

Memoria del proyecto de investigación:

**CONTAMINACIÓN HÍDRICA Y GESTIÓN DE LA CALIDAD DEL AGUA. UN ANÁLISIS
DESDE LA PERSPECTIVA DE LA HUELLA ENERGÉTICA Y LOS COSTES
AMBIENTALES**



EQUIPO INVESTIGADOR:

José Manuel Naredo
Joan Corominas
Julia Martínez
Francesc La Roca
Fernando Suárez
Laura Sánchez

Noviembre de 2020

ÍNDICE

PRESENTACIÓN	3
1. INTRODUCCIÓN Y OBJETIVOS	4
2. METODOLOGÍA	6
3. RESULTADOS	8
3.1. DIAGNÓSTICO GENERAL. CLAVES DEL ESTADO DE LA CUESTIÓN	8
3.1.1. <i>EL AGUA COMO FUENTE DE ENERGÍA</i>	8
3.1.2. <i>LA ENERGÍA COMO FUENTE DE AGUA. DESALACIÓN MARINA</i>	10
3.1.3. <i>LA HUELLA ENERGÉTICA DE LOS USOS DEL AGUA.....</i>	11
3.2. APORTACIONES DE LA ENCUESTA ONLINE. SÍNTESIS DE RESULTADOS	19
3.2.1. PRODUCCIÓN HIDROELÉCTRICA EN EL MARCO DE LA TRANSICIÓN HÍDRICA Y LA TRANSICIÓN ENERGÉTICA	19
3.2.2. ACERCA DE LA DESALACIÓN MARINA.....	21
3.2.3. PROPUESTAS PARA REDUCIR LA HUELLA ENERGÉTICA EN LOS USOS DEL AGUA	25
3.2.4. REUTILIZACIÓN DE AGUAS RESIDUALES, SOSTENIBILIDAD E IMPLICACIONES ENERGÉTICAS	26
4. REFERENCIAS	27

Presentación

El presente documento constituye la Memoria justificativa del proyecto de investigación: **“Contaminación hídrica y gestión de la calidad del agua. Un análisis desde la perspectiva de la huella energética y los costes ambientales”**.

Dicho proyecto se enmarca en la materia de investigación: **d) Prevención de la contaminación**, de la Convocatoria del Ministerio para la Transición Ecológica para 2020 de la concesión de subvenciones a entidades del Tercer Sector u Organizaciones no Gubernamentales que desarrollen actividades de interés general consideradas de interés social en materia de investigación científica y técnica de carácter medioambiental.

El equipo de investigación de este proyecto, desarrollado a lo largo de 2020, está formado por los siguientes investigadores de la Fundación Nueva Cultura del Agua:

- Jose Manuel Naredo. Economista y Estadístico, experto en Economía Ecológica. Experto en flujos de energía y materiales, economías del agua, agricultura, gestión del agua e implicaciones energéticas de la calidad y contaminación del agua.
- Joan Corominas. Ingeniero agrónomo y experto en sistemas de sistemas de regadío, es miembro del equipo científico-técnico de la Fundación Nueva Cultura del Agua.
- Julia Martínez. Doctora en Biología por la Universidad de Murcia, profesora del Máster Propio en Gestión Sostenible del Agua de la Universidad de Zaragoza, experta en dinámica socioambiental del agua y miembro del equipo científico-técnico de la Fundación Nueva Cultura del Agua.
- Francesc La-Roca. Doctor en Economía y experto en políticas ambientales y políticas del agua, ha sido profesor titular de Economía en la Universidad de Valencia hasta su jubilación. Es miembro del equipo científico-técnico de la Fundación Nueva Cultura del Agua.
- Fernando Suárez. Ingeniero Agrónomo por la Universidad Politécnica de Madrid, consultor en Energías Renovables y Medio Ambiente, particularmente en residuos y efluentes. Miembro del equipo científico-técnico de la Fundación Nueva Cultura del Agua.
- Laura Sánchez. Licenciada en Dirección y Administración de Empresas, Máster en Gestión Fluvial Sostenible y Gestión Integrada de Aguas, experta en economía del agua y miembro del equipo científico de la Fundación Nueva Cultura del Agua.

1. Introducción y objetivos

El binomio agua-energía ha sido objeto de extensos análisis, especialmente en los últimos años. Como resultado de ello podemos identificar un conjunto de conclusiones y valoraciones bastante asentadas y con las que desde la nueva cultura del agua en principio estamos de acuerdo. No obstante persisten algunas cuestiones cuya respuesta no es *a priori* tan obvia desde la perspectiva de la nueva cultura del agua o en la que es necesario profundizar para entrar a los niveles de detalle que se requieren. Veamos algunos ejemplos de estas cuestiones.

El agua constituye una fuente de energía renovable (p.e: energía hidroeléctrica), aunque no necesariamente sostenible. Como luego se indica el “motor solar” mueve el ciclo hidrológico generando un gradiente de potenciales —físico (cota) y químico (poder de dilución)— desde que el agua entra en el ciclo por precipitación, hasta que acaba perdiendo sus potenciales, cuando desaparece por evaporación o se diluye en el sumidero último de los mares. A la vez, la energía permite disponer del agua como recurso a través de la captación, bombeo, distribución y tratamientos necesarios e, incluso, a través de la propia generación completa del recurso (desalación marina).

La producción hidroeléctrica constituye una fuente energética que no genera emisiones, algo fundamental en el marco de la necesaria transición energética. Se trata de una fuente renovable pero ¿es siempre sostenible? Las presas hidroeléctricas son uno de los principales obstáculos - junto a un exceso de captaciones para regadío - para alcanzar y mantener el buen estado de los ríos. ¿Son las minicentrales hidroeléctricas una alternativa más sostenible? ¿Debería reducirse la producción hidroeléctrica en España para mejorar el estado ecológico de los ríos, pese a su impacto en los objetivos de transición energética? Con respecto al consumo energético en el ciclo del agua, la desalación marina es percibida en algunos sectores como una vía por la que ha dejado de tener sentido hablar del agua como un recurso escaso, especialmente porque además podemos desalar agua con energías renovables. Sin embargo, sea renovable o no, existe una factura energética asociada a toda gestión para conseguir del agua un recurso disponible en determinadas cantidades y calidades, en cada punto donde se necesita, incluya o no la desalación marina.

En definitiva, existen fuertes vínculos entre agua y energía, de importancia creciente en un contexto de escasez energética, lo que reclama ampliar el marco de análisis de la sostenibilidad del agua y sus usos para incorporar las múltiples interacciones del agua y la energía (y sus implicaciones sociales y ambientales). Se trata de un análisis aún más necesario en el contexto de la transición energética y la transición hídrica actualmente sobre la mesa. La conexión teórica entre agua y energía, así como la posibilidad real de usar agua para obtener energía y energía para obtener agua, deben de tenerse muy en cuenta para orientar la gestión de acuerdo con las recomendaciones de la DMA de elegir las alternativas menos costosas y menos dañinas. Pues no tiene sentido abastecer un determinado uso utilizando aguas continentales e incurriendo en costes energéticos de captación, trasvase, bombeo y tratamientos que superen los que costaría abastecerlo a partir del agua del mar, cuando además el uso del agua del mar no conlleva costes de oportunidad. De la misma forma no tendría sentido incurrir en costes de nuevas captaciones, trasvases, bombeos y tratamientos que superen lo que costaría reasignar el agua ya disponible desde los usos menos valorados, a no ser que

se justifique el mantenimiento de estos usos por razones ecológicas, sociales o culturales (Naredo, 2017).

Hay que tener bien en cuenta que la conexión agua-energía opera de forma diferente según cuales sean la geología y, sobre todo, la topografía y las zonas edafoclimáticas de los territorios. Por ejemplo, la altitud media de la Meseta próxima a los 500 m sobre el nivel del mar y el predominio de clima mediterráneo, con zonas especialmente áridas, priman la potencia física, asociada a la cota, pero rebajan la potencia química, asociada a la calidad del agua, pues el agua que discurre por los cauces va ganando contenido en sales y perdiendo calidad de forma natural a medida que se acerca al mar, lo que no ocurre en zonas de clima húmedo, en las que los suelos están muy lavados y predomina la buena calidad natural de las aguas, cuya pérdida de calidad responde en estos casos sobre todo a la contaminación urbana o industrial. A la vez, en las zonas de clima mediterráneo la pérdida natural de agua por evaporación, acentuada además por los regadíos, es mucho mayor y mucho más acentuada en época estival que en las de clima húmedo, lo que explica la gran irregularidad de los caudales en cantidad y calidad (en clima mediterráneo los cauces pierden mucho caudal y calidad de agua en verano, mientras que en clima húmedo puede incluso ocurrir lo contrario: por ejemplo el Po lleva más agua en verano porque es cuando recoge el deshielo de los Alpes) (Véase Gascó y Naredo (dirs) 1996).

Una buena estrategia de gestión de la demanda requiere ajustar la calidad del agua a los requerimientos de cada uso. Esta gestión diferencial o inteligente de la calidad del agua permite un doble beneficio. Por un lado, se mejora y garantiza la calidad requerida para cada uso y por otro se eliminan tratamientos no necesarios y sus costes energéticos (y ambientales). Por ejemplo, reservar las aguas de máxima calidad para el abastecimiento humano en lugar de utilizarlas en regadío u otros usos menos exigentes, no sólo tiene claros beneficios para la salud humana sino que también reduce la necesidad de tratamientos previos y de potabilización, reduciendo la huella energética y ambiental de dicho abastecimiento humano. Por otro lado, un uso diferencial de las calidades del agua (gestionando calidades, de la misma forma que hay que gestionar cantidades) evitaría asignar aguas de elevada calidad a usos que realmente no la necesitan. En este sentido, la gestión inteligente de la calidad del agua es fundamental para minimizar la huella energética en la gestión del agua y sus usos.

Sin embargo, la dimensión energética, ligada a la localización física y a la calidad química del agua, ha recibido una atención secundaria en la visión hidráulica tradicional, la cual se ha centrado sobre todo en gestionar volúmenes, lo que ha dejado lado la importante cuestión de la necesidad de una gestión inteligente o diferencial de la calidad del agua con varios objetivos: reducir la huella energética y reducir las necesidades de captación de agua desde los ecosistemas, dadas las estrechas sinergias existentes entre cantidad y calidad del agua, aspectos ambos fundamentales tanto en el contexto de la transición hídrica como en el contexto de la transición energética. Además, esta gestión inteligente de la calidad del agua es fundamental para impulsar una economía circular del agua verdaderamente sostenible y que realmente contribuya a reducir la presión sobre los ecosistemas ligados al agua.

El presente proyecto de investigación pretende por ello contribuir a un mejor conocimiento de las relaciones entre cantidad, calidad, requerimientos energéticos y costes ambientales en los recursos y usos del agua, con el fin de mejorar y reorientar la gestión hídrica.

Objetivos específicos

Los objetivos específicos de este proyecto de investigación son los siguientes:

2. Elaborar un diagnóstico sintético que analice las relaciones entre cantidad del agua, calidad del agua, energía y costes ambientales e identificar los principales problemas y retos clave, así como las cuestiones en las que se debería profundizar a través de un proceso de co-producción de conocimiento por parte de un amplio número de expertos interdisciplinares
3. Elaborar de forma colaborativa un documento que aborde los problemas y retos clave identificados y aporte propuestas para su mejora

2. Metodología

El marco metodológico del proyecto se corresponde con la Co-producción de Conocimiento y la Investigación Participativa, la cual pretende la producción de conocimiento desde una base interdisciplinar y participativa, llevando a cabo una investigación contextualizada, dinámica, abierta, dialógica y transformativa.

Se trata de un enfoque que apunta a la producción de un conocimiento propositivo y transformador, mediante un proceso de debate, reflexión y construcción colectiva de saberes desde una base interdisciplinar y contando con la participación de los diferentes actores, con el fin de lograr el avance en un conocimiento desde las dinámicas de la realidad y hacia la aplicación real de dicho conocimiento y la transformación social.

La Investigación Participativa permite la adecuación de las respuestas desde lo público a las necesidades y demandas de los ciudadanos; favorece una mayor eficiencia en la intervención pública; introduce perspectivas interdisciplinares, así como de los diferentes actores sociales en el ámbito de la planificación y la intervención y permite alcanzar un mayor consenso a través de distintos procesos abiertos de consulta y debate.

Como se ha señalado (Ballesteros et al, 2014), la Investigación Participativa lleva a cabo un análisis reflexivo de la sociedad; investiga e interviene desde un enfoque participativo, identifica y detecta las distintas necesidades reales, evalúa las resistencias, conflictos y sinergias entre objetivos, valora las distintas posiciones de los actores sociales implicados, desarrolla la investigación de forma contextualizada, dinámica, abierta, participativa, dialógica y transformativa.

De acuerdo con Contreras (2002), la investigación participativa constituye un enfoque metodológico particularmente adecuado para:

- Promover la producción colectiva del conocimiento.
- Promover el análisis colectivo en el análisis de la información y en la utilización que de ella puede hacerse.
- Promover el análisis crítico.

- Determinar las raíces y causas de los problemas, así como las vías de solución para los mismos.
- Establecer relaciones entre los problemas individuales y colectivos, funcionales y estructurales, como parte de la búsqueda de soluciones colectivas a los problemas enfrentados.

Dentro del marco metodológico de la Investigación Participativa, el proyecto de investigación se ha articulado a través de las siguientes fases metodológicas:

- En primer lugar se llevó a cabo una fase preliminar (*screening*) para identificar los aspectos clave que habían de ser recogidos en el cuestionario de cara a la elaboración del diagnóstico y de las propuestas.
- Fruto de la fase de *screening*, se elaboró un cuestionario con preguntas sobre distintos temas relativos a los instrumentos de mercado en la asignación de recursos hídricos.
- A continuación, se inició la fase no presencial de la investigación, con el envío del cuestionario a un amplio conjunto interdisciplinar de expertos en materia de aguas procedentes de instituciones de investigación y otras entidades implicadas en la gestión del agua de toda España. Como herramienta para la recogida de las respuestas, se utilizó la aplicación GoogleForms, un servicio gratuito que permite generar encuestas y recibir los resultados online.
- A través de dicha herramienta y durante dos meses (Junio y julio de 2020), se recibieron aportaciones al cuestionario.
- Finalmente se ha realizado una labor de sistematización y análisis de todas las aportaciones recibidas, con el fin de elaborar el diagnóstico definitivo, así como el conjunto de propuestas de mejora para integrar la gestión diferencial o inteligente de la calidad del agua y para analizar la contaminación del agua desde la perspectiva de la huella energética, como componentes fundamentales de la gestión hídrica.

Cuestionario

Con el fin de afinar propuestas y posiciones desde la nueva cultura del agua en algunas cuestiones concretas sobre agua y energía, al hilo de lo expuesto, se lanzan las siguientes preguntas a debate en el marco del cambio climático, la transición energética y la transición hídrica:

- 1.- En zonas costeras, donde la desalación marina ha demostrado ya su viabilidad técnica y económica en las condiciones actuales y donde en principio se podría ampliar la capacidad de desalación actual ¿Se puede seguir considerando el agua como un recurso escaso?
2. Si se sigue considerando un recurso escaso ¿Qué limitaciones consideramos que existen para un aumento continuado del volumen de agua desalada en estas zonas costeras?
3. ¿Es realmente posible atender con energía renovable un crecimiento continuado de la desalación marina a la vez que se garantiza con fuentes renovables el resto de

necesidades energéticas? ¿Qué papel debería jugar la desalación marina en el contexto de la transición hídrica, que a la vez sea compatible con los retos de la transición energética?

4. ¿Se debería incluir de forma explícita la huella energética dentro de los criterios de reordenación de la asignación recursos-demandas a las distintas escalas, incluida la planificación hidrológica a escala de cuenca?

5. ¿Qué estrategias y medidas concretas consideramos que se deberían promover o incluso implantar de forma obligatoria (por ejemplo en nuevos desarrollos, nuevas edificaciones, etc) para minimizar la huella energética de los usos del agua? Entre las opciones posibles figuran: reducir el consumo energético en la captación y distribución de agua para regadío, optando por sistemas que requieran bajos insumos energéticos (como el riego por gravedad); captación de agua de lluvia en las edificaciones y otros equipamientos para usos no potables; sistemas dobles de suministro en alta: potables/no potables; sistemas dobles en baja: aguas grises/aguas negras; promover sistemas de depuración descentralizados y extensivos en medianas y pequeñas poblaciones frente a grandes infraestructuras centralizadas con transporte a larga distancia, etc.

6. En el caso de la reutilización de aguas residuales en regadío, que requieren tratamientos de regeneración (más exigentes para cumplir con parámetros específicos y con un gasto energético más elevado), ¿Es deseable una generalización de tales sistemas, que suelen tener una huella energética más elevada pero que por contra podrían suponer una reducción global de los impactos energéticos y ambientales a escala de sistema frente a la obtención de tales volúmenes de los ecosistemas naturales?; ¿deberían pagar los usuarios urbanos los tratamientos de regeneración, en aplicación del principio quien contamina paga o deberían costearlo los beneficiarios del nuevo uso, dado su carácter de tratamiento adicional?

7. Dado el constatado impacto de la producción hidroeléctrica en el estado ecológico de los ríos y la necesidad de una transición hídrica en la que es necesario recuperar el buen estado de los ecosistemas fluviales, ¿qué papel debería jugar la producción hidroeléctrica en la transición energética? Las opciones incluyen: promover la producción hidroeléctrica en general para acelerar la descarbonización del sistema eléctrico; paralización de nuevas grandes centrales hidroeléctricas; paralización de las minicentrales; promover exclusivamente sistemas de turbinado y de almacenamiento hidroeléctrico (centrales reversibles con contraembalse) ubicados fuera del territorio fluvial; rescate de las concesiones hidroeléctricas y priorización de su cierre progresivo, etc.

3. Resultados

3.1. Diagnóstico general. Claves del estado de la cuestión

3.1.1. El agua como fuente de energía

Las centrales hidroeléctricas

La producción de energía eléctrica es un sector que demanda cantidades elevadas de agua, principalmente de forma no consuntiva, fundamentalmente para refrigeración en centrales nucleares, de carbón, de gas natural y ciclo combinado. La transición

energética implica eliminar, a la mayor brevedad posible, este tipo de producción eléctrica basada en recursos no renovables y, en el caso del carbón, gas natural y ciclo combinado, con una elevada huella de carbono. Por tanto, desde la perspectiva del debate que aquí se presenta, no es necesario profundizar en la huella hídrica de tales sistemas.

Sin embargo existe otro uso no consuntivo del agua que sí es relevante por suponer una fuente renovable de energía: las centrales hidroeléctricas, que transforman la energía potencial en energía eléctrica. Su papel se está revalorizando con dos objetivos diferentes pero conectados: i) la producción de energía renovable y ii) la acumulación de energía a través de centrales reversibles y contraembalses, que funcionan a modo de "pilas". Estos últimos sistemas, llamados también "tecnología de bombeo", acumulan energía en momentos de excedentes de producción (bombeando agua al embalse superior), que se libera durante los picos de demanda. La Unión Europea está apostando por grandes infraestructuras energéticas en un sistema interconectado europeo, a modo de "autopistas de energía", en el que se pretende que estas centrales reversibles jueguen un papel clave. De hecho el proyecto de ley de cambio climático, presentado por el gobierno de la nación en mayo de 2020, establece que se promoverá la construcción de centrales hidroeléctricas reversibles, como apoyo a la integración de las tecnologías renovables en el sistema eléctrico (dado que otras tecnologías renovables como la eólica o la solar presentan producciones intermitentes o con grandes fluctuaciones y necesitan de sistemas que amortigüen tales fluctuaciones). Estas centrales de bombeo aportan flexibilidad al sistema eléctrico y sobre respaldo al resto de energías renovables. Hay que señalar que este tipo de centrales reversibles a veces no se sitúan dentro del río sino en un espacio lateral, reduciendo de forma sustancial el impacto ambiental ocasionado.

La energía hidroeléctrica es renovable, pero no necesariamente sostenible. La "gran hidráulica" ha supuesto en todo el mundo grandes impactos ambientales y enormes costes sociales. Es conocido el caso de Las Tres Gargantas en China, la presa hidroeléctrica más grande del mundo, que supuso el desplazamiento de 1,3 millones de personas, así como la red de veintinueve grandes embalses en el valle del Narmada en la India, que ha supuesto el desplazamiento de cientos de miles de campesinos pobres de sus tierras (Roy, 2002). En España las presas hidroeléctricas han ocasionado también grandes impactos sociales y ambientales. Las centrales hidroeléctricas ocasionan uno de los principales impactos en los ríos, alterando el régimen de caudales e impidiendo la conectividad longitudinal de los mismos, procesos ambos que están contribuyendo a una pérdida acelerada de la biodiversidad fluvial, entre otros efectos.

En ocasiones se ha planteado como alternativa las minicentrales, pero estas infraestructuras, mucho más pequeñas, con frecuencia ocasionan un daño comparativamente mayor, dado que para generar cantidades reducidas de energía muchas veces alteran profundamente pequeños ríos y tramos fluviales de gran valor.

Cultivos energéticos en el regadío

Es sabido que cultivos como cebada, trigo, maíz, remolacha o la caña de azúcar tienen un uso potencial como biocombustibles (biodiesel y bioetanol). Al margen del profundo debate social, energético y ambiental de la conveniencia y eficacia de dedicar cultivos alimentarios a la producción de combustibles, en el caso de la producción en regadío hay que subrayar la potencial insostenibilidad de los mismos en la medida que se dedican importantes cantidades de agua extraídas de las escasas reservas de agua

dulce, así como de energía en el caso de riegos tecnificados que requieran bombeo (como sucede en todos los regadíos con extracciones de agua subterráneas y en el uso de aguas superficiales en zonas agrícolas de topología plana), todo ello para lograr una producción energética bastante residual. Se trata además de producciones que se basan en infraestructuras de regulación, transporte y aplicación (e infraestructuras energéticas si es el caso) fuertemente subvencionadas y para cultivos asimismo subvencionados, Por lo que a la insostenibilidad social, energética y ambiental, hay que añadir también una importante insostenibilidad económica

Un ejemplo lo tenemos en el uso de la remolacha azucarera, que requiere 7.000 m³/ha y año de agua para su producción en regadío en zonas frescas, y que produce por ha entre 4.000 y 5.000 litros de etanol. Es decir, se emplean 1.400 l de agua de riego para producir un solo litro de etanol en el mejor de los casos.

3.1.2. La energía como fuente de agua. Desalación marina

El papel que la desalación marina debería jugar en la transición hídrica requiere un análisis específico que, junto a aspectos energéticos y económicos, incluya consideraciones ambientales no sólo en relación con los impactos directos (emisiones, vertidos) sino, sobre todo, respecto a los efectos indirectos en la sostenibilidad general del uso del agua y del territorio, pues la desalación marina elimina el papel que jugaba la disponibilidad de agua como factor limitante de la capacidad de carga y de usos de los territorios, sobre todo costeros e insulares. No hay que olvidar que la desalación marina es una medida de oferta por lo que, promovida de forma aislada como una fuente más de recursos hídricos y si no se cambia el modelo de gestión y planificación del agua, puede alentar el crecimiento de las demandas y por tanto contribuir tanto al aumento del déficit hídrico como a los efectos negativos de un desarrollo insostenible (sobre el territorio, biodiversidad, paisaje...). No obstante en este documento nos centramos en las implicaciones energéticas de la desalación marina, dejando para otro momento un debate más integral sobre la desalación marina.

La generación de recursos hídricos a través de desalación marina acumula ya una experiencia de 50 años en los sistemas insulares y de más de 25 años en otros territorios en los que el incremento de las demandas se sitúa muy por encima de los recursos disponibles, como es el caso de las zonas costeras del Sureste Ibérico (Murcia y Almería). En el marco del debate del proyecto de trasvase desde el Ebro, muchos defensores de dicho proyecto destacaron el elevado coste económico de la desalación marina, ligado al consumo energético, como una de las principales razones para descartar esta opción y apostar por el trasvase del Ebro. La segunda razón que esgrimían, ligada a la primera, era de tipo ambiental: las elevadas emisiones ligadas a dicho consumo energético. Esta valoración extendió la idea de que la desalación marina tiene un claro coste energético, lo cual es correcto, pero a la vez escondió los costes energéticos que tienen otras opciones de obtención de recursos hídricos, desde la explotación de aguas subterráneas a los embalses y trasvases.

¿Es la desalación marina la opción menos deseable a la hora de obtener recursos hídricos? Un análisis económico y ambiental riguroso pone fácilmente de manifiesto que los costes económicos y energéticos de la desalación marina, cuando se comparan con los de otras opciones como el trasvase del Ebro, no eran mucho más elevados y, en algunos casos, resultaban inferiores. De hecho el

proyecto de trasvase desde el Ebro hacia las zonas costeras de Murcia y Almería hubiera supuesto unos costes energéticos (y monetarios) que duplican los requeridos haciendo uso de desalación marina y bombeo y transporte en tales zonas costeras (Naredo, 2017), incumpliendo la norma de buena gestión antes apuntada y evidenciando que el principal objetivo no era abastecer agua de la forma económica y ecológicamente más eficiente, sino facturar obras faraónicas.

Hoy por hoy la tecnología energéticamente más eficiente para obtener agua dulce a través de la desalación de agua de mar es la ósmosis inversa, cuyo coste energético se sitúa aproximadamente entre 2 y 2,7 kWh/m³ (Naredo, 2017) aunque puede variar mucho según la ubicación, el prefiltrado del agua y la gestión de las plantas desaladoras. En cuanto a las emisiones, quienes defienden la desalación marina frente a otras estrategias destacan la posibilidad de utilizar energías renovables, como la solar o la eólica, de forma que su contribución a la huella de carbono sería mínima. Finalmente otros impactos ambientales de la desalación marina, como los ligados al vertido de la salmuera, son en general inferiores a los de otras opciones de oferta de recursos hídricos y fácilmente minimizables con distintas alternativas técnicas (Gómez Orea, 2001; Estevan, 2007, Mateos et al, 2014).

La desalación marina transforma energía en agua útil a partir de un recurso no infinito pero si muy abundante: el agua del mar. Esto, reforzado por lo expuesto en el párrafo anterior en relación con los costes energéticos y ambientales de la desalación marina frente a otras estrategias de oferta (y obviando sus efectos indirectos sobre la sostenibilidad, al alentar el crecimiento de las demandas), ha llevado a algunos sectores a plantear que, gracias a la desalación marina, deja de tener sentido considerar el agua como un recurso escaso al cual hay que adaptar las demandas, dado que dicho recurso puede justamente ser producido en la cantidad que sea necesaria. Como ya se ha indicado la reordenación de la asignación de recursos a demandas, a través de permutas y otras herramientas flexibilizadoras, permitiría ampliar la influencia de la desalación marina en sistemas territoriales amplios, no estrictamente costeros.

Sin embargo, en un contexto de transición energética en el que debería utilizarse cuanto antes exclusivamente energía renovable para cubrir todas las necesidades ¿Es realmente posible atender con energía renovable un crecimiento continuado de la desalación marina a la vez que se garantiza con fuentes renovables el resto de necesidades energéticas? Dicho de otra manera, quizá es técnicamente posible producir cualquier cantidad de agua por desalación marina pero, incluso considerando sólo aspectos estrictamente energéticos, probablemente se estaría sustituyendo un límite escaso (la disponibilidad natural de agua dulce) por otro (la energía renovable disponible para el conjunto de necesidades que como sociedad tenemos).

3.1.3. La huella energética de los usos del agua

Visión general

La huella energética se puede entender como la cantidad total de energía que ha sido necesaria para poder generar un bien o un uso determinado. Los distintos usos del agua tienen también una huella energética que depende de la energía necesaria para su obtención, transporte y utilización. Si en el marco de la transición hídrica es necesario reducir significativamente la huella ecológica del uso del agua

para producir energía, tal y como se ha señalado en el apartado relativo a la producción hidroeléctrica, en el marco de la transición energética es necesario reducir significativamente la huella energética de los usos del agua. Esta huella energética de los usos presenta además una tendencia al aumento, asociado a una intensificación tecnológica a través de procesos como la regeneración de aguas regeneradas y el creciente riego presurizado.

El ciclo hidrológico natural renueva la cantidad y calidad del agua dulce disponible a través de la energía procedente del sol. De las precipitaciones a los mares, a lo largo del ciclo hidrológico el agua cambia no sólo en términos materiales, sino también en términos energéticos, a través de las pérdidas de cota y a través de los cambios en su calidad. Como señala Naredo (2017) *"Desde esta perspectiva interpretaremos el ciclo hidrológico como un gradiente de potenciales que se van degradando desde que el agua entra "en alta" por precipitación hasta que se diluye en el sumidero último de los mares, en el que supondremos que dicho gradiente es nulo. Los dos principales conceptos que permiten cuantificar universalmente —en unidades energéticas— este gradiente de potenciales asociados a la calidad del agua son su potencia física, relacionada con su posición en altitud, y su potencia química o capacidad de dilución, relacionada sobre todo con su contenido en sales y su conductividad, aunque también con la presencia de contaminantes orgánicos o de metales pesados"*. El sistema de Cuentas de Agua en Calidad (establecido en Gascó y Naredo (dirs.) 1996 y Naredo, 2017) ha permitido asociar la calidad del agua a la cantidad y medirla en unidades de energía, así como calcular de forma inequívoca los costes de reposición de los deterioros en cantidad, calidad y cota ocasionados por los usos del agua, aportando así un marco general muy clarificador para este debate sobre "agua, energía y sostenibilidad".

Sin embargo, la dimensión energética, ligada a la localización física y a la calidad química del agua, ha recibido una atención secundaria en la visión hidráulica tradicional, la cual se ha centrado sobre todo en gestionar volúmenes. Esta visión reduccionista tiene varias consecuencias: la primera es que se hace abstracción del sistema del que se extrae el agua como recurso. Esto ha llevado a considerar que lo importante es el volumen de agua necesario para cubrir cierta demanda, mientras que la procedencia de dicho volumen hídrico es poco menos que irrelevante, ignorando así funciones ecosistémicas como procesos ecológicos esenciales o el mantenimiento de la biodiversidad acuática, funciones que no son las mismas según la procedencia de los volúmenes de agua utilizados.

Otra consecuencia de dicha abstracción es que se ha tendido a minusvalorar las implicaciones energéticas del agua, tanto en términos de localización física (distancias y cotas) como, sobre todo, en términos de calidad química del agua. Esto ha favorecido una gestión del agua y específicamente de asignación de recursos concretos a demandas concretas frecuentemente poco racional. Por ejemplo existen casos de suministro para abastecimiento humano con sistemas centralizados y distribución a larga distancia para abastecer pequeñas poblaciones que, sin embargo, cuentan con acuíferos locales de elevada calidad.

De la misma forma, una buena estrategia de gestión de la demanda requiere ajustar la calidad del agua a los requerimientos de cada uso (Estevan, 2000). Esta gestión diferencial o inteligente de la calidad del agua permite un doble beneficio. Por un lado, se mejora y garantiza la calidad requerida para cada uso y por otro se

eliminan tratamientos no necesarios y sus costes energéticos (y ambientales). Por ejemplo, reservar las aguas de máxima calidad para el abastecimiento humano en lugar de utilizarlas en regadío u otros usos menos exigentes, no sólo tiene claros beneficios para la salud humana sino que también reduce la necesidad de tratamientos previos y de potabilización, reduciendo la huella energética y ambiental de dicho abastecimiento humano.

Por otro lado, un uso diferencial de las calidades del agua (gestionando calidades, de la misma forma que hay que gestionar cantidades) evitaría asignar aguas de elevada calidad a usos que realmente no la necesitan. Esto permitiría liberar tales aguas de alta calidad para usos como el abastecimiento y a la vez eliminar ciertos tratamientos superfluos. Por ejemplo, se pueden reducir las necesidades de potabilización excluyendo dicho tratamiento a las aguas para usos urbanos e industriales distintos al abastecimiento humano y procesos alimentarios, reduciendo con ello la huella energética y ambiental de potabilizar agua para usos que no lo necesitan, como es el caso de las limpiezas industriales, baldeo de calles, etc. En este sentido, la gestión inteligente de la calidad del agua es fundamental para minimizar la huella energética en la gestión del agua y sus usos (Martínez Fernández, 2019). Todo ello requiere datos, no sólo de la cantidad de agua utilizada, sino también de la cantidad y calidad de agua vertida o lixiviada por los usuarios (que deberían de respetar una disciplina muy estricta en relación con los vertidos).

En el contexto de la necesidad de una transición energética, los consumos energéticos derivados de la localización del agua en cota y distancia (bombeos, transporte) y de los tratamientos requeridos en función de su calidad (eliminación de sales y de otros componentes a través de distintos tratamientos de potabilización), deberían ser explícitamente incorporados en el análisis de alternativas de suministro hídrico. Se debería revisar desde esta perspectiva todo el sistema de asignación de recursos y demandas a las distintas escalas, incluyendo la escala de cuenca y la planificación hidrológica, con el fin de minimizar la huella energética de todo el sistema. Sería necesario para ello una auditoría general para identificar opciones de reducción de dicha huella energética como uno de los criterios (obviamente junto a otros criterios de carácter ambiental, social, etc.) a la hora de mejorar el sistema de asignación usos-demandas. En dicha revisión es posible que se encuentren sinergias con otros objetivos promovidos desde la nueva cultura del agua, dado que circuitos más locales en la asignación recursos-demandas en general suelen conllevar menores impactos ambientales.

En este contexto, cabe plantearse si tendría sentido recuperar prácticas ya casi abandonadas, como la captación de agua de lluvia en las viviendas, como una forma de contribuir a las necesidades de agua urbana para usos no potables, reduciendo con ello la captación de agua desde los ecosistemas naturales, las necesidades de tratamiento y los costes energéticos asociados. Igualmente cabría plantear la conveniencia de establecer un doble circuito en alta (aguas potables/no potables) y en baja (aguas grises/aguas negras) con idénticos objetivos.

La energía como factor limitante en el regadío tecnificado

El consumo eléctrico anual en el regadío español se sitúa, según los años y las fuentes, entre 4.200 y 6.000 GWh anuales (Red Rural Nacional, 2016) y supone entre 1,8 y 2,4 % del consumo de energía eléctrica del país, mayor que el de consumo de

energía eléctrica en todo el transporte ferroviario, incluyendo el metro, en España (Gracia y Martín, 2012). Este consumo eléctrico en el regadío está además aumentando a lo largo del tiempo. La modernización de regadíos está contribuyendo significativamente al incremento de la huella energética del regadío, al sustituir la distribución por gravedad por bombes y riego a presión, con un consumo energético considerablemente mayor.

El regadío en España en las últimas décadas viene sufriendo una profunda transformación en términos de captación, distribución y bombeo del agua para riego, con evidentes implicaciones energéticas: i) por un lado, el regadío se ha expandido a zonas en las que no existen fuentes cercanas de recursos hídricos superficiales (zonas alejadas de vegas fluviales y manantiales), lo que obliga a transportar el agua a larga distancia o a bombearla desde los acuíferos, aumentando considerablemente el consumo energético; ii) por otro lado, en las últimas décadas se han acelerado los proyectos de modernización de regadíos, en los que el riego por gravedad se sustituye por conducciones cerradas y riego a presión, con el objetivo de ahorrar agua.

Las evaluaciones realizadas a estos proyectos de modernización merecen un análisis detallado (no parece por ejemplo que logren ahorros reales de agua) pero en el contexto de este debate hay que señalar que la modernización de regadíos dispara el consumo energético (Corominas y Cuevas Navas, 2017), siendo aproximadamente un tercio mayor en las zonas modernizadas (Corominas, 2008). Los valores medios de consumo energético sumando los consumos en alta y en baja (desde la captación y suministro hasta la distribución en parcela) pueden variar entre los 0,02 kwh/m³ de los riegos por gravedad con aguas superficiales a los 0,68 kwh/m³ de los riegos localizados con aguas subterráneas (Corominas 2010). Todo ello explica, junto al incremento de la desalación marina para el agua de riego, que mientras en el período 1950-2007 la superficie de regadío se haya multiplicado por 2,5, el consumo energético del mismo lo haya hecho por 19 (Corominas, 2010). La figura siguiente permite visualizar el gran incremento del consumo energético por hectárea regada en España.

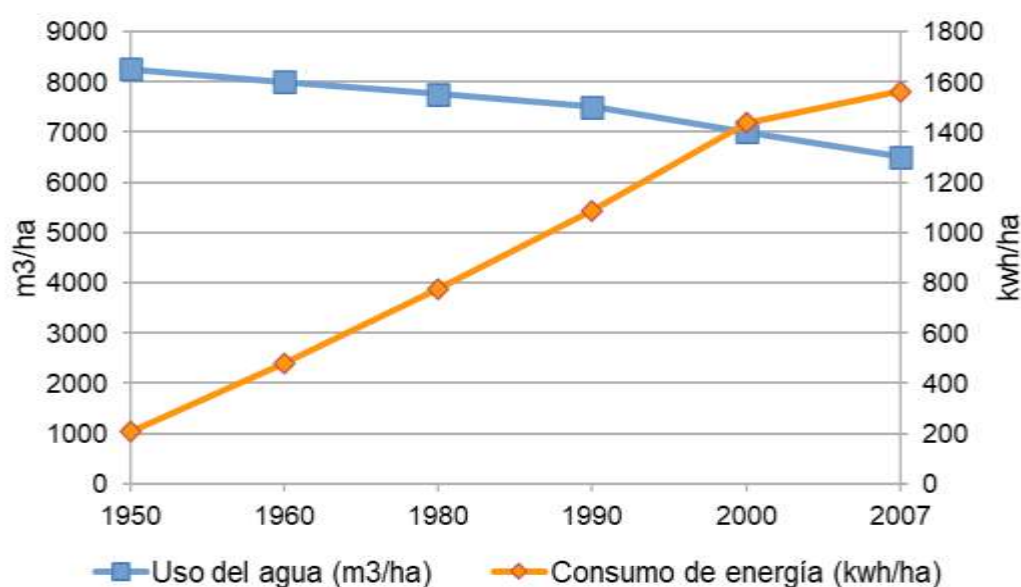


Figura 1. Evolución del consumo medio por hectárea de agua y energía en el regadío en España entre 1950 y 2007. Fuente: Corominas (2010) con datos de MMARM (2008) y MITYC (2008)

La desaparición de las tarifas privilegiadas para el regadío en 2008, con un precio político muy inferior al del mercado, implicó un notable incremento de los costes energéticos, en particular de los términos de potencia, así como en el caso de consumo en los meses de junio y julio, por el reparto horario de las tarifas, justo cuando las necesidades hídricas de los cultivos son mayores, (además de agosto). La transmisión de los costes íntegros de la energía a la producción del regadío tecnificado en términos de coste monetario por metro cúbico actuó como factor limitante del consumo de agua y tuvo una influencia directa en la reducción repentina del uso de agua en muchas superficies regables, con cambio de cultivos, reducción de superficie o minimización del riego.

Esto tiene una especial repercusión, por ejemplo, en las superficies de cultivos extensivos, dedicadas en buena parte a alimentación animal, con grandes necesidades hídricas y energéticas y un bajo retorno económico, de manera que son intrínsecamente deficitarias y se soportan sólo mediante los pagos directos que reciben del primer pilar de la PAC, convertidos así en subvenciones perversas.

Para minorar este impacto, el sector ha desplegado hasta ahora diversas estrategias:

- Uso intensivo de las tarifas más económicas: nocturnas, fin de semana y mes de agosto. Esto se facilita cuando el sector de riego se alimenta por gravedad desde una balsa elevada, a la cual se bombea el agua sólo en las horas en que las tarifas son más económicas. Es una solución efectiva, que encierra una subvención energética oculta, dado que estas infraestructuras llevan un elevado grado de subvención pública, pero vulnerable, al basarse en la existencia de un periodo de tarifas muy baratas que pueden no darse siempre. Como se ve más adelante-
- Si la fuente de agua es superficial, se ha optado por sustituir los sistemas de bombeo por largas conducciones que capturen el agua sin perder cuota de los canales principales, en una cota tal que la presurización sea por gravedad. Es una solución racional si el coste de la amortización de la infraestructura por metro cúbico no supera el coste energético del bombeo mediante energía renovable o energía convencional, integrando los costes ambientales y de emisiones. Es una estrategia efectiva si hay desniveles importantes entre canal y zona regable, dado que suprime el consumo de energía, pero también se trata de una subvención energética oculta, dado que las obras son objeto de subvención.
- Contrataciones como grandes consumidores en el "pool" eléctrico. Es efectiva, pero no suficiente.
- La vuelta a la reivindicación de tarifas privilegiadas-subvencionadas para el riego, llámese tarifa verde o como se quiera. Se pretende acceder a tarifas directamente subvencionadas. Esto parece un intento fútil en el actual contexto nacional, puesto que la sostenibilidad económica y ambiental exigen que no se bloqueen las señales que el mercado o la buena contabilidad económica envían para racionalizar los cultivos, como cualquier otra producción.

Una nueva interacción regadío-energía es esperable cuando la tarifa P6, la más económica (mes de agosto y nocturna) en la que el sector del riego se apoya para reducir la factura de la energía, desaparezca. En el mes de agosto esto ya está sucediendo, que va a pasar de considerarse un mes de poca demanda por paralización estival de la economía, a un mes de demanda moderada por la progresiva desestacionalización de las vacaciones y el masivo empleo de aire acondicionado, que con las olas de calor del cambio climático, se acentúa. Por otra parte la aparición en el horizonte de la electrificación del transporte (vehículo eléctrico), cuya recarga es preferentemente nocturna, hace que la previsible escalada de la demanda eléctrica en horas nocturnas posiblemente iguale los precios de esta franja horaria con el resto.

Todas estas presiones de la energía sobre la producción del regadío están haciendo aparecer nuevas propuestas, bajo la cobertura de la necesaria descarbonización de la producción de la energética, por ejemplo:

- La reutilización de las balsas elevadas de riego de hasta 1 Hm³ que forman parte del esquema de riego de muchas comunidades de regantes como acumuladores de energía, fuera de la campaña de riego.
- La introducción de fuentes renovables (esencialmente fotovoltaica de alta potencia y en menor medida eólica) para los bombeos en el regadío. El nuevo marco legislativo lo favorece, permitiendo además vender los excedentes fuera de campaña, pero nuevamente encontramos en estas propuestas una subvención indirecta para diluir los costes energéticos.

No cabe duda que la previsible y deseable expansión o generalización de la generación eólica y fotovoltaica reducirá apreciablemente sus costes, pero éstos, incluso en sus umbrales más bajos hoy imaginables, todavía estarán por encima de los actuales precios de la energía eléctrica en sus tarifas más económicas, P6. Por tanto, los cultivos que hoy no puedan soportarse por sí mismos (sin necesidad de subvención) en el contexto de los actuales costes relativamente bajos en las tarifas P6 de la energía eléctrica, menos aún podrán sobrevivir en un entorno de generación renovable.

El interés que está mostrando del sector, en el sentido de sustituir el consumo de energía desde la red eléctrica por energías renovables para la alimentación de los bombeos, puede obedecer tanto al compromiso con la descarbonización de la producción energética, como al deseo de ver indirectamente subvencionados los costes energéticos, que ahora el regadío paga íntegramente en su facturas mensuales (potencia y Kwh consumidos), sin posibilidad de ayudas públicas (que hace de factor limitante para la expansión indiscriminada del gasto energético), pasándole al contribuyente parte de la factura equivalente gracias a las elevadas subvenciones que se reclaman para las instalaciones de renovables.

La huella energética en la depuración y reutilización del agua

Hemos visto que, en general, los distintos usos no consumen íntegramente el agua que utilizan, de manera que cierta proporción de la misma retorna al sistema y queda disponible para el mantenimiento de los ecosistemas (por ejemplo cuando retorna a un río) y para nuevos usos, ya sea de forma directa (reutilización) o indirecta (por ejemplo, para nuevos usos a través de captaciones del río aguas

abajo del punto de retorno). Estas funciones y nuevos usos del agua dependen de la calidad del agua de retorno, que normalmente necesita, en función de los objetivos específicos que se persigan, tratamientos de depuración (para cumplir con determinados objetivos ambientales, evitando la contaminación de los ecosistemas donde se vierte) o regeneración (para alcanzar determinados requisitos de calidad necesarios para su reutilización directa en un uso concreto). Por ejemplo, los tratamientos necesarios para evitar contaminar el río podrían no ser tan exigentes como los requeridos para regenerar el agua para cierto uso específico (el cual podría llegar incluso al abastecimiento humano, algo factible con las tecnologías disponibles).

La depuración de aguas residuales (o el tratamiento de drenajes agrarios cargados de nutrientes para evitar procesos de eutrofización) requiere de ciertos consumos energéticos, que dependen de las características del agua a tratar, del tipo de metodologías que se apliquen y del nivel de calidad que se pretende alcanzar, el cual a su vez depende del destino del agua (objetivos de calidad del tramo de río donde se vierte, normativa para la reutilización directa en regadío, etc). En el contexto de la transición energética y el objetivo de un uso de energía 100% renovable para cubrir todas las necesidades, es evidente la urgencia de reducir la huella energética en los tratamientos de depuración, de la misma forma que lo expuesto en relación con la captación y suministro de agua. En este sentido se debería promover la depuración extensiva, basada en procesos naturales de depuración que no requieren aportaciones adicionales de energía o reactivos (a expensas de mayores necesidades de superficie), allí donde estos sistemas extensivos son viables, en concreto las pequeñas y medianas poblaciones (Soriano y Suárez Mejido, 2018).

¿Cuál es el papel de la reutilización del agua desde el punto de vista energético? Antes de contestar a esta pregunta, hay que diferenciar la reutilización indirecta (previo retorno a un río, acuífero u otro ecosistema natural) de la reutilización directa.

La reutilización indirecta del agua en nuevos usos, es decir, a través de la reincorporación de los retornos urbanos, industriales y agrícolas a los sistemas naturales (ríos, acuíferos, humedales) ha sido la práctica habitual, si bien de una manera poco consciente. Ello ha propiciado que cuando ha empezado la reutilización directa (por ejemplo, desde una depuradora hacia superficies de regadío), con preocupante frecuencia se haya incurrido por parte de los organismos de cuenca en una doble contabilidad de unos mismos recursos, considerando el agua reutilizada como un recurso adicional, a incluir en la contabilidad de recursos disponibles. Se trata de un error obvio porque el agua que se reutiliza de forma directa no es un recurso adicional, sino que es la misma que antes se reutilizaba de forma indirecta y que ahora deja de estar disponible para otros usuarios aguas abajo (más allá de otras consideraciones ambientales). Este error de doble contabilidad sobrestima los recursos disponibles a escala de cuenca, con las graves consecuencias que todo ello implica.

Más allá de este generalizado error de doble contabilidad, hay que señalar que la reutilización directa del agua mantiene una relación compleja con la sostenibilidad: por un lado permite reducir la captación de agua desde los ecosistemas naturales y recuperar parte de los materiales que contiene el agua pero, por otro, la

reutilización de agua residuales, sin una adecuada planificación, puede tener efectos contraproducentes, como reducir los caudales fluyentes en los ríos, que ya no reciben las agua depuradas o alentar el crecimiento de las demandas, efecto común si se considera una actuación de oferta de recursos hídricos (como erróneamente se viene considerando hasta ahora). En este documento nos centramos en las implicaciones energéticas, si bien las relaciones contradictorias de la reutilización del agua con la sostenibilidad merecen un análisis específico (véase por ejemplo Martínez Fernández, 2019).

El papel de la reutilización directa del agua desde el punto de vista de su huella energética, no es obvio. Por una parte, la reutilización requiere en ocasiones niveles más exigentes de calidad a través de procesos de regeneración del agua ajustados a cada caso. De hecho, la Comisión Europea ha aprobado la comunicación "*Posición del Consejo relativa a la adopción de un Reglamento del Parlamento Europeo y del Consejo relativo a los requisitos mínimos para la reutilización del agua*" (abril 2020), que fija elevados requisitos mínimos de calidad para la reutilización del agua, con el fin de aumentar la seguridad y confianza en la misma e incrementar así su aplicación en Europa. Estos tratamientos más exigentes pueden ser intensivos en energía, por lo que cabe plantearse la cuestión de hasta qué punto es sostenible una regeneración generalizada del agua que incluya facturas energéticas elevadas. Esta cuestión gana relevancia cuando la mala calidad natural de buena parte de las aguas en zona mediterránea invita a corregirla con tratamientos.

Pero, por otra parte, la reutilización directa a distintas escalas, dentro de una gestión integrada en la que la reutilización directa implique una reducción equivalente del volumen de agua captada, puede suponer una reducción significativa del consumo energético ligado a los sistemas de captación, bombeo y transporte del agua suministrada. Por ejemplo, una generalizada reutilización en el hogar de las aguas grises en el inodoro implicaría una considerable reducción de las necesidades de agua para abastecimiento, con los consiguientes ahorros energéticos de captación, bombeo, transporte y potabilización.

Lo mismo cabe decir de la reutilización de aguas residuales depuradas en usos urbanos no potables o de la reutilización en usos agrarios en los casos que suponga un ahorro respecto a la huella energética de obtener tales volúmenes por captación desde los ecosistemas naturales, bombeo y transporte (a lo que se añade un menor impacto ambiental al reducir la captación desde los ecosistemas naturales). En definitiva, determinar el papel de la regeneración y reutilización de las aguas residuales desde el punto de vista de su huella energética requiere un análisis integral que tenga en cuenta todas las fases (análisis de ciclo de vida) a escala de sistema.

Huella energética de los usos del agua ¿Quién paga la factura?

Los costes energéticos son un capítulo importante de los costes de captación, bombeo y distribución del agua a los usuarios agrarios, urbanos y otros sectores. Tales costes no son siempre adecuadamente imputados a los usuarios, especialmente en el caso de los usos agrarios, lo que incumple el principio de recuperación de costes y el principio de equidad entre los usuarios agrarios y urbanos (a los que se suele aplicar la recuperación de costes de una forma más rigurosa).

Los costes de los tratamientos para devolver la calidad al agua tras su utilización se aplican (en mayor o menor grado) a los usuarios urbanos pero no a los usuarios agrarios, pese a que la contaminación difusa agraria genera evidentes impactos ambientales en los ecosistemas acuáticos cuya eliminación requiere costes, muchas veces asociados a un gasto energético. Además de romper con los principios de recuperación de costes, de quien contamina o deteriora paga y de equidad social, esta excepción (más o menos amplia según los casos) de la recuperación de costes a los usuarios agrarios favorece el mantenimiento de algunas demandas agrarias poco racionales desde el punto de visto económico. Como se ha indicado, habría que replantear el régimen de tarifas aplicando la metodología expuesta en Naredo (2017), que estima la energía asociada al agua (atendiendo a su cantidad, calidad y cota) y permite calcular los costes de reposición de los deterioros ocasionados por los usos.

Cabe también plantear la cuestión específica de los costes económicos asociados a la regeneración y reutilización de aguas residuales en los usos agrarios. En aplicación del principio quien contamina paga se podría plantear que son los usuarios urbanos quienes han de costear la mejora de los tratamientos con el fin de que los retornos alcancen una calidad adecuada para los siguientes usos. Sin embargo se podría plantear también que la regeneración supone un tratamiento adicional para adecuarse a un nuevo uso específico como es el regadío, en aplicación de normativas que van a ser más exigentes, lo cual requiere un mayor gasto energético y económico que debería ser sufragado por los beneficiarios de tales aguas regeneradas.

3.2. Aportaciones de la encuesta online. Síntesis de resultados

3.2.1. Producción hidroeléctrica en el marco de la transición hídrica y la transición energética

La energía hidroeléctrica suele recibir una atención especial puesto que de todas las renovables es la que tiene la Tasa de Retorno Energético más alta, es decir, es la más rentable energética y económicamente. Además, carece de la intermitencia de otras como la eólica o la solar.

Todas las aportaciones coinciden en considerar que la generación hidroeléctrica genera impactos ambientales significativos sobre los ríos. Estos impactos incluyen daños a los ecosistemas fluviales y su biodiversidad debido a la ruptura de la continuidad longitudinal del río y las afecciones a los hábitats fluviales, daños a las dinámicas costeras por la reducción de los aportes sedimentarios y otros impactos asociados a las presas y embalses, incluyendo afecciones hidromorfológicas y en algunos casos, riesgos geológicos. Por tanto, a pesar de que es una energía renovable, no puede considerarse una energía sostenible y por ello, en opinión de todos los participantes en el estudio, su incremento debería descartarse.

Las respuestas aportadas apuntan a que la energía hidroeléctrica no puede incrementar su papel en la producción eléctrica total, sino que debería centrarse en constituir un sistema de respaldo a otras energías renovables, más intermitentes. La energía hidroeléctrica puede considerarse una energía madura y por tanto con muy limitada capacidad de crecimiento. Esto se explica porque existe un amplio despliegue

de potencia instalada, de forma que dicha potencia excede en mucho la producción hidroeléctrica efectiva. Esto es debido a que dicha producción hidroeléctrica no está limitada por la potencia instalada, muy elevada, sino por los recursos hídricos disponibles, los cuales son menores y además y además presentan una clara tendencia decreciente debido al cambio climático. Por tanto, el papel de la energía hidroeléctrica debería ser el de almacenar energía, dando respaldo a otras energías renovables. El almacenamiento hidroeléctrico, bien diseñado, puede tener un impacto menor y es útil para corregir la intermitencia de la solar o la eólica, sistemas que tienen mucho más potencial de crecimiento que la energía hidroeléctrica.

En definitiva, en el marco de la transición energética en España, la producción hidroeléctrica tienen un papel mínimo como fuente para un incremento en la energía total disponible, por esa tendencia a la reducción de los recursos disponibles y por su irregularidad, de forma que su papel es complementario y sobre todo de respaldo de otras energías renovables.

Con respecto a las centrales hidroeléctricas ya existentes y descartadas nuevas centrales, las propuestas aportadas recogen un amplio abanico de opciones, desde medidas a corto plazo para mejorar las condiciones ambientales de las centrales hidroeléctricas existentes, a medidas más ambiciosas de medio y largo plazo, que apuntan a una reducción de la capacidad instalada. A continuación se apuntan las principales medidas planteadas:

- Promover exclusivamente sistemas de turbinado y de almacenamiento hidroeléctrico (centrales reversibles con contraembalse) ubicados fuera del territorio fluvial
- Revisión de las concesiones hidroeléctricas. Se considera fundamental que el Estado recupere concesiones y sea el que gestione la energía producida con criterios más justos y sostenibles, en lugar de estar gestionada por empresas, que basan su gestión en criterios de rentabilidad empresarial. En algunos casos esta revisión debe conducir a la extinción de algunas concesiones y eliminación de lo construido a costa del concesionario. En otros casos se debe proceder al rescate de las concesiones y priorización para su cierre progresivo.
- Deberán considerarse las posibilidades de eliminar centrales hidroeléctricas operativas en aquellos lugares de especial valor ecológico.
- En el caso de las minicentrales, que son las centrales hidroeléctricas de menos de 10 MW de potencia, la mayoría de aportaciones considera que no deberían promoverse, puesto que aportan muy poco al conjunto del sistema hidroeléctrico, en relación con los impactos ambientales que ocasionan en los tramos fluviales en los que se instalan. De hecho la mayoría de aportaciones propone el cierre progresivo de las minicentrales por su escasa utilidad y elevados impactos. En concreto se propone cerrar algunas minicentrales en las que la producción eléctrica es escasa y el daño ambiental es muy superior al beneficio de la energía generada.
- Adecuación ambiental de las explotaciones existentes (permeabilización, conectividad), especialmente en espacios protegidos. Las grandes presas se deberían adecuar con sistemas que permitiesen la conectividad fluvial, en concreto paso de ictiofauna y el aporte de sedimentos aguas abajo.

- Pleno cumplimiento de un adecuado régimen de caudales ambientales, incluyendo valores adecuados de tasas de cambio que impidan la suelta de caudales punta (como sueltas de día cuando se necesita la energía y caudales nulos o mínimos de noche).
- Debería desarrollarse un ambicioso plan de demolición y restauración fluvial en aquellas centrales que se vayan abandonando (por falta de rentabilidad, interés u otros motivos).

3.2.2. Acerca de la desalación marina

Desalación marina y sus implicaciones en el agua como recurso escaso

En relación con la desalación marina, se planteó la cuestión de si se puede seguir considerando el agua como un recurso escaso en zonas costeras, donde la desalación marina ha demostrado ya su viabilidad técnica y económica en las condiciones actuales y donde en principio se podría ampliar la capacidad de desalación actual. El 66% de las respuestas consideran que de una u otra forma el agua puede considerarse como un recurso escaso o limitado, también en el caso de la desalación marina, frente a un tercio que considera que la desalación marina no permitiría hablar de que el agua sea un recurso escaso. En primer lugar, el agua como tal es muy abundante a nivel planetario pero el agua líquida dulce y potable de forma natural es uno de los recursos más escasos que existen, especialmente en relación con las necesidades que tenemos de dicho recurso. Teniendo en cuenta que tres cuartas partes del planeta están cubiertas de agua, no puede afirmarse que el agua sea un recurso escaso pero el agua líquida, dulce y potable es, por el contrario, uno de los recursos más escasos del planeta en condiciones naturales.

En términos estrictamente económicos la escasez depende del precio del recurso y en ese sentido en la medida en que existe capacidad de pago para la desalación marina se podría considerar que no se trata de un recurso escaso. Sin embargo, el previsible descenso en la disponibilidad energética, debido al cénit del petróleo y a la necesaria transición energética, limitará en gran medida los usos que no sean esenciales y obligará a recalcular la viabilidad económica de muchas soluciones.

Fuera del ámbito económico el agua desalada es un recurso escaso o, en términos más precisos, un recurso limitado. Estamos dentro de un sistema cerrado que es el planeta tierra, por lo que necesariamente existen limitaciones al uso de cualquier recurso, dado que el crecimiento ilimitado en un planeta finito no es posible. Además, el incremento de las energías renovables está sujeto también a limitaciones de distinta naturaleza.

Las limitaciones emergen especialmente cuando los recursos, siempre limitados, se enfrentan a demandas que son elevadas y que además crecen de forma continuada, como ocurre en el caso del agua. El hecho de que se pueda generar agua dulce a partir de la desalación de agua del mar no evita que este recurso esté sujeto a limitaciones, que se detallan en el apartado siguiente.

Limitaciones a un uso amplio de la desalación marina

Las respuestas al cuestionario identifican seis tipos de limitaciones que impiden considerar que un crecimiento continuado de la desalación marina es viable. Estas limitaciones se presentan a continuación.

Limitaciones energéticas

En primer lugar, el 64% de las respuestas coinciden en señalar la existencia de limitaciones energéticas a la expansión de la desalación marina. La desalación requiere de una cantidad sustancial de energía, no sólo en su producción, sino también en su transporte hasta su lugar de destino. La disponibilidad de agua en el caso de la desalación marina depende de la disponibilidad energética y deberá discutirse si el uso que se le dá es esencial o no. Teniendo en cuenta que ya se ha sobrepasado el pico del petróleo y que en el marco de la transición energética se requiere pasar de la forma más rápida posible a un modelo basado exclusivamente en energías renovables, es evidente que la disponibilidad de energía se va a ir reduciendo. Aunque las energías renovables deben jugar un papel creciente en el mix energético, es evidente que no puede crecer de forma permanente. Además, las energías renovables

Las energías renovables no sólo no pueden aumentar de forma indefinida sino que, con toda probabilidad, un escenario % renovable no será capaz de mantener el consumo energético total actual y menos aún su aumento. Por tanto se dispondrá de menos energía para atender a todas las demandas, de forma que será necesario priorizar en detalle el destino de la energía renovable. Además las diferentes energías renovables tienen sus propias limitaciones en cuanto a requerimientos materiales y no son ambientalmente neutras, dado que tienen impactos territoriales, sobre la biodiversidad, y paisajísticos, entre otros. En todo caso, se considera que la desalación marina debe estar sustentada en energías renovables y específicamente en energías renovables sostenibles, en las que no entraría la energía hidroeléctrica por sus elevados impactos en los ecosistemas fluviales. En este sentido se sugiere el uso de energías más sostenibles como la solar o la energía aportada por las mareas (mareomotriz).

En definitiva, acerca de si es realmente posible atender con energía renovable un crecimiento continuado de la desalación marina, a la vez que se garantiza con fuentes renovables el resto de necesidades energéticas, se considera que no es posible recurrir a la desalación marina como base para un crecimiento y menos a un crecimiento continuado de las demandas hídricas. Como se explica a continuación, incluso en condiciones de viabilidad energética, geográfica y económica, hay que considerar las limitaciones ambientales, las de capacidad de carga del territorio y las que hemos denominado de sostenibilidad sistémica.

Limitaciones geográficas

La desalación se genera junto a la línea de costa y a una cota cero sobre el nivel del mar o muy próxima a cero. El transporte del agua desalada hasta su lugar de destino requiere unos consumos energéticos adicionales que dependen de la distancia a la costa y de la diferencia de cota respecto al nivel del mar, requerimientos que crecen rápidamente en función de ambas variables. En definitiva, los requerimientos energéticos del transporte imponen un nuevo tipo de limitación de carácter geográfico de forma que las zonas alejadas de la línea de costa o situadas a una cuota muy elevada no serían viables como lugar de destino del agua desalada

Limitaciones económicas

Las limitaciones geográficas y energéticas, que a su vez están relacionadas entre sí, generan un tercer tipo de limitación de carácter económico. A los costes de inversión

de las infraestructuras de producción (plantas desaladoras) y de transporte se añaden unos elevados costes de funcionamiento debido a la gran cantidad de energía necesaria para desalar el agua y para transportarla al punto de destino.

Estos elevados costes económicos dan lugar a otra forma de limitación de carácter social o socioeconómico, relativa al tipo de demandas que se pueden cubrir con la desalación marina. Las áreas y los sectores beneficiarios potenciales del agua desalada dejan fuera tanto las zonas de interior como los sectores y poblaciones con menor capacidad de pago. En realidad, los ámbitos en los que desde el punto de vista de la capacidad de pago sería viable el uso de la desalación marina, se restringen a los regadíos de elevada rentabilidad y el Urbanismo residencial Situados en zonas relativamente cercanas a la costa.

limitaciones ambientales

Existen otras limitaciones que hay también que considerar, en particular las limitaciones ambientales. Estas limitaciones incluyen diferentes tipos de impactos ambientales, principalmente:

- i) la generación de emisiones en el caso de que la energía utilizada no sea % renovable,
- ii) los impactos provocados por la construcción de infraestructuras, tanto plantas desaladoras como infraestructuras de transporte
- iii) los impactos asociados a la gestión y vertido de las salmueras resultantes del proceso de desalación.

Limitaciones territoriales

La instalación marina está sujeta también a otro tipo de limitación que se podría denominar de sostenibilidad territorial. Las infraestructuras de desalación han de localizarse en las franjas costeras, en las que existe ya una elevada ocupación tanto de actividades económicas como de asentamientos humanos. Se trata de una zona densamente poblada en la que compiten por el espacio múltiples actividades, incluyendo las residenciales las turísticas las agrarias y las industriales. Esta elevada ocupación y competencia por el espacio está poniendo ya en riesgo la sostenibilidad de las franjas costeras en su conjunto, sostenibilidad que es además necesario mejorar. Todo ello supone un factor condicionante importante para una potencial expansión de la desalación marina. En definitiva, la capacidad de carga del territorio o sostenibilidad territorial constituye también una clara limitación a la desalación marina.

Limitaciones a escala del conjunto del sistema

Finalmente se podría considerar también una forma de limitación o condicionante la relativa a la sostenibilidad sistémica de la desalación marina. Como toda medida de oferta, la desalación marina alienta el incremento de las demandas, lo que en última instancia conduce a una mayor presión y en muchas ocasiones a un incremento del déficit general a nivel del sistema, es decir del conjunto de la cuenca. Se requiere por ello integrar la desalación dentro de una gestión global de la cuenca que impida estos efectos no deseados, lo que implica un uso acotado de la desalación y sujeto a distintos condicionantes.

Por otra parte, en línea con esta visión general de la sostenibilidad integral de los usos del agua, todas las respuestas coinciden en que se debería incluir de forma explícita la huella energética, es decir el consumo energético de las distintas demandas de agua, dentro de los criterios de reordenación de la asignación recursos-demandas a las distintas escalas, incluida la planificación hidrológica a escala de cuenca.

Papel de la desalación marina en el contexto de la transición hídrica

Respecto al papel que debería jugar la desalación marina en el contexto de la transición hídrica, que a la vez sea compatible con los retos de la transición energética, se considera que la desalación marina, generada de forma renovable y sostenible (dado que no todas las energías renovables son siempre sostenibles, como se evidencia en el caso de la producción de energía hidroeléctrica) y teniendo en cuenta todas las limitaciones señaladas en párrafos anteriores, puede tener un papel útil, pero acotado a determinadas situaciones y bajo una serie de condiciones que se detallan a continuación.

En primer lugar, la desalación marina puede jugar un papel importante para facilitar la transición hídrica, especialmente en aquellos territorios en los que se ha superado con mucho la sostenibilidad en los usos y demandas del agua. Ambas transiciones, la hídrica y la energética, han de estar ligadas, puesto que es imprescindible recuperar el buen estado de los ecosistemas ligados al agua y ello, además, ha de ser compatible con un escenario 100% renovable, que con toda probabilidad será de menor disponibilidad energética. La desalación marina debe jugar un papel en el apoyo a la transición hacia niveles de demanda más acordes con el territorio en el que se sitúan, a través de proceso de reducción de las demandas hídricas y mejora de la eficiencia, pero dicha transición hídrica no puede basarse de forma principal en la generación de nuevos recursos.

Un papel evidente de la desalación marina es la de garantizar suministros básicos como el abastecimiento humano en períodos de sequía u otras situaciones no previstas. Por otra parte, la desalación marina constituye una alternativa con menor impacto ambiental y social frente a otras opciones, de forma que un análisis integrado de las distintas alternativas disponibles para resolver un problema concreto, en muchas ocasiones situará la desalación marina como solución preferente frente a otras opciones, como trasvases o sobreexplotación de acuíferos. Por ejemplo, consideraciones de este tipo emergieron en el marco de los análisis críticos realizados en torno al proyecto de trasvase Ebro-Júcar- Segura planteado a principios de la década de 2000 y sus impactos sociales y ambientales sobre el Delta del Ebro, cuya sostenibilidad estaría aún más amenazada si se hubiera realizado dicho trasvase, frente al que se propuso la desalación marina como alternativa.

De la misma forma la desalación marina puede permitir la sustitución de volúmenes de acuíferos sobreexplotados, contribuyendo a recuperar el buen estado cuantitativo de estas masas, que es un objetivo obligatorio de la DMA y además recuperar las funciones ambientales de tales acuíferos, ligadas al mantenimiento de manantiales, del caudal base de los ríos y de los humedales y su biodiversidad asociada.

Por tanto, como alternativa de menor impacto frente a otras opciones, la desalación marina, en el marco de la transición hídrica, puede permitir sustituir captaciones actuales de agua desde los ecosistemas naturales, reduciendo las presiones cuantitativas sobre los mismos. Justamente un objetivo central e irrenunciable de la

transición hídrica es garantizar el agua que necesitan los ecosistemas y la biodiversidad asociada a ríos, humedales, sistemas transicionales y otros ecosistemas acuáticos. En concreto, en zonas de elevada insostenibilidad hídrica como el Sureste peninsular, donde las demandas hídricas superan los recursos disponibles, la desalación marina puede permitir la sustitución de volúmenes de agua procedentes de fuentes que generan mayor impacto ambiental y social, como el trasvase Tajo-Segura o los acuíferos sobreexplotados. Esta sustitución de volúmenes resulta especialmente viable para los usos con elevada capacidad de pago existentes en estas zonas, como los usos residenciales y turísticos y los regadíos con elevado valor de mercado.

En cualquier caso, hay que insistir en que la desalación marina no es siempre la primera ni la mejor opción, puesto que sigue siendo una medida de oferta y que en el marco de la necesaria transición hídrica existen otras alternativas, basadas en la gestión de la demanda, que han de ser priorizadas. Además, para evitar una inducción de nuevas demandas y garantizar la sostenibilidad sistémica es necesario controlar el volumen de agua desalada, ajustando su producción a la estrictamente necesaria para sustituir usos consuntivos que se obtienen de aguas superficiales y subterráneas en aquellos lugares en los que las masas de agua presenten mal estado cuantitativo y cualitativo.

3.2.3. Propuestas para reducir la huella energética en los usos del agua

Las respuestas a las encuestas recogen un amplio abanico de opciones para reducir el consumo energético en los distintos usos del agua, las cuales se presentan a continuación.

Con respecto a la reutilización directa de aguas residuales regeneradas para riego en aquellos casos en los que esta opción se considere sostenible (zonas costeras por ejemplo), una estrategia de minimización energética debería incluir una gestión diferencial de la calidad del agua.

Usos agrarios del agua

Las áreas con vocación de regadío son las situadas en las llanuras fluviales, en las cuales se desarrollaron los regadíos históricos, que se pueden regar por gravedad. Fuera de estas zonas, como se señala en el apartado anterior, si existe diferencia de cota entre origen y destino es posible optar por sistemas que requieran bajos insumos energéticos, aprovechando dicha diferencia de cota, para permitir un riego por gravedad.

Usos urbanos del agua

Las respuestas recibidas coinciden en considerar imprescindible que las nuevas construcciones vayan equipadas de forma obligatoria con sistemas de ahorro y eficiencia hídrica y energética. Estos sistemas pueden incluir entre otras opciones, las siguientes:

- Captación de agua de lluvia en las edificaciones y otros equipamientos para usos no potables
- Sistemas dobles de suministro en alta: potables/no potables
- Sistemas dobles de suministro en baja: aguas grises/aguas negras

- Promover sistemas de depuración descentralizados y extensivos en medianas y pequeñas poblaciones, frente a grandes infraestructuras centralizadas con transporte a larga distancia

3.2.4. Reutilización de aguas residuales, sostenibilidad e implicaciones energéticas

Es necesario distinguir entre reutilización directa y reutilización indirecta de las aguas. Asociado al ciclo hidrológico y a los usos del agua acoplados al mismo, tienen lugar múltiples procesos de reutilización directa del agua. Un ejemplo típico es el retorno de las aguas residuales urbanas (depuradas o no) a los caudales circulantes, siendo objeto de usos posteriores -y concesiones-aguas abajo. Los retornos urbanos forman parte por tanto de los recursos ya contabilizados para atender otros usos (como los agrarios) y funciones (como las ambientales). La reutilización directa se refiere al uso de las aguas residuales depuradas, normalmente para uso en regadío, sin previa devolución de dicho retorno a ríos y cauces, de forma que se detraen de los caudales circulantes y por tanto de los recursos existentes para atender otros usos y funciones aguas abajo.

Los recursos procedentes de las aguas regeneradas, bien planificados y gestionados, pueden complementar las medidas principales de gestión de la demanda, con el fin de aliviar la presión que los distintos usos ejercen sobre los ecosistemas hídricos y sobre el estado ecológico de ríos, acuíferos y ecosistemas costeros. Sin embargo, en ausencia de una cuidadosa planificación la reutilización de aguas residuales puede dar lugar – y de hecho ha dado lugar- a efectos negativos en términos ambientales y de sostenibilidad general en el uso del agua:

- En primer lugar, la regeneración de aguas residuales suele comportarse como una medida de oferta, de incremento los recursos disponibles, lo cual puede inducir de forma indirecta el incremento de las demandas o, al menos, no favorece medidas de contención de las demandas, algo fundamental a la luz del cambio climático, especialmente en los países mediterráneos.
- En segundo lugar, la reutilización directa de las aguas regeneradas, sin que tales caudales se devuelvan al ciclo natural (ríos y cauces públicos), puede tener un efecto negativo sobre los caudales circulantes y sobre los servicios ecosistémicos de los mismos, especialmente en países mediterráneos, donde el retorno a los ríos de las aguas depuradas puede constituir una proporción significativa de los caudales circulantes.

Por ello es necesario integrar la reutilización directa en la gestión del conjunto de la cuenca con el fin de: i) que constituya una medida de gestión de la demanda y no de incremento de la oferta, evitando la inducción de nuevas demandas y ii) impedir que la reutilización dé lugar a una reducción de los caudales circulantes. Para ello se propone una reutilización directa solo en la costa y en el caso de las áreas de Interior, priorizar la reutilización indirecta a través de los cauces. En el caso de que se lleve a cabo una reutilización directa, debe garantizarse que los caudales de dicha reutilización sustituyen a captaciones previas sobre los sistemas naturales.

En definitiva, el uso del agua regenerada puede ayudar a hacer un sistema más resiliente ante los impactos del cambio climático. Sin embargo, debe tenerse en cuenta el impacto a distintas escalas (tanto ambiental como socioeconómica) de la pérdida de retornos, el impacto sobre la demanda global y el balance recursos-demandas a distintas escalas, Por lo que se requiere un enfoque sistémico.

Sin embargo, existen otros aspectos que también se han de considerar, entre ellos el problema de los contaminantes emergentes en las aguas residuales, como los disruptores endocrinos, cuya alternativa de gestión todavía no está disponible con claridad, así como la huella energética de la reutilización directa. En este último sentido, los requerimientos energéticos pueden ser elevados si las aguas regeneradas para su reutilización en riego han de alcanzar umbrales de calidad más exigentes de lo habitual. Por ejemplo, es muy probable que estos requerimientos aumenten de acuerdo con el nuevo Reglamento (UE) 2020/741.

Por ello es necesaria una gestión inteligente o diferencial de la calidad del agua para un ajuste fino de dicha calidad entre el recurso y los requerimientos del uso con el fin de minimizar los requerimientos energéticos y otros costes. Por ejemplo, la reutilización de aguas residuales en regadío tiene el potencial de ajustar en detalle los tipos de tratamiento realmente necesarios, dado que un tratamiento terciario de eliminación de nutrientes no sería necesario, reduciendo con ello el consumo energético y los costes del tratamiento.

Con respecto a la distribución de los costes de la reutilización de aguas residuales, que incurre en costes más elevados debido a los mayores niveles de calidad exigidos, las respuestas obtenidas se reparten de forma más o menos aproximada entre quienes consideran que la aplicación del principio quien contamina paga supone que deben ser los usuarios urbanos quienes paguen por la regeneración de tales aguas, Quienes consideran que, dado que Las exigencias de calidad son mayores por las necesidades del nuevo uso, los beneficiarios, en general los usuarios agrícolas, son quienes deberían pagar por tales costes. Finalmente, otras respuestas apuntan a que los costes deberían estar repartidos entre los usuarios urbanos, que generan las aguas residuales y los usuarios agrícolas que se benefician de su reutilización.

En concreto algunas aportaciones proponen que los usuarios urbanos deberían costear las inversiones en mejoras de depuración, pero los usuarios del agua regenerada deberían costear los costes relativos a las infraestructuras de transporte, el coste energético del transporte, parte de los costes de operación y mantenimiento de las infraestructuras de depuración y el coste de oportunidad relacionado con el uso del agua que no se destina a otros usuarios o se devuelve al medio. En cualquier caso, el coste final debería establecerse en un contexto de consideración de todo el sistema y estar vinculado a la huella energética y ambiental de las distintas opciones disponibles, con el fin de favorecer el uso de los recursos más coste-eficaces y con menor impacto ambiental.

4. Referencias

Ballesteros B.; del Olmo, M.; Mata Benito, P. 2014. Investigar e intervenir desde un enfoque participativo. En: *Propuestas de investigación e intervención desde un enfoque participativo*. Universidad Nacional de Investigación a Distancia.

Contreras, R. 2002. La Investigación Acción Participativa (IAP): revisando sus metodologías y sus potencialidades En: *Experiencias y metodología de la investigación participativa*. CEPAL - SERIE Políticas sociales N° 58. Naciones Unidas.

Corominas J. 2010. Agua y Energía en el riego en la época de la Sostenibilidad. *Ingeniería del Agua*, 17(3), 219-233.

Corominas Masip, J.; Cuevas Navas, R. 2017. Análisis crítico de la modernización de regadíos Pensando el futuro ¿cómo será el nuevo paradigma? En: Berbel y Gutiérrez-Marín (coords.) *Efectos de la modernización de regadíos en España*. Cajamar Caja Rural.; Berbel et al 2017

Estevan, A. 2000. Planes integrales de gestión de la demanda de agua. En Antonio Estevan y Víctor Viñuales (comps.) *La eficiencia del agua en las ciudades*. Bakeaz-Fundación Ecología y Desarrollo. Bilbao. Zaragoza.

Estevan, A. 2007. Desalación, energía y medio ambiente. En Fundación Nueva Cultura del Agua: *Panel científico--técnico de seguimiento de la política de aguas*. Convenio Universidad de Sevilla. Ministerio de Medio Ambiente.

Gascó, J.M. y Nardo, J.M. (Dirs.). 1996. *Las cuentas del Agua en España. Resumen Final*.

<http://elrincondenaredo.org/wp-content/uploads/2019/12/4-Cuentasdel-Agua-ResumenFinal.pdf>

Gómez Orea, D. 2001. Reflexiones en torno al Plan Hidrológico Nacional desde el territorio y el medio ambiente. En Arrojo, P (coord.): *El Plan Hidrológico Nacional a Debate*. Bakeaz. Fundación Nueva Cultura del Agua. pp. 225-231.

MARM. 2008. Encuesta sobre superficies y rendimientos de cultivos 2008. Madrid. MARM.

MITYC. 2008. La energía en España 2007. Madrid. MITYC.

Martínez Fernández, J. 2019. Agua circular y sostenibilidad: una relación compleja. En Jiménez Herrero, L.M. & Pérez Lagüela, E. (coords). *Economía circular-espiral. Transición hacia un metabolismo económico cerrado*. Editorial Ecobook. Madrid. pp. 213-229.

Mateos, F.; Rodríguez, S.; Clarke, M. 2014. *Informe de vigilancia tecnológica: tendencias en tecnologías del agua*. Fundación EOI. Madrid. 84 pp.

Naredo, J.M. 2017. Retos de la economía en España. Costes y cuentas del agua. Curso de Verano: *El agua en Almería. Análisis, problemas y soluciones*. Universidad de Almería, Curso de Verano, Almería, 12 de julio 2017.

<http://elrincondenaredo.org/wp-content/uploads/2019/12/Texto-de-apoyo-a-la-Ponencia-Naredo-Almer%C3%ADa2017.pdf>

Roy, A. 2002. *El algebra de la justicia infinita*. Anagrama.

Soriano, L.; Suárez Mejido, F. 2019. Retos de la depuración del agua en pequeñas y medianas poblaciones. En: *Retos de la planificación y gestión del agua en España energética implica eliminar, a la mayor brevedad posible, este tipo de producción eléctrica basada en recursos no renovables y, en el caso del carbón, gas natural yaña*. *Informe 2018*. Observatorio de las Políticas del Agua (OPPA). Fundación Nueva Cultura del Agua.

<https://fnca.eu/biblioteca-del-agua/documentos/documentos/Informe%20OPPA%202018.pdf>