desarrolla su investigación en el campo de la gestión económica de los recursos hídricos.