

Estudios sobre la Economía Española - 2020/40

La gobernanza del agua subterránea y la seguridad hídrica en España

Elena Lopez Gunn
(I-CATALIST S.L)

Elisa Vargas Amelin
(DG Medio Ambiente, Comisión Europea)

Diciembre 2020

fedea

Las opiniones recogidas en este documento son las de sus autores y no coinciden necesariamente con las de FEDEA.

La gobernanza del agua subterránea y la seguridad hídrica en España

Elena Lopez Gunn¹ y Elisa Vargas Amelin²

Resumen:

Este artículo resume los aspectos claves de la seguridad hídrica y las aguas subterráneas, analizando su papel y relevancia en áreas clave donde una mejor gobernanza aumentaría la seguridad hídrica. En concreto se analiza la relevancia de las aguas subterráneas en diferentes actividades económicas, así como su vulnerabilidad frente al cambio climático, y se examina como su buena gestión aporta resiliencia al sistema. También se aborda la cooperación transfronteriza, la estabilidad política y los conflictos en algunos “puntos calientes” de uso intensivo de las aguas subterráneas. Finalmente se identifican aspectos claves de gobernanza para proponer posibles principios rectores o puntos críticos para garantizar la seguridad hídrica.

Abstract:

This article summarizes the key aspects of water security in terms of groundwater, specifically analyzing the role and relevance of groundwater in a number of key areas. Specifically, the relevance of groundwater in economic activities and development, and in relation to climate change. Also, in relation to transboundary cooperation, political stability and conflicts in relation to some of the best-known cases regarding the intensive use of groundwater as “hot spots” in the Spanish geography. Finally, key aspects in terms of governance, financing and economic aspects are considered to finally present some conclusions on the governance of groundwater in Spain and possible guiding principles or critical points to guarantee water security through good governance.

Palabras clave/ Keywords: agua subterránea, gobernanza, seguridad hídrica, cambio climático.

1. Introducción

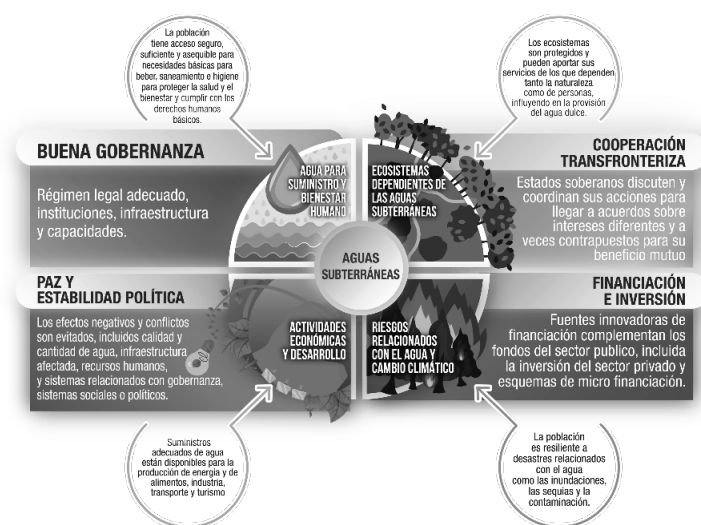
¹ I-CATALIST S.L elopezgunn@icatalist.eu

² DG Medio Ambiente, Comisión Europea. Elisa.vargas.amelin@gmail.com

Las opiniones expresadas en este artículo son las de las autoras y no representan la posición oficial de las entidades para las que trabajan

Este artículo analiza el concepto de la seguridad hídrica desde la perspectiva del agua subterránea. El objetivo es ofrecer una panorámica de los elementos más importantes de la seguridad hídrica relacionados con las aguas subterráneas en España, aportando datos y ejemplos concretos. Al final, se ofrecen unas reflexiones sobre la gobernanza de este recurso considerado un ejemplo clásico de bien común. El agua subterránea es un tesoro bajo nuestros pies. Cubre un 70% del territorio nacional y sin embargo sigue siendo una gran desconocida excepto en ciertas zonas donde se ha convertido en recurso estratégico. Esta gran desconocida es el motor de la economía del regadío en zonas como Almería, Murcia, Castilla La Mancha, zonas de Huelva, Jaén y Castilla León. También es un recurso que amortigua los impactos de las sequías en grandes urbes como Madrid, Barcelona o Valencia. Asimismo, y no menos importante, las aguas subterráneas son esenciales para áreas protegidas y parques nacionales, como el Parque Nacional de Doñana, las Tablas de Daimiel o la Albufera de Valencia.

La **seguridad hídrica** se define por las Naciones Unidas (2013) como: *“La capacidad de una población para salvaguardar el acceso sostenible a cantidades adecuadas de agua subterránea de calidad aceptable para sustentar los medios de vida, el bienestar humano y el desarrollo socioeconómico, para garantizar la protección frente a la contaminación de las aguas subterráneas y los desastres relacionados, y para preservar ecosistemas dependientes del agua subterránea en un clima de paz y estabilidad política”*.



Grafica 1: Concepto de Seguridad Hídrica aplicado a las aguas subterráneas (modificado en base a UN Water 2013)

2. El recurso de aguas subterráneas y sus principales usos

Las aguas subterráneas, a pesar de ser unas grandes desconocidas, son el recurso más abundante de agua dulce disponible en el planeta, representando el 97% en la Tierra (sin contar glaciares y casquetes polares). Las aguas subterráneas en España se estima que cuentan con más de 29.000 hm³/año (de la aportación total anual de 111.000 hm³ en régimen natural) (MITERD 2020, FAO, Aquastat, 2020).

El país cuenta con 1064 grandes presas con una capacidad del embalse de 55.720 hm³. Actualmente, la reserva hídrica en estos embalses es de 25.600 hm³ (un 45.85% de su capacidad total)(1). Podría afirmarse que los recursos subterráneos son comparables a estas reservas artificiales, sin presentar los problemas asociados de evaporación, sedimentación o riesgos de rotura de presas, y por supuesto, conllevan un coste mínimo tanto de construcción (pozos de extracción) como de mantenimiento u operación. El agua subterránea es especialmente importante porque como se explica más adelante, actúa como amortiguador frente a la escasez de agua, ya que permite mantener en funcionamiento los cursos de agua durante las sequías.

Según los criterios y terminología de la Directiva Marco del Agua (2000/60/EC) – el instrumento legislativo que estructura la mayor parte de la política del agua a nivel europeo - España cuenta con 762 masas de agua subterráneas de un total de 5.924 masas de agua (incluyendo ríos y lagos, por ejemplo) (MITERD, 2020). Este número es probable que aumente a poco más de 800 en los siguientes planes hidrológicos según fuentes consultadas del Ministerio.



Grafica 2: Masas de agua subterránea en España e indicación de las masas en mal estado. Fuente: Sistema de Información del Agua (página web del MITERD) (Fuente: Martínez Cortina, 2019)

Tabla 1 Masas de Agua subterránea, recursos y agua utilizada
(Fuente: De Stefano et al, 2014^a, Martínez-Cortina, 2019^b, Estrela, 2019^c)

<i>Cuenca</i>	<i># MAS^c</i> <i>(2^{do}</i> <i>Ciclo)</i>	<i>Area MAS</i> <i>(km²)^a</i>	<i>Extension</i> <i>media</i> <i>(km2)^c</i>	<i>Recarga</i> <i>(mm/year)^a</i>	<i>Recursos</i> <i>renovables</i> <i>subterráneos^b</i> <i>(hm³/año)^a</i>	<i>Recursos</i> <i>subterráneos</i> <i>disponibles</i> <i>(hm³/año)^a</i>	<i>Agua</i> <i>subterránea</i> <i>Utilizada</i> <i>usos</i> <i>consuntivos</i> <i>b</i>
Costa de Galicia	18	12,988	722	242	3,869	3,471	12,97
Miño-Sil	6	17,602	2930	ND	3,774	3,193	30,59
Cuenca cantábrica Occidental	20	13,875	694	301	4,217	3,328	112,40
Cuenca cantábrica oriental	20	3,472	286	386	1,273	1,090	40,61
Duero	64	75,885 ^c	1365	71	3,737	2,990	775,77
Ebro	105	54,125	521	ND	ND	ND	325
Cuencas catalanas	37	11,254	294	70	1,930	1,141	434,46
Tajo	24	21,866	910	ND	ND	ND	227,89
Guadiana	20	22,484	1124	34	550	623	508,69
Júcar	90	40,135	450	61	3,355	2,327	1469,28
Segura	63	18,500	242	36	700	535	575,40
Guadalquivir	86	35,609	394	ND	2,700	1,962	928,18
Tinto, Odiel y Piedras	4	1,018	378	56	66	46	24,93
Guadalete & Barbate	14	1,927	305	ND	166	52	65,34
Cuencas andaluzas	67	10,395	155	80	833	676	528,39
Islas baleares	87	4,737	55	ND	410	181	171,22
Islas canarias	32	7,425	-	2-370	ND	360	246,51(*)
Total	730	353,297	-	-	-	21,975 ^e	

La Directiva Marco del Agua ha incentivado un diagnóstico exhaustivo del estado de nuestros recursos hídricos. Actualmente, se está ya en el tercer ciclo de planificación de la directiva que cubren el periodo del 2021 al 2027. En el caso del estado cuantitativo, por ejemplo, la Agencia Europea de Medio Ambiente (AEMA) señaló respecto al segundo

ciclo de planificación que “84 masas de agua subterránea todavía no están sujetas a un seguimiento cuantitativo [sin contar las demarcaciones canarias] y en las demarcaciones hidrográficas de Ceuta y Melilla no existe un seguimiento cuantitativo. El número de puntos de monitoreo aumentó aproximadamente en un 15% al comparar los dos ciclos de planificación”.

Todas las masas de agua subterránea ahora tienen un estado definido. Aproximadamente el 25% de las masas de agua subterránea corren el riesgo de perder el buen estado cuantitativo (2). Es positivo ver que la situación en general ha mejorado, ya que el número de masas de agua subterránea que no tenían un buen estado cuantitativo disminuyó ligeramente entre el primer y el segundo ciclo de planificación. Según este informe, a grosso modo, el 75% de las masas de agua subterránea se encuentran en buen estado. Mientras tanto, 1/4 están en mal estado (24%)(3). También es relevante indicar que, en general, las cuencas que presentan masas de agua en peor estado son aquellas que presentan mayor escasez de agua y que a menudo son más dependientes de recursos subterráneos.

Aquí se resumen algunos ejemplos de cuencas hidrográficas que presentan un peor estado de masas de agua subterránea (MITERD, 2020): primero Melilla (que cuenta únicamente con 3 masas de agua subterráneas y todas en mal estado); segundo el Guadiana (con 20 masas de agua subterráneas y 16 de ellas en mal estado. En 2021 se prevé alcanzar los objetivos medioambientales para el 35% de las masas); tercero las Islas Baleares (de las 87 masas de agua subterráneas, 52 están actualmente en mal estado. Se espera que 72% de las masas cumpla los objetivos ambientales en 2021); y cuarto las Cuencas mediterráneas andaluzas (de las 67 masas, 44 están en mal estado y se prevé alcanzar los objetivos de solo el 60% en 2021).

3. Actividades económicas y desarrollo: agua para consumo humano y bienestar (4)

Desde el punto de vista de usos, el agua subterránea es un recurso muy importante para la agricultura de regadío, así como para el suministro de agua, sobre todo para pequeñas

poblaciones y es fundamental (junto cada vez más con el agua desalada) en las Islas Canarias.

La agricultura se estima que consume unos 4.300 hm³/año lo cual supone 2/3 del agua total extraída (74%), para el riego de unas 920.000 hectáreas con un consumo medio de unos 4.670 m³/ha/año. Las aguas subterráneas son fundamentales para la agricultura de regadío de zonas de Almería y Jaén, en Murcia y en Castilla La Mancha. Es importante enfatizar que es la agricultura de mayor valor añadido y enfocada en gran parte a la exportación de frutas y verduras.

Asimismo, las aguas subterráneas son clave para el suministro de agua en ciertas poblaciones que representan 1/5 parte del uso de aguas subterráneas a nivel nacional, con unos 1.100 hm³/año (19%) que suministran agua a unos 12.5 millones de personas (alrededor de una cuarta parte de la población (26.7%)). Sin embargo, esto esconde importantes diferencias como por ejemplo el caso de las Islas Canarias y su sistema de galerías donde es casi la fuente fundamental. Asimismo, un 70% de pequeñas o medianas poblaciones dependen mayoritariamente del agua subterránea (De Stefano et al., 2014). Finalmente, el uso industrial representa unos 400 hm³/año de extracciones (7%).

El agua subterránea juega un papel crítico en el agua para consumo humano, ya que a menudo el terreno actúa de filtro natural. Por otro lado, la contaminación por nitratos, y por purines de la ganadería intensiva o la movilización del arsénico ha provocado que zonas rurales hayan tenido que buscar otras alternativas de suministro y elevado el coste de las medidas necesarias para recuperar estos acuíferos. Esto enlaza con debates actuales entorno a la justicia ambiental en comunidades rurales y de poblaciones más vulnerables.

Un área importante de cara al futuro es la gestión del llamado nexo agua (subterránea)/ agricultura/energía donde aspectos como el riego solar (Shah et al, 2014; FAO, 2018), la producción agrifotovoltaica (Ketzer et al, 2020; Schindele et al, 2020 Sekiyama, & Nagashima, 2019, Parkinson, and Hunt, 2020)., y cultivos mejor adaptados al agua disponible serán fundamentales a futuro, ya que abren oportunidades muy importantes de

gestión directa e indirecta de las aguas subterráneas mediante esquemas aún por definir de incentivos inteligentes.

4. Riesgos naturales asociados al agua subterránea y cambio climático

Las aguas subterráneas se consideran un importante recurso estratégico frente al cambio climático, por su efecto de amortiguación, ya que tienen una inercia que hace que el agua subterránea permanezca disponible en muchos casos cuando ya no hay recursos superficiales disponibles. Es por tanto importante considerar una gestión conjunta o alterna entre recursos superficiales y subterráneos. En el caso de la ciudad de Madrid, por ejemplo, hasta cierto punto se reserva el uso de aguas subterráneas para épocas de escasez.

Sin embargo, el agua subterránea y los acuíferos también son vulnerables en sí al cambio climático. Y esto se relaciona con varios riesgos, en concreto, la disminución de la recarga de los acuíferos, una mayor intrusión salina debido a la subida del nivel del mar y la sobreexplotación y el posible impacto de una menor disponibilidad del agua subterránea para sus diferentes usos.

La manera más sencilla de entender las aguas subterráneas y también su relación con el cambio climático es el símil de un acuífero con una cuenta bancaria con entradas y salidas, y su capacidad de “ahorro” o de almacenamiento. El impacto del cambio climático en las aguas subterráneas se debe a que la precipitación, las temperaturas y la evapotranspiración pueden afectar a la recarga, descarga y calidad de las aguas subterráneas y por tanto a todos sus usos. En los informes recientes del IPCC, y en concreto para la zona mediterránea donde está ubicada España, las predicciones apuntan a que estas tres variables van a cambiar: se esperan menores precipitaciones, un cambio también en la estacionalidad (es decir con un cambio en el patrón de las lluvias), y mayores temperaturas, así como mayor evapotranspiración que afectaría a la recarga. Esto equivaldría a un descenso en los ingresos esperado en nuestra cuenta bancaria o unos ingresos en meses diferentes a lo que estábamos acostumbrados y por tanto el equivalente a un flujo de caja diferente.

A estos cambios se unen los ya experimentados recientemente por el uso intensivo de las aguas subterráneas que reducen la resiliencia del sistema. Los impactos por este uso intensivo se ven reflejados en cambios en las últimas décadas como ríos secos o con el caudal mermado, ya que dependían del caudal base de los acuíferos, o la desaparición de humedales en España que se estima en un 70%. Todos estos cambios afectan en gran manera a los servicios ecosistémicos que puede proporcionar el agua subterránea (Manzano Arellano, y Lambán Jiménez, 2012).

El cambio climático, no solo puede afectar al agua almacenada, sino también a la morfología y a la dinámica del acuífero en sí. Por ejemplo, una reducción en las aguas subterráneas más someras podría causar subsidencias del terreno, como ya se ha visto en el caso de la ciudad de Murcia por el uso intensivo de los recursos subterráneos. Asumiendo un escenario de gestión como el actual, los impactos del cambio climático serían muy significativos en el hundimiento del terreno (Collados-Lara et al., 2020). Estudios en este área pueden ayudar a identificar las áreas más vulnerables donde el hundimiento puede aumentar el riesgo de inundación al descender la superficie del terreno, y provocar cambios en los gradientes topográficos (con la consecuente ruptura de la superficie, daños estructurales en edificios e infraestructuras), y en general traducirse en una menor capacidad de almacenaje de agua en los acuíferos (CADC, 2017).

Respecto a la recarga de los acuíferos, un estudio de Pulido-Velázquez et al (2018) evalúa la recarga promedio de los acuíferos en la península a partir la precipitación y la temperatura como las variables más determinantes para la tasa de recarga de nuestros acuíferos. El estudio proyecta una reducción de la tasa media de recarga en torno al 12% de media, siendo mayor la reducción en la recarga media neta en el centro y sureste del territorio, con una reducción de hasta un 28% en algunas áreas para un escenario de futuro cercano (2016–2045).

También Pulido-Velázquez *et al.* (2018) y Baena-Ruiz *et al.* (2020) han analizado el impacto del cambio climático en relación con la intrusión salina, la subida del nivel del mar y la salinización de los acuíferos. Por ejemplo, aplican la modelización a futuro del

acuífero Plana Oropesa-Torreblanca, donde ya existe un problema de intrusión de agua de mar. Se estima que el problema se agravará aún más con el cambio climático y el cambio de usos del suelo, como por ejemplo si tiene lugar una mayor urbanización de la zona costera. Estos cambios en su conjunto podrían afectar negativamente a la disponibilidad de agua subterránea en el futuro.

Se espera que estos impactos (por ejemplo, en la recarga o en la intrusión marina) tendrían un impacto mucho mayor a finales de siglo y en escenarios de altas emisiones y poca mitigación. Sin embargo, el grado de incertidumbre a largo plazo es mayor. Por tanto, en el caso del agua subterránea la adaptación al cambio climático es crítica, tanto por su vulnerabilidad como por su potencial de amortiguar los efectos de la escasez si se hace una buena gestión del recurso. Estudios recientes ya empiezan a detectar la “huella” del cambio climático, en lo que llaman la ciencia de la atribución. En concreto requiere una gestión mucho más adaptativa (incluyendo el potencial de recarga de acuíferos) una adecuada gestión de la demanda y medidas que se centren en aumentar la resiliencia de los sistemas hidrogeológicos ya la incertidumbre sobre la oferta es cada vez mayor (de la Hera et al, 2020; Taylor, comunicación personal (5)).

5. Las aguas subterráneas y su papel como sustento de humedales y ríos

Un aspecto esencial de las aguas subterráneas es que estas aportan el llamado caudal de base de muchos ríos y humedales en la Península Ibérica. Teniendo en cuenta la acelerada desaparición de humedales en todo el arco mediterráneo, el agua subterránea adquiere un valor adicional para la conservación de áreas de un alto valor ecológico.

En España hay unas 114.000 ha de humedales, la mayoría en zonas costeras con 98.000 ha de humedales costeros (casi el 90% aproximadamente) y casi el 10% en zonas interiores (unas 16.000 ha). Hay 74 humedales españoles con un alto valor ambiental de los cuales 59 se consideran sitios Ramsar (6)(303 ha), y que presentan interacciones con acuíferos (de La Hera y Custodio, 2017).

El ‘Estudio de los Ecosistemas del Milenio para España’(EME) utilizó el marco de los servicios ecosistémicos, evaluando los servicios que aporta la naturaleza al ser humano dividiéndolos en tres grandes grupos: aprovisionamiento, regulación y culturales. En este análisis se incluyó la relevancia tanto de las aguas subterráneas como de los humedales para la sociedad, con un diagnóstico de estos servicios. Entre los de aprovisionamiento se encuentra por ejemplo el agua para consumo humano, para regadío, etc. Entre los servicios de regulación se incluyen aspectos más funcionales, donde a menudo no hay una transacción económica directa y que sin embargo sí nos aportan unas funciones muy importantes como por ejemplo de amortiguación de inundaciones, etc. Entre los culturales estarían por ejemplo las galerías drenantes o acequias de careo, que aparte de una función demostrada de aumentar la disponibilidad de agua en época de verano, tienen un enorme valor cultural y patrimonial con una antigüedad que se estima en por lo menos unos ochocientos años (Martos Rossillo, et al 2018; 2019; Hermosilla, 2008).

El estudio EME en cuanto a los humedales concluye, primero, como la pérdida y / o transformación de humedales comprometen los servicios que brindan a la sociedad. En nuestro país esta pérdida se debe sobre todo a la sobreexplotación de los acuíferos, y a la canalización y regulación de cauces que los ‘alimentan’. Segundo, los humedales españoles nos aportan una serie de servicios de aprovisionamiento, como agua para numerosos pueblos. Tercero, los servicios culturales se ven también comprometidos (las lagunas de Ruidera y los Ojos del Guadiana aparecen en el Quijote; y numerosos manantiales poseen un alto significado religioso y cultural). Finalmente son ecosistemas altamente sensibles al cambio del uso de la tierra como puede ser un cambio de agricultura de secano al regadío. El impacto directo de estas transformaciones puede verse en humedales como los del Parque Nacional de Doñana o el Parque Nacional de las Tablas de Daimiel.

En un estudio de la Hera et al. (2017) analizan las tendencias en los servicios ecosistémicos, y se ve un aumento de los servicios culturales y una continuidad y pequeña reducción de los servicios de aprovisionamiento en los últimos años. Lo que es clave, sin embargo, es internalizar como sociedad que las aguas subterráneas nos aportan una serie

de valores que van más allá del puro valor monetario del agua y sus usos, y que también implican aportaciones económicas muy importantes no contabilizadas en cuanto a mitigación de riesgos (sequías) y costes/daños evitados, y bienestar (p.e. reducción de contaminación del agua subterránea por contaminantes). Asimismo, la importancia de considerar el agua subterránea como un recurso estratégico introduce la posibilidad de designar reservas estratégicas de aguas subterráneas por su relación con servicios ecosistémicos críticos (de suministro, por su capital natural, por su efecto amortiguador frente a sequías e inundaciones, etc.). De hecho con los acuíferos entendidos como infraestructura verde se pueden considerar esquemas de aseguramiento natural (Lopez-Gunn, et al, 2019)(7).

Figura 3: Servicios ecosistémicos del agua subterránea) (Fuente: en base a Manzano y Lamban, 2012 y de la Hera et al, 2017)

Servicios ecosistémicos del agua subterránea		
<p>APROVISIONAMIENTO</p> <ul style="list-style-type: none"> - Suministro de agua de buena calidad - Agua para el regadío, acuicultura y productos/frutos silvestres - Agua para la ganadería - Agua mineral - Materias primas (turba, sales, etc) - Spas y turismo - Energía geotérmica 	<p>REGULACION</p> <ul style="list-style-type: none"> - Regulación climática local (vegetación, almacenamiento de CO2, p.e. turbas) - Amortiguación frente a sequías e inundaciones - Depuración del agua a través del terreno - Almacenamiento de agua (mejora de la disponibilidad) - Regulación de sedimentos 	<p>CULTURALES</p> <ul style="list-style-type: none"> - Valor ambiental (p.e. biodiversidad en zonas húmedas,..) - Valor paisajístico - Valor educativo y científico - Varlos religioso p.e. fuentes, etc.

6. Cooperación transfronteriza, recursos subterráneos compartidos y gestión interdependiente

Otro aspecto fundamental de la seguridad hídrica, y también para las aguas subterráneas es el análisis como un recurso transfronterizo o compartido. En el caso de España y las aguas subterráneas los recursos subterráneos compartidos con Portugal, Francia o Marruecos son muy escasos. No existe el equivalente a grandes acuíferos compartidos como pueden ser los del Guaraní, el acuífero de Nubia (en África) o el acuífero del Alto Rin. Sin embargo, hay importantes acuíferos compartidos entre demarcaciones hidrográficas como por

ejemplo entre las cuencas del Guadiana y del Guadalquivir. Un caso curioso es el de algunos acuíferos que, aunque no son compartidos, al estar contiguos, la sobreexplotación de uno puede afectar al flujo del otro. Este es el caso del acuífero de Rus Valdelobos, en la Cuenca Alta del Guadiana, y acuífero colindante con la Mancha Oriental en la Cuenca del Júcar.

El 42% del territorio español se encuentra en cuencas internacionales compartidas con Portugal, que en el caso portugués representa un 64% de su territorio (Octavio de Toledo, 2008). En comparación con los ríos, el caso de los acuíferos transfronterizos internacionales es diferente porque las cuencas hidrográficas y las masas de aguas subterránea no necesariamente coinciden. También hay grandes diferencias en cuanto a la superficie. Las cuencas hidrográficas ibéricas compartidas representan alrededor de 250.000 km². En comparación, la superficie total de los cinco pequeños acuíferos compartidos entre España y Portugal suman un total de 5.000 km² (CEPE, 2009).

El Plan Hidrológico Nacional de España de 2001 dedicó un informe completo (130 páginas) a la identificación de las llamadas unidades hidrogeológicas compartidas (concepto anterior al posteriormente unificado a raíz de la Directiva Marco Europea en 'masa de agua') (Revilla Cortezón, 2002). Finalmente, y debido a que los acuíferos entre los dos países no se consideran relevantes, se consideró que las masas de agua correspondientes no se identificarían como masas de agua subterráneas compartidas. Éstas pueden sin embargo tener importancia local.

Debido a la ausencia de importantes masas de agua subterráneas compartidas entre ambos países, a continuación, se recogen ejemplos de masas situadas entre varias demarcaciones hidrográficas (8). Según Estrela (2019) para los acuíferos compartidos se le atribuye a cada demarcación la parte de acuífero correspondiente a su ámbito territorial. Son acuíferos compartidos los definidos en la Ley del PHN (art 1.3 RD 125/2007).

La cuenca del Guadiana nos sirve para el análisis de los diferentes casos: el primer caso es el acuífero 'Campo de Montiel', un acuífero compartido entre las cuencas del Guadiana y

Guadalquivir. El segundo caso es la masa de agua subterránea Rus-Valdelobos, que es parte de una unidad acuífera más grande del acuífero Mancha Occidental, donde el manejo intensivo ha cambiado la dirección del flujo y ha creado problemas de gestión compartidos con la cuenca del Júcar.

En el Plan Hidrológico Nacional de 2001, el Campo de Montiel fue catalogado como acuífero compartido, a caballo entre las cuencas del Guadalquivir y Guadiana, con un recurso hídrico renovable asignado por cuenca de 10 hm³ y 130 hm³ respectivamente. El acuífero del Campo de Montiel está formado principalmente por estructuras de piedra caliza y se caracteriza por una capacidad de almacenamiento reducida y una alta transmisividad. El flujo de agua subterránea va desde áreas debajo de la cuenca del Guadalquivir hacia la cuenca del Guadiana. El agua subterránea se acumula en los humedales de las "Lagunas de Ruidera", una serie de lagos kársticos alimentados por aguas subterráneas (designados como Parque Natural) que desembocan en el acuífero de la Mancha Occidental. En 1989, el acuífero del Campo de Montiel fue declarado sobreexplotado, con una extracción de agua subterránea estimada en ese momento de aproximadamente 15 hm³, según datos oficiales. La proliferación de grandes sistemas de riego por pivot en el área central del acuífero representó la mayor parte de este consumo. Sin embargo, la concienciación social sobre las consecuencias de la sobreexplotación, agravada por una intensa sequía entre 1990 y 1995, el duro impacto en las Lagunas de Ruidera, la estrategia de control de la Confederación del Guadiana y el apoyo gradual, por parte de la Comunidad de Regantes central, han sido impulsores clave hacia el nivel actual, de extracciones sostenibles.

En el caso de Rus-Valdelobos, la declaración de sobreexplotación del acuífero manchego occidental, también supuso fuertes restricciones al agua extraída por hectárea. Mientras tanto, el acuífero adyacente, el denominado acuífero Mancha Oriental, en la cuenca del Júcar, no está declarado sobreexplotado. Actualmente, se ha estimado que, en promedio, 60 hm³ están fluyendo cada año desde la masa de agua subterránea Rus-Valdelobos hacia la masa de agua subterránea adyacente de la Mancha Oriental en la cuenca del Júcar. Es decir, hay una transferencia de agua entre dos demarcaciones hidrográficas: el Guadiana y

el Júcar. La llanura del terreno ya ha hecho que la delimitación de aguas superficiales haya sido difícil entre ambas cuencas (Júcar y Guadiana). Tradicionalmente, se ha considerado que el límite de las aguas subterráneas entre los acuíferos de Mancha Occidental y Mancha Oriental era el mismo que el límite de las aguas superficiales. Sin embargo, estudios del Servicio Geológico Español (López-Gutiérrez et al, 2013) han demostrado que los límites de las aguas subterráneas son más difíciles de determinar de lo que se estimaba anteriormente. Es una línea que avanza y retrocede (de Este a Oeste) en función de la cantidad de captaciones de agua que se estén produciendo en cada cuenca. Es un límite natural que cambia, pero también un problema compartido debido a la alteración de los flujos naturales por la intervención humana y al uso intensivo (9). Según el antiguo Jefe de la Oficina de Planificación Hidrológica del Júcar y actual Director del Agua “aunque no puede hablarse formalmente de masas de aguas subterráneas compartidas, sin embargo, existen masas en demarcaciones contiguas conectadas hidrogeológicamente”.

7. Estabilidad política y conflictos

En esta sección analizamos de forma esquemática algunos de los casos más paradigmáticos en el uso de las aguas subterráneas en España, que se pueden considerar “puntos calientes” (hotspots) para la gestión, como las zonas del Mar Menor (Murcia), Doñana (Huelva), Tablas de Daimiel (Ciudad Real), zonas de Úbeda (Jaén), Campo de Dalías (Almería), varios acuíferos del Júcar y los casos de la Cuenca del Duero, como Medina del Campo (Valladolid), Cantalpino (Salamanca) y el Carracillo (Segovia). Tal y como se ha indicado, en ámbito global o general no hay un problema grave del estado de las aguas subterráneas, sino problemas focalizados en áreas específicas que presentan un reto para la gobernanza y la gestión. Por esta razón, se esperaría que la voluntad tanto técnica, como política y social centrara esfuerzos en resolver estos problemas concretos. En España ha habido numerosos casos donde la sobreexplotación o mala gestión de las aguas subterráneas principalmente ligadas a un uso intensivo por actividades agrarias se ha traducido en conflictos sociales y ambientales. Sin embargo, se empieza a vislumbrar posibles mecanismos para poder reconducir estas situaciones hacia un uso más sostenible a largo plazo en base a la buena gobernanza y la participación de todas las partes implicadas.

Caso 1: El caso del Mar Menor

El caso del Mar Menor es quizá uno de los que ha acaparado más atención en los medios recientemente. Es una laguna costera somera en la demarcación del Segura. Es de una gran complejidad ya que reúne numerosos problemas que incluyen contaminación puntual y difusa, planificación territorial (y gestión en una zona de alto riesgo por inundación) o presencia de especies exóticas, entre otros. Probablemente el mayor problema sea el arrastre del exceso de nutrientes desde las zonas de cultivo del interior hacia la laguna (tanto de manera continua como puntual durante avenidas). Esto ha derivado en una eutrofización de la laguna (crecimiento masivo de fitoplancton) y graves episodios de anoxia (falta total de oxígeno), que se ha traducido en una alta mortandad de todo tipo de especies y desequilibrios en el ecosistema. En este escenario tan complejo, la gestión de las aguas subterráneas ha jugado un papel importante. El acuífero cuaternario de Campo de Cartagena está conectado con el Mar Menor y ha sido declarado en situación de riesgo de no alcanzar el buen estado para 2027 por el exceso de nitratos (se ha calculado un promedio diario de entrada de nitratos en el Mar Menor en torno a 4.111 kg). Asimismo, la masa de agua subyacente a este acuífero superficial, correspondiente a un acuífero del terciario, ha sufrido un uso muy intensivo por encima de los índices de recarga desde hace décadas (Delgado y Tudela, 2019). Parte de las extracciones en ambos acuíferos se han hecho sin los adecuados permisos, estimándose a finales de 2019 en 9.500 ha la superficie regada fuera de los límites de zonas regables (MITERD-TRAGSATEC, 2019). Tratándose de un acuífero de agua salobre, la utilización de aguas subterráneas llevó a la instalación de desaladoras privadas que evacuaban la salmuera por las canalizaciones de drenaje agrícola que vierten a las ramblas que desembocan en el Mar Menor (La Verdad, 2020). No obstante, la Administración (Confederación Hidrográfica del Segura dependiente del MITERD) ha puesto en marcha medidas para la regulación de la situación y se han realizado progresos desde 2019 en la clausura de regadíos ilegales y desmantelamiento de desaladoras privadas (MITERD, 2020).

Caso 2: El caso de Doñana

El caso de Doñana es un caso emblemático por la relevancia de este Parque nacional no solo para España sino a nivel europeo como zona de tránsito importante para las aves migratorias entre Europa y África. Es un caso complejo por la competencia que existe entre los cultivos de frutos rojos de regadío intensivo y el parque nacional de Doñana, que dependen del mismo acuífero. Las marismas de Doñana que se encuentran en la desembocadura del Guadalquivir reciben aguas superficiales del río Guadalquivir y aportes de aguas subterráneas de las zonas circundantes del acuífero Almonte-Marismas con una gran importancia (UNESCO) (10). El aporte de aguas subterráneas es especialmente relevante para asegurar el buen estado de un gran número de lagunas semipermanentes, que son algunos de los hábitats de mayor biodiversidad del espacio natural de Doñana. Muchas de las lagunas que eran permanentes han dejado de serlo, y otras estacionales llevan secas desde hace años.

En las últimas décadas, los cultivos de bayas de invernadero o bajo cubierta plástica se han extendido por los alrededores del Parque Nacional de las Marismas de Doñana. El cultivo principal es la fresa, aunque otros cultivos como el arándano, la frambuesa o la mora también cubren superficies importantes. En términos económicos, la agricultura intensiva de frutos rojos es crucial para la región. Alrededor del 25% de la producción de fresa en Europa se concentra en la zona. Sin embargo, el turismo de naturaleza (por ejemplo, la observación de aves) también es una actividad económica relevante. El regadío intensivo está teniendo efectos negativos en la conservación del espacio natural de Doñana, principalmente por las extracciones intensivas de agua subterránea, que están reduciendo el aporte de agua del acuífero "Almonte-Marismas" a las marismas y la transformación de áreas forestales y ocupación del suelo en espacios clave para la conexión de Doñana con otros espacios naturales.

El consumo medio anual de agua por hectárea se sitúa entre 5.000 y 9.000 m³/ha, según el cultivo y las precipitaciones anuales. La disponibilidad anual de recursos hídricos subterráneos sostenibles oscila entre 22,7 y 31,4 hm³, mientras que el consumo anual de agua se ha cuantificado en el rango de 35 a 45 hm³, bastante por encima de la media de recursos sostenibles. Recientemente, se aprobó una desviación de agua de una cuenca vecina para ayudar a reducir la presión sobre el acuífero (aún sin abordar directamente la raíz del problema ni asegurar una reducción de las demandas). Además, una gran parte de estas extracciones de agua son ilegales según el Plan Especial de Riego porque las áreas agrícolas están ocupando áreas forestales transformadas ilegalmente en tierras agrícolas. Es un problema, ya que los cultivos son tan rentables que el sistema sancionador no ha sido efectivo. Por eso la gobernanza es un tema clave considerando que el riego es una parte importante de la política de la zona, ya que casi toda la

economía local está vinculada a la agricultura intensiva de una forma u otra. Es un buen ejemplo donde se podría plantear una transformación o reconversión de la zona hacia un modelo económico más sostenible y que aportara retornos tanto económicos como sociales y ambientales en el futuro.

Caso 3 Cuenca del Duero: Cantalpino, Medina del Campo y el Carracillo

Otra área donde ha habido un uso intensivo del agua subterránea es en la cuenca del Duero, en varias zonas como Medina del Campo, Cantalpino y el Carracillo. Es una de las zonas acuíferas más grandes de España e incluso de Europa y que, de manera similar a los otros casos, empezó a experimentar un uso intensivo de las aguas subterráneas desde los años 70 y 80. En estas zonas lo más relevante ha sido la experimentación de medidas que intentan atajar tanto la oferta como la demanda de agua. En cuanto a la oferta, es una de las zonas donde se han llevado a cabo algunos de los experimentos más relevantes a nivel mundial centrándose en la recarga de acuíferos en la zona del Carracillo (Escalante y Lopez-Gunn, en prensa). También se ha abordado la demanda mediante la creación de Comunidad de Usuarios de Aguas Subterráneas (CUAS) o gestión colectiva de las aguas subterráneas con acuerdos entre la administración, en este caso la Confederación Hidrográfica del Duero (CHD) y los regantes.

Por ejemplo, en el caso de la Comunidad de Cantalpino como un prototipo de otras 39 CUAS que están en diferentes fases de proceso de constitución (11) La CUA de Cantalpino cubre unas 800 ha dentro del término municipal de Cantalpino (Salamanca), dedicando el agua subterránea fundamentalmente al cultivo de la patata, y en menor medida cereal (cebada y trigo), con algo de cebolla y remolacha. La dotación media es de aproximadamente 3.600 m³/ha, con unos 170 comuneros que están llegando a acuerdos para la gestión colectiva de 3 hm³, bajo la supervisión de la CHD, de los cuales el riego no declarado o por encima de lo declarado no es más de 50.000 m³ (un 1,5%), lo cual indica un nivel de éxito en la cogestión.

En una escala mayor, para el acuífero de Medina del Campo se ha visto como cinco décadas de explotación intensiva de aguas subterráneas han traído importantes cambios económicos, sociales y ambientales en la zona. Esto sin embargo ha llevado a una disminución de los niveles piezométricos que ha empeorado la calidad del agua, aumentado los costes de suministro y extracción de agua y que ha drenado los humedales y ríos conectados. Un análisis reciente de Borowiecka et al (2019) muestra el valor de un análisis integrado sobre tendencias para ayudar a la toma de decisiones. El estudio muestra como desde el 1985 a 2001 hubo una clara y generalizada tendencia de bajada de niveles piezométricos por la explotación intensiva de aguas subterráneas para riego. Esto redujo la descarga a la superficie de los ecosistemas dependientes y condujo también a la profundización de los pozos. Por lo tanto, la extracción intensiva redujo rápidamente el flujo de los servicios ecosistémicos del agua subterránea. Para el periodo del 2002 a 2018, solo una cuarta parte de los puntos de observación muestran una clara tendencia de aumento piezométrico, mientras que la mayoría solo muestran tendencias débiles y poco claras. Esto apunta a cambios diversos y localizados, los más probable debido al abandono de explotaciones con costes de operación más caros y la sustitución de aguas subterráneas por aguas superficiales como recurso sustitutivo. La reducción de la explotación de aguas subterráneas indujo una lenta recuperación de los niveles de aguas subterráneas en las dos últimas décadas, lo que apunta a un aumento también lento del flujo de servicios ecosistémicos provenientes del agua subterránea. El estudio apunta a que las medidas más efectivas para revertir la actual situación serían las reducciones de la extracción de aguas subterráneas mediante un cambio de cultivos para conseguir la recuperación generalizada de los niveles, así como mecanismos de colaboración efectivos entre los diferentes actores involucrados.

Finalmente, el caso de Carracillo es especialmente interesante por la emergencia de un nuevo modo de gestión que conjuga la gestión colectiva de las aguas subterráneas con la recarga artificial de acuíferos. Aunque esto no quita la necesidad de ajustar los usos a los recursos disponibles, la recarga de acuíferos y su cogestión en un contexto de cambio climático ofrece oportunidades importantes de recuperación junto con la cogestión entre usuarios, administración y apoyo científico -técnico (Escalante y Lopez Gunn, en prensa).

La cogestión del agua en Comunidades de Usuarios de aguas subterráneas donde España ha sido y es pionera, siendo representativas de los regantes de base, pueden crear espacios

de colaboración y de resolución de conflictos. Con este tipo de entidades se puede fomentar el control de extracciones, la repartición equitativa y en definitiva conocer con mayor detalle los recursos disponibles. Es fundamental marcar objetivos claros y compartidos entre todos los usuarios, como por ejemplo una reducción concreta y cuantificada (basándose por ejemplo en los objetivos ambientales marcados por la DMA) e identificar de forma conjunta la hoja de ruta, los plazos y la serie de medidas a utilizar entre todos los beneficiarios del acuífero o masa de agua. Es esencial también hacer un uso inteligente de tarifas por bloques, o de incentivos para reducir áreas regadas o aplicar precios más altos a cultivos menos intensivos en agua. Algunas de estas medidas encajan en el marco de los nuevos eco-esquemas de la PAC. También la formación de los usuarios y la transparencia en la gestión de datos, apoyada por la teledetección, y la toma de decisiones conjuntas por todos los actores serán clave en una gestión más sostenible de las aguas subterráneas.

8. Gobernanza y seguridad hídrica de las aguas subterráneas como una inversión a futuro en seguridad hídrica

Tal y como se ha expuesto la seguridad hídrica engloba muchos aspectos. Esto nos indica que la gobernanza del agua subterránea se debe entender como la gobernanza de un sistema complejo donde no hay soluciones simplistas. La clave de la gestión y protección de las aguas subterráneas recae en identificar las palancas o resortes que se deben utilizar, idealmente de forma simultánea para transformar el sistema hacia una explotación más sostenible que garantice la seguridad hídrica a largo plazo.

En una conferencia reciente de la IWRA (12) donde se analizó la gobernanza del agua subterránea a nivel mundial, surgieron algunas reflexiones que son también trasladables al caso de España. Las experiencias que están surgiendo en otros países con los que compartimos un uso intensivo del agua subterránea como son EE.UU, China o la India, unido a nuestra propia experiencia, nos indican que hay que hacer un uso combinado y estructurado de instrumentos políticos de regulación, económicos y otros relacionados con la colaboración voluntaria, la capacitación y el uso de la información y la digitalización.

Tabla 2: Clasificación del Tipo de actuaciones e inversión de los planes de medidas de los Planes de Cuenca del 2do Ciclo (información en base a Martínez Cortina, 2019)

TIPO DE MEDIDA	SUBTIPO ACTUACIONES	Nº ACTUACIONES	M €
OFERTA	Sustitución bombeos en masas en riesgo	79	1.420,90
	Recarga artificial de acuíferos	12	101,2
MEDIDAS LEGALES	Ofertas públicas de adquisición de derechos concesionales por la A.H.	5	50
	Registro y Catálogo. Tramitación, nuevas solicitudes, revisión concesiones	101	51,5
CONTROL	Definición de perímetros de protección	18	40
	Redes de control aguas subterráneas (calidad, piezometría)	50	75,8
	Instalación contadores de agua	36	404,1
	Control extracciones (guardería), establecimiento normas, inspección concesiones	46	6,3
CONOCIMIENTO	Estudios planificación, Mejora conocimiento, Modelos simulación	796	419,7
GOBERNANZA	Medidas de Gobernanza	113	252,3
	Constitución de Comunidades de usuarios	21	18,8
CALIDAD- PREVENCIÓN Y TRATAMIENTO	Reducción contaminación difusa, Códigos BPA, Balances Nitratos	258	338,4
	Tratamiento suelos o aguas subterráneas contaminadas, o purines	29	47,1
TOTAL		1.564	3.226,10

Recientemente se ha realizado un extenso proceso participativo para elaborar un Libro Verde de la Gobernanza (MITECO, 2019) que también incluía como tema clave las aguas subterráneas. Estos resultados son muy útiles para el siguiente tercer ciclo de planificación, y la implementación de los planes actuales de cuenca. Por ejemplo, haciendo un análisis sobre las medidas para aguas subterráneas en los actuales planes del 2^{do} ciclo de Planificación, se aprecia como el mayor número de actuaciones se centra en aumentar el conocimiento y seguido por medidas para calidad, control, medidas legales, la gobernanza y por último aumento de la oferta de agua.

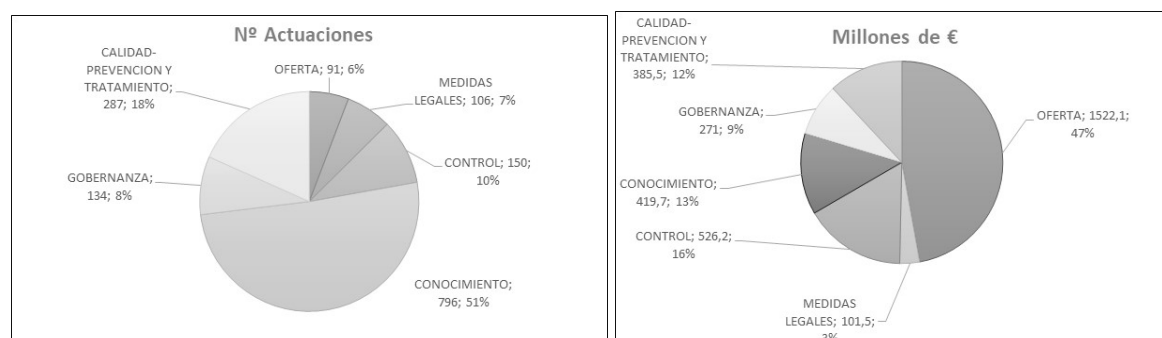


Figura 5: Tipo de actuaciones en los planes de medidas de los Planes de Cuenca del 2do Ciclo (información en base a Martínez Cortina, 2019)

Sin embargo, en cuanto a inversión se ve que lo primero es el aumento de la oferta seguido por el control, el conocimiento, la calidad y prevención y en último término la gobernanza y las medidas legales.

9. Conclusiones

Este artículo ha presentado un diagnóstico del uso del agua subterránea, en base al marco regulatorio de la Directiva Marco Europea del Agua y ciertos elementos de la Ley de Aguas y su TRLA. De este análisis se pueden sacar una serie de conclusiones.

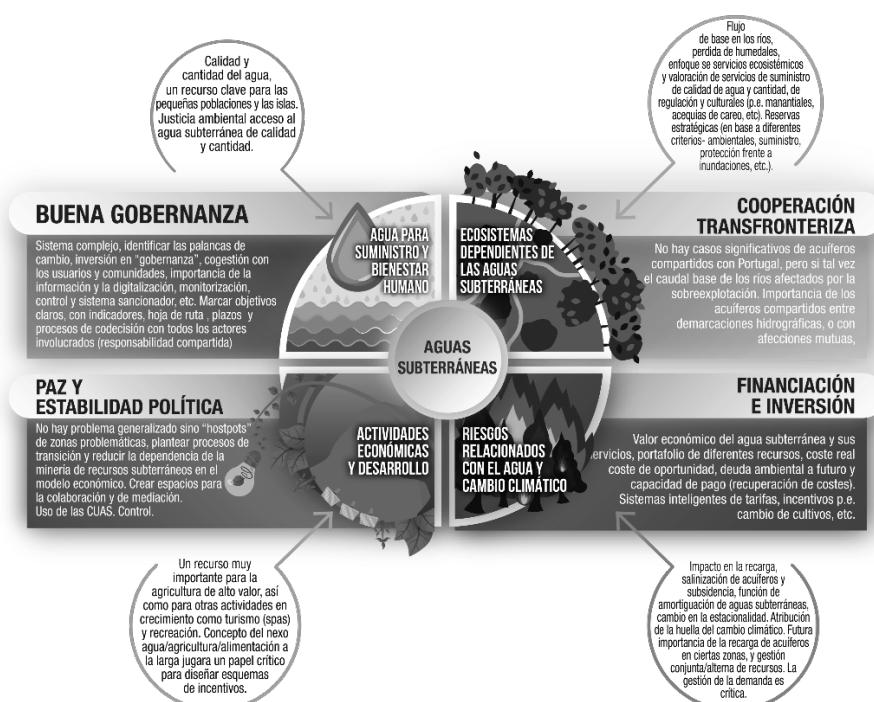


Figura 7: Concepto de Seguridad Hídrica aplicado a las aguas subterráneas en España-- resumen de resultados (elaboración propia)

Primero, los “problemas” de las aguas subterráneas están bien identificados y focalizados con un extenso análisis y datos por parte de la administración. Por tanto, sería importante plantear que se dediquen esfuerzos y capacidad adicionales para resolver estos “puntos calientes” de la geografía española, abordando la raíz de los problemas (y no aplicando ‘parches’ que ofrecen soluciones temporales y poco sostenibles). Esto sería esencial no solo por obligado cumplimiento de la legislación ambiental, sino porque a largo plazo este

uso intensivo con problemas asociados de cantidad y calidad incrementa el riesgo y la vulnerabilidad en la misma base que sustenta la economía de estas zonas.

Segundo, nuestro marco legal tiene instrumentos adecuados como puede ser la declaración de sobreexplotación, o la misma Directiva Marco establece objetivos ambientales que deberían alcanzarse como muy tarde en 2027. Sin embargo, en varios casos muy conocidos estas declaraciones de sobre explotación se hicieron hace ya varias décadas sin mejoras apreciables en la actualidad. Tampoco parece probable que todos los objetivos marcados por la DMA se puedan alcanzar en unos pocos años.

La dificultad en ejecutar las medidas que conlleva la declaración de sobre explotación nos indica otra serie de instrumentos (o palancas) adicionales necesarios. Por ejemplo, se debería identificar en qué casos, como pueden ser áreas de la Demarcación del Júcar (Estrela, 2019), de la Cuenca Alta del Guadiana, o de las cuencas andaluzas, hay problemas estructurales de sobre concesionamientos de agua subterránea considerando los recursos disponibles. Esto es más importante aún en un contexto de cambio climático donde es más que probable que estos recursos disminuyan. Este tema merece una discusión clara y abierta en base a un diálogo entre las partes afectadas para llegar a una serie de posibles soluciones ya sean regulatorias, económicas, sociales o combinación de varios instrumentos. Aun así, la declaración de sobre explotación sigue siendo un instrumento importante. Representa un “palo” respaldado por una mejor monitorización y régimen sancionador, acompañado de “zanahorias” o incentivos, y otros instrumentos positivos como pagos por servicios ambientales, y la colaboración entre usuarios.

Tercero, los instrumentos económicos han sido poco utilizados en el contexto de las aguas subterráneas. La aplicación de precios y tasas o el establecimiento de mercados se han utilizado de forma esporádica. No se ha hecho sin embargo un análisis en profundidad sobre cómo combinar instrumentos económicos con otros regulatorios y de colaboración, como se está haciendo por ejemplo en China o India. Esto indica que hay espacio para analizar la combinación de diferentes instrumentos como palancas de cambio, incluyendo precios a través de medidas indirectas como la electricidad (13), o los cultivos mejores adaptados a la disponibilidad de agua. Sin embargo, más allá de los instrumentos

económicos, sería necesario establecer la relevancia y el peso que tiene el agua subterránea como insumo fundamental en ciertas zonas de España. Este análisis también debería analizar los riesgos derivados del actual modelo de explotación muy intensivo, y también la pérdida de otros servicios ecosistémicos asociados al agua y que en el futuro tendrán aún más valor (función de mitigación, regulación, biodiversidad, valores recreativos, etc.). Es decir, se deberían incluir en este análisis todos los valores (tangibles e intangibles) que nos aporta el agua subterránea (Lopez-Gunn et al, 2020). Estos valores se tienen que reflejar en el precio del agua como la señal para que se haga un uso más inteligente en base a sus características intrínsecas. Idealmente, el precio debería reflejar tanto su valor actual como su coste de oportunidad y por supuesto la capacidad de pago del que utiliza el agua. Por ejemplo, el agua subterránea es relativamente barata con respecto al agua desalada, pero su coste de oportunidad es muy alto y más aún su valor de mitigación frente a eventos extremos como las sequías. Todos estos “valores” se tendrían que internalizar y computar para hacer una toma de decisiones adecuada. En este contexto, el uso de las reservas (o minería del agua subterránea) es el equivalente a asumir una deuda ambiental a futuro, ya que se limitarán las opciones de desarrollo socioeconómico a largo plazo, más aún en un contexto de incertidumbre con el cambio climático.

Cuarto, los instrumentos basados en la colaboración y en el buen uso de la información, son clave para el futuro en un contexto de digitalización y donde estas nuevas herramientas pueden permitir una gestión más eficiente de los recursos. Por ejemplo, herramientas gratuitas de asesoramiento para gestionar la demanda y reducir el regadío en acuíferos sobreexplotados, pueden fomentar el ahorro y la recuperación (Fernández Lop, 2019). Los casos en España donde se ha conseguido revertir hasta cierto punto el uso intensivo del agua subterránea generalmente han tenido dos factores en común: (1) la existencia de la colaboración con los que utilizan el agua para llegar a acuerdos sobre la gestión (caso del Llobregat, Mancha Oriental o Cantalpino), y (2) un buen uso de la información, tanto para hacer una mejor gestión de los recursos disponibles, como para poder sancionar y controlar usos no autorizados. Este uso además de fomentar la eficiencia, puede ser asimismo más equitativo, ya que permite un mejor control y, si fuera necesario, la aplicación del régimen sancionador. El agua subterránea es un ejemplo clásico de “bien

común” junto con los bosques o la pesca. Una gestión colectiva del recurso incluye llegar a acuerdos justos y equitativos entre las partes con una capacidad delegada de autogestión así como establecer la capacidad de penalizar y sancionar a aquellos que no cumplen las reglas para que estas acciones no minen la base de cualquier proceso colaborativo de confianza mutua.

Finalmente, es fundamental entender que dedicar recursos para mejorar el conocimiento y la gestión de las aguas subterráneas no es un coste sino una inversión para el futuro. Por tanto, es esencial dedicar fondos públicos y privados adecuados para capacitar a los usuarios y gestores, sobre todo en las zonas más críticas. Invertir en conocimiento y control es invertir en “recursos naturales” de alto valor, que nos retornará un sistema más sostenible y resiliente de las aguas subterráneas para asegurar una seguridad hídrica del país a largo plazo.

BIBLIOGRAFIA

- Baena-Ruiz, L., Pulido-Velazquez, D., Collados-Lara, A. J., Renau-Pruñonosa, A., Morell, I., Senent-Aparicio, J., and Llopis-Albert, C. (2020). Summarizing the impacts of future potential global change scenarios on seawater intrusion at the aquifer scale. *Environmental Earth Sciences*, 79(5), 1–13. <https://doi.org/10.1007/s12665-020-8847-2>.
- Borowiecka M, García-Alcaraz MM, Manzano M. (2019) Analysis of piezometric trends in the Medina del Campo Groundwater Body to understand the status and drivers of changes of groundwater-related ecosystem services. NAIAD EU Project. Proceedings of IAH2019, the 46th Annual Congress of the International Association of Hydrogeologists, Málaga (Spain). J. Jaime Gómez Hernández and Bartolomé Andreo Navarro (eds.) Electronic Ed. www.aih-ge.org; Pp: 296.
- CADC, 2017. Documento de coordinación internacional del proceso de planificación 2016-2021 en las demarcaciones hidrográficas internacionales compartidas por España y Portugal.
- Collados-Lara, A. J., Pulido-Velazquez, D., Mateos, R. M., and Ezquerro, P. (2020). Potential impacts of future climate change scenarios on ground subsidence. *Water (Switzerland)*, 12(1). <https://doi.org/10.3390/w12010219>
- Custodio, E., Llamas, M.R., Hernández-Mora, N., Martínez-Cortina, L., and Martínez-Santos, P. 2010. *Issues related to intensive groundwater use*. In: *Water policy in Spain*. Garrido, A., and Llamas, M.R. (eds.), 143- 162.
- Custodio, E. (2017) *Aspectos hidrológicos, ambientales, económicos, sociales y éticos del consumo de reservas de agua subterránea en España: minería del agua subterránea en España* CETAQUA/UPC. <https://upcommons.upc.edu/handle/2117/111272>
- Delgado A. y Tudela, A. Datadista, 2019. <https://datadista.com/medioambiente/desastre-mar-menor/acuifero-contaminado/>

- de la Hera, A., Custodio, E., and García Cortés, À. (2017). Evaluating ecosystem services and drivers of change in Spanish groundwater-related wetlands included in the Ramsar Convention. *AIMS Environmental Science*, 4(2), 232–250.
<https://doi.org/10.3934/environsci.2017.2.232>
- de la Hera-Portillo, Á. De, López-Gutiérrez, J., Zorrilla-miras, P., Mayor, B. & Lopez Gunn, E. (2020). The Ecosystem Resilience Concept Applied to Hydrogeological Systems: A General Approach. *Water* 1–19. <https://doi.org/10.3390/w12061824>
- De Stefano, L., Fornés, J.M., López-Geta, J.A., and Villarroya, F. 2014. “Groundwater use in Spain: an overview in light of the EU Water Framework Directive”. *International Journal of Water Resources Development*, 31 (4): 640-656. DOI: 10.1080/07900627.2014.938260.
- Escalante, E and Lopez Gunn, E (en prensa) Co-managed aquifer recharge: Case studies from Castilla y León (Spain) in The Role of Sound Groundwater Resources Management and Governance to Achieve Water Security, 2020 GWSI Paper Series’ on Water Security and Sustainable Development Goals by UNESCO i-WSSM and UNESCO Headquarters.
- Estrela, T. (2019) Conceptos legales y administrativos de las aguas subterráneas. El caso de la Mancha Oriental Presentación en la *Jornada sobre la sostenibilidad de las aguas subterráneas y la Directiva Marco del Agua 15/11/2019*. Coorganizado por el Observatorio del Agua de la Fundación Botín y WWF.
- FAO, Aquastat. <http://www.fao.org/nr/water/aquastat/data/query/results.html>
- FAO (2018). The benefits and risks of solar-powered irrigation - a global overview
- Fernández Lop, A. (2019) Un proyecto para optimizar la gestión de los recursos hídricos de La Mancha Presentación en la *Jornada sobre la sostenibilidad de las aguas subterráneas y la Directiva Marco del Agua 15/11/2019*. Coorganizado por el Observatorio del Agua de la Fundación Botín y WWF.
- Hermosilla Pla, J. (2008). Galerías Drenantes en España: Análisis y Selección de Qanat(s). Ministerio de Medio Ambiente. 270 pp.
- Ketzer, D., Schlyter, P., Weinberger, N., & Rösch, C. (2020). Driving and restraining forces for the implementation of the Agrophotovoltaics system technology – A system dynamics analysis. *Journal of Environmental Management*, 270(April).
<https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2020.110864>
- Octavio de Toledo, F. (2008). La planificación hidrológica y el cambio climático en el contexto transfronterizo: Los Trabajos de Planificación en los Grupos de Trabajo de la CADC; Coordinador STCADC parte española; Lisboa, 21 April 2008.
- PHN (2000) Delimitación y asignación de recursos en acuíferos compartidos Plan Hidrológico Nacional Sept.
- Revilla Cortezón, J.A. (2002) Informe sobre la documentación técnica aneja al Anteproyecto de Ley del Plan hidrológico Nacional.
- La Verdad, 2020. <https://www.laverdad.es/lospiesenlatierra/noticias/aumento-vigilancia-menor-20200911211839-nt.html>
- López Gutiérrez, J., Plata Torres, J. L., and Mejías Moreno, M. (2013). Caracterización de la divisoria hidrogeológica Guadiana-Júcar en la Llanura Manchega mediante técnicas geológicas y geofísicas. *Boletín Geológico y Minero*, 124 (3): 381-404
- López Gunn, E., Marcos, C., Vay, L., Burke, S., Giordano, R., Graveline, N., Le Coent, P. Mayor, B., Marchal, R., Moncoulon, D., Mulligan, M., Nanu, F. and Peña, K. (2020). Sistemas de aseguramiento natural: actuar antes en el ciclo de gestión del riesgo con soluciones y estrategias basadas en la naturaleza. *Consejeros* [Numero 12; Primavera 2020, pp. 1–22](#).

- Manzano Arellano, M. y Lambán Jiménez, J. (2012) Una aproximación a la evaluación de los servicios de las aguas subterráneas al ser humano en España *Ambienta*, 98 (marzo).
- Martínez Cortina, L. (2019) Las Aguas subterráneas en la planificación hidrológica Presentación en la Jornada sobre la sostenibilidad de las aguas subterráneas y la Directiva Marco del Agua 15/11/2019. Coorganizado por el Observatorio del Agua de la Fundación Botín y WWF.
- Martos Rosillo, S. et al. (2018). *Careos: siembra y cosecha de agua en la cuenca del río Bérchules (Sierra Nevada, Granada)*. Pub. IGME.
- Martos-Rosillo, S., Ruiz-Constán, A., González-Ramón, A., Mediavilla, R., Martín-Civantos, J. M., Martínez-Moreno, F. J., Jódar, J., Marín-Lechado, C., Medialdea, A., Galindo-Zaldívar, J., Pedrera, A., and Durán, J. J. (2019). The oldest managed aquifer recharge system in Europe: New insights from the Espino recharge channel (Sierra Nevada, southern Spain). *Journal of Hydrology*, 578 (August), 124047. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2019.124047>
- MITECO. (2019). *Libro Verde de la Gobernanza del Agua* (Green Book on Water Governance). Ministry for the Ecological Transition and the Demographic Challenge. <https://www.miteco.gob.es/es/agua/temas/sistema-espaniol-gestion-agua/Libro-Verde-de-la-Gobernanza-del-Agua.aspx>
- MITERD (2020). *Planes Hidrológicos y Programa de Medidas*. <https://servicio.mapama.gob.es/pphh/>
- MITERD (2020) *Informes de actualización de implementación de la Hoja de Ruta para recuperación del Mar Menor*
- Naciones Unidas (2013) *What is water security?* <https://www.unwater.org/publications/water-security-infographic/>
- Parikh, P., Diep, L., Hofmann, P., & Tomei, J. (2014). Civil, environmental and geomatic engineering 07. 44(October), 7679. <https://doi.org/10.14324/111.444/000054.v1>
- Parkinson, S., & Hunt, J. (2020). Economic Potential for Rainfed Agrivoltaics in Groundwater-Stressed Regions. *Environmental Science and Technology Letters*, 7(7), 525–531. <https://doi.org/10.1021/acs.estlett.0c00349>
- Pulido-Velázquez, D., Collados-Lara, A. J., and Alcalá, F. J. (2018). Assessing impacts of future potential climate change scenarios on aquifer recharge in continental Spain. *Journal of Hydrology*, 567, 803–819. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2017.10.077>
- Schindele, S., Trommsdorff, M., Schlaak, A., Obergfell, T., Bopp, G., Reise, C., Braun, C., Weselek, A., Bauerle, A., Högy, P., Goetzberger, A., & Weber, E. (2020). Implementation of agrophotovoltaics: Techno-economic analysis of the price-performance ratio and its policy implications. *Applied Energy*, 265(February), 114737. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2020.114737>
- Sekiyama, T., & Nagashima, A. (2019). Solar sharing for both food and clean energy production: Performance of agrivoltaic systems for corn, a typical shade-intolerant crop. *Environments - MDPI*, 6(6). <https://doi.org/10.3390/environments6060065>
- Shah, T., Rajan, A., Rai, G. P., Verma, S., & Durga, N. (2018). Solar pumps and South Asia's energy-groundwater nexus: Exploring implications and reimagining its future. *Environmental Research Letters*. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/aae53f>
- Riedel, T., & Weber, T.K. (2020). Review: The influence of global change on Europe's water cycle and groundwater recharge. *Hydrogeology Journal*, 28, 1939 - 1959.
- TRAGSA-MITERD (2019) *Plan Vertido Cero Anexo I. Diagnóstico*

-
- (1) Datos de octubre 2020 (embalses.net).
 - (2) Sobre los cálculos de recarga, en la planificación hidrológica española se introduce el término de "índice de explotación". Ese índice se calcula mediante el cociente entre el volumen de extracciones de agua subterránea y el volumen de recursos subterráneos disponibles. En la Instrucción de Planificación Hidrológica (orden ARM/2656/2008, de 10 de septiembre), en su punto 5.2.3.1. se hace referencia a este índice: "Se considerará que una masa o grupo de masas se encuentra en mal estado cuando el índice de explotación sea mayor de 0,8 y además exista una tendencia clara de disminución de los niveles piezométricos en una zona relevante de la masa de agua subterránea". Esto se reforzó porque, según la ley española, los acuíferos donde las extracciones son superiores a la recarga pueden declararse legalmente sobreexplotados (con la Ley de Aguas de 1985) y ahora bajo la DMA de la UE, como una masa de agua subterránea en mal estado.
 - (3) Actualmente, según la base de datos del MITERD, del total de masas de agua subterránea, se considera en global que 336 están en mal estado, y 425 están en buen estado (estado cuantitativo: 557 en buen estado, 185 en mal estado; estado químico: 494 en buen estado, 267 en mal estado).
 - (4) La información de esta sección se apoya en el artículo de Fornés, Lopez-Gunn y Villarroja (en preparación) *Water in Spain: paradigm changes in water policy*.
 - (5) Agradecemos a Luis Martínez Cortina del MITERD su apoyo en la preparación de este artículo. Las opiniones presentadas solo representan la visión de las autoras.
 - (6) Un sitio Ramsar es un humedal designado como de importancia internacional bajo el marco de la Convención Ramsar de 1971. www.ramsar.org/
 - (7) Para ver este concepto de esquemas de aseguramiento natural visite el proyecto europeo NAIAD (www.naiad2020.eu)
 - (8) Art. 16 bis Los acuíferos que no correspondan plenamente a ninguna demarcación en particular se incluirán en la demarcación más próxima o apropiada, pudiendo atribuirse a cada una de las demarcaciones la parte de acuífero correspondiente a su respectivo ámbito territorial, y debiendo garantizarse, en este caso, una gestión coordinada mediante las oportunas notificaciones entre demarcaciones afectadas
 - (9) Los flujos de agua subterránea de hecho se invierten, y más que un fenómeno natural, es provocado por las explotaciones. Este caso ha necesitado de una coordinación entre la Confederación del Guadiana y la Confederación del Júcar, para buscar una posible solución al cambio de flujo del régimen natural de aguas subterráneas hacia el este (hacia el Júcar) en lugar de Oeste (hacia al Guadiana), ya que para cumplir con los requisitos del buen estado cuantitativo de la DMA es necesario reducir las extracciones de agua subterránea en la cuenca vecina del Júcar debiendo garantizarse una gestión coordinada entre demarcaciones.
 - (10) <http://www.unesco.org/new/en/natural-sciences/environment/ecological-sciences/biosphere-reserves/europe-north-america/spain/donana>
 - (11) <https://www.salamanca24horas.com/texto-diario/mostrar/1294786/cantalpino-sumara-otras-39-comunidades-regantes-20-miembros-region>
 - (12) IWRA Online conference 28-30th October 2020 (<https://www.iwra.org/onlineconference/>)
 - (13) Si bien con el riego solar este posible instrumento de precio vía electricidad no solamente podría desaparecer sino agravar la situación actual en ciertas zonas donde se podría plantear otros modelos como por ejemplo sistemas agrifotovoltaicos que general tanto productos agrícolas como energía renovable.