

(Editores)
Rodrigo Álvarez García
Almudena Ordóñez Alonso

RECURSOS MINERALES Y MEDIOAMBIENTE: UNA HERENCIA QUE GESTIONAR Y UN FUTURO QUE CONSTRUIR

LIBRO JUBILAR
DEL PROFESOR
JORGE LOREDO



Universidad de Oviedo
Universidá d'Uviéu
University of Oviedo

2020

UNIVERSIDAD DE OVIEDO

HOMENAJES

Rodrigo Álvarez García
Almudena Ordóñez Alonso
(editores)

*Recursos minerales y
medioambiente: una herencia
que gestionar y un futuro
que construir*

LIBRO JUBILAR
DEL PROFESOR
JORGE LOREDO



Universidad de Oviedo
Universidá d'Uviéu
University of Oviedo

2020



Reconocimiento-No Comercial-Sin Obra Derivada (by-nc-nd): No se permite un uso comercial de la obra original ni la generación de obras derivadas.



Usted es libre de copiar, distribuir y comunicar públicamente la obra, bajo las condiciones siguientes:



Reconocimiento – Debe reconocer los créditos de la obra de la manera especificada por el licenciador:

Álvarez García, Rodrigo; Ordoñez Alonso, Almudena (editores). (2020). *Recursos minerales y medioambiente: una herencia que gestionar y un futuro que construir. Libro jubilar del profesor Jorge Loredo*. Universidad de Oviedo.

La autoría de cualquier artículo o texto utilizado del libro deberá ser reconocida complementariamente.



No comercial – No puede utilizar esta obra para fines comerciales.



Sin obras derivadas – No se puede alterar, transformar o generar una obra derivada a partir de esta obra.

© 2020 Universidad de Oviedo

© Los autores

Algunos derechos reservados. Esta obra ha sido editada bajo una licencia Reconocimiento-No comercial-Sin Obra Derivada 4.0 Internacional de Creative Commons.

Se requiere autorización expresa de los titulares de los derechos para cualquier uso no expresamente previsto en dicha licencia. La ausencia de dicha autorización puede ser constitutiva de delito y está sujeta a responsabilidad.

Consulte las condiciones de la licencia en: <https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/legalcode.es>



Esta Editorial es miembro de la UNE, lo que garantiza la difusión y comercialización de sus publicaciones a nivel nacional e internacional

Servicio de Publicaciones de la Universidad de Oviedo

Edificio de Servicios - Campus de Humanidades

33011 Oviedo - Asturias

985 10 95 03 / 985 10 59 56

servipub@uniovi.es

www.publicaciones.uniovi.es

ISBN: 978-84-17445-95-9

DL AS 1451-2020



Jorge Loredo Pérez

Índice

PRÓLOGO	13
<i>Santiago García Granda, Rector de la Universidad de Oviedo</i>	

SEMBLANZA PERSONAL

Bosquejo a vuelapluma de Jorge Loredo Pérez, alumno, colega, colaborador y, sobre todo, amigo entrañable	17
<i>J. García-Iglesias.</i>	
Jorge Loredo: un compañero de viaje y un maestro de vida.....	21
<i>N. Roqueñí.</i>	
Casi un cuarto de siglo trabajando con Jorge: una experiencia de vida.	25
<i>A. Ordóñez.</i>	
Jorge Loredo: un gran hombre, un gran científico, un gran maestro y, ante todo, una gran persona.....	29
<i>M. I. Rucandío.</i>	

ARTÍCULOS CIENTÍFICO-TÉCNICOS

¿Se está gestando una nueva crisis del petróleo?.....	33
<i>I. Álvarez.</i>	
Mineralogía, textura y geoquímica de depósitos minerales y residuos mineros: una herramienta de interés en estudios de contaminación de suelos.....	45
<i>R. Álvarez, J. Álvarez-Quintana y A. Ordóñez</i>	
Drenaje ácido de minas en la Faja Pirítica Ibérica: Geoquímica, tratamiento pasivo y sus residuos en una economía circular	59
<i>C. Ayora, S. Orden, F. Macías y J. M. Nieto</i>	

Mineralogía magnética aplicada al estudio de los yacimientos; repaso sobre el magnetismo de los minerales y ejemplos de aplicación: el metasomatismo ferrífero de la dolomía encajante de las mineralizaciones Zn-Pb-Ba de La Florida e historia de los «gossans» de la Faja Pirítica Ibérica.....	71
<i>L. Barbanson y M. Essalbi</i>	
Nuevo método de cálculo de recursos y reservas minerales para cuerpos minerales de forma tabular – Aplicación al proyecto Carlés	83
<i>C. Castañón, A. Martín-Izard, I. Diego y D. Arias</i>	
Determinación de niveles de fondo y referencia de elementos traza en suelos: un enfoque metodológico avanzado	93
<i>E. Chacón, A. Callaba, P. Fernández-Canteli, F. Barrio-Parra, M. Izquierdo-Díaz y E. de Miguel</i>	
Historia de las aguas minerales y termales	105
<i>M. M. Corral, M. E. Galindo, J. Á. Díaz, C. Ontiveros y J. M. Fernández.</i>	
Mobility of Thallium and other trace elements in mine drainage waters from two carbonate-hosted Lead-Zinc ore deposits in the northeastern Italian Alps	115
<i>S. Covelli, E. Pavoni, N. Barago, F. Floreani, E. Petranich, M. Crosera, G. Adami & D. Lenaz</i>	
Comentarios heterodoxos sobre el cambio climático	129
<i>J. R. Fernández</i>	
The INCHaPA project: methodology for the study of historic quarries associated with the architectural heritage.....	141
<i>J. Fernández, E. Álvarez, J. M. Baltuille & J. Martínez</i>	
Metodologías de fraccionamiento secuencial como herramienta útil para la evaluación de la movilidad de mercurio y arsénico y su impacto en la cuenca minera de Asturias.....	153
<i>R. Fernández-Martínez, A. Ordóñez, R. Álvarez e I. Rucandio</i>	
Recursos geotérmicos en Asturias	167
<i>C. García de la Noceda</i>	
Análisis de la presencia de mercurio en diferentes compartimentos ambientales del estuario del río Nalón como consecuencia de la minería..	179
<i>E. García-Ordiales, N. Roqueñí, P. Cienfuegos, S. Covelli y L. Sanz-Prada</i>	
Contribución al conocimiento de la geología económica en la cuenca del río Esva.....	193
<i>S. González-Nistal, R. Álvarez y F. Ruíz</i>	

Escombreras asociadas a minería de sulfuros: pasivo ambiental y potencial activo económico desde una perspectiva de minería circular	205
<i>J. A. Grande, J. M. Dávila, J. C. Fortes, M. Santisteban, A. M. Sarmiento, F. Córdoba, M. Leiva, M. L. de la Torre, A. Jiménez, J. Díaz-Curiel, B. Biosca, A. T. Luís, N. Durães, E. A. Ferreira da Silva, M. J. Rivera, J. Aroba, B. Carro, J. Borrego y J. A. Morales.</i>	
Mercurio en Almadén – datos recientes (2000-2020) sobre su presencia en el medioambiente y sus implicaciones.....	219
<i>P. L. Higuera, J. M. Esbrí, E. García-Ordiales y J. D. Peco</i>	
Evaluación medioambiental temprana de riesgos a la salud, a la seguridad y al propio medioambiente por proyectos geo-energéticos	245
<i>A. Hurtado y S. Eguilior</i>	
European dimension of the social license to operate in mining.....	257
<i>K. Komnitsas</i>	
El cambio climático, las tecnologías limpias y la minería	265
<i>J. F. Llamas</i>	
Las aguas subterráneas y los acuíferos: su carácter estratégico en escasez y periodos de sequía.....	277
<i>J. Antonio López-Geta</i>	
Comportamiento del agua de mina en instalaciones geotérmicas: Análisis de un caso particular	297
<i>C. Loredó</i>	
Una tecnología para reducir las emisiones: el almacenamiento geológico de CO ₂	309
<i>R. Martínez Orío y P. Fernández-Canteli</i>	
Perspectivas sobre reducción de emisiones de mercurio originadas en la producción de energía	321
<i>M. R. Martínez Tarazona, M. A. López Antón y R. García</i>	
Almacenamiento de energía térmica y eléctrica en minas subterráneas cerradas: situación actual y balances de energía	333
<i>J. Menéndez</i>	
Contribución del yacimiento de Carlés a la mineralogía española	345
<i>M. Mesa</i>	
La descarbonización de las industrias minerales en el Principado de Asturias	357
<i>A. Olay</i>	

Notas sobre liderazgo	367
<i>J. C. Rodríguez-Ovejero</i>	
Viabilidad económica ambiental para la recuperación o reducción del consumo de agua de plantas de procesamiento de oro	377
<i>J. Soto, J. Melendez y P. Cienfuegos</i>	
La explotación minera del karst fósil en la sierra del Aramo: del Calcolítico al siglo xx	391
<i>M. Suárez</i>	

LAS AGUAS SUBTERRÁNEAS Y LOS ACUÍFEROS: SU CARÁCTER ESTRATÉGICO EN ESCASEZ Y PERIODOS DE SEQUÍA

Juan Antonio López-Geta

Dr. Ingeniero de Minas. Grupo Especializado del Agua (GEA-ANIM) y Club del Agua Subterránea (CAS)

RESUMEN

La adaptación natural de la aportación hídrica a las demandas, en muy pocas ocasiones coincide en España; para su armonización es necesario recurrir a la regulación artificial. En España la demanda de agua para usos consuntivos supera los 30000 hm³/a, llegando a la cifra de 51000 hm³/a, si se incluyen los usos no consuntivos; para atender esa demanda de forma natural solo se dispone de unos 10000 hm³/a «caudal de base». En las Cuencas Vertientes peninsulares la aportación hídrica es muy distinta de unas a otras, acompañado de una distribución muy diferente de las escorrentías superficial y subterránea. Las Cuencas vertientes peninsulares ocupan una superficie de 493999 km² (sin incluir las zonas de transición y costeras), muy desigualmente distribuida, siendo la menor la Vertiente Cantábrica con un 5%; seguida de la Mediterránea con 37% y la Atlántica con el 58% que representa más del 50% de peninsular. La aportación hídrica se sitúa entre 110000 hm³/a y 120000 hm³/a, con una distribución también muy desigualmente repartida: 17% Cantábrico, 30% Mediterránea y 53% Atlántica. Este comportamiento hídrico, muy diferente, condiciona la gestión y manejo de cada una de ellas, asegurando una garantía y sostenibilidad óptima, teniendo en cuenta el escenario de la posible incidencia que pudiera tener el Cambio Climático en esos recursos, gestión en la que tiene que participar muy activamente el agua subterránea, y la capacidad de almacenamiento de los acuíferos, estimada en 300000 hm³, y la utilización de los recursos no convencionales.

1. INTRODUCCIÓN

Recordando el concepto de *Regulación hídrica*, como la adaptación de las aportaciones hídricas a las demandas, en lugar, momento y con calidad apro-

piada a su uso, son condiciones que en pocas ocasiones coinciden en España si se observan los escenarios naturales que presentan las precipitaciones, muy irregulares en el tiempo y en su distribución territorial, con poca coincidencia con los mayores consumos de agua, como son los regadíos agrícolas y el turismo, que se producen especialmente en primavera y verano. La demanda para usos consuntivos supera los 30000 hm³/a, llegando a 51000 hm³/a, si se incluyen los usos no consuntivos (Tabla 1); para satisfacer esa demanda solo se dispone de unos 10000 hm³/a «caudal de base»; para resolver esa situación hay que recurrir a la regulación artificial: presas y embalses, en la actualidad más de 1000 y más de 1000000 de pozos, sondeos o galerías entre otros dispositivos, más unas 765 plantas desaladoras y numerosas plantas de depuración de aguas residuales. Estas condiciones e infraestructuras, en algunas situaciones de sequía, no son suficientes, provocándose falta de disponibilidad de agua y de garantía.

Tabla 1. Total de agua utilizada en España (López-Geta et al., 2008)

USOS	hm ³ /año
Abastecimiento urbano	4667
Regadío	24094
Industrial	1647
Refrigeración	4915
Producción de energía eléctrica	16000
Ganadería	342
TOTAL	51665

2. ESCENARIOS HIDROLÓGICOS. OROGRAFÍA Y PRECIPITACIONES. DIAGNÓSTICO Y PROPUESTAS

Del vínculo de las características orográficas, precipitaciones, temperaturas, etc., se produce la consecuencia obvia, que la aportación hídrica es muy desigual en cada una de las Cuencas Vertientes peninsulares, al igual que ocurre con la distribución de las escorrentías superficial y subterránea (Tabla 2) (MITECO, 2018 y 2019). La superficie de esas Cuencas es de 493999 km², sin incluir las zonas de transición y costeras, distribuida muy diferente, siendo la Vertiente Cantábrica la menor con un 5% del total, la Mediterránea con el 37% y la Atlántica con el 58%, siendo esta mayor del 50% del total de las vertientes.

Tabla 2. Superficie de las distinta Cuencas Vertientes (km²) (MITECO, 2018 y 2019)

Cantábrica		Atlántica		Mediterránea		Archipiélagos	
Cuenca	Superficie	Cuenca	Superficie	Cuenca	Superficie	Islas	Superficie
Occidental	17424	Galicia Costa	13302	M. Andaluza	17952	Baleares	4990
Oriental	5812	Miño-Sil	17567	Segura	19033	Canarias	7454
		Duero	78886	Júcar	42737	Otros Territorios	
		Tajo	55784	Ebro	85634	Ceuta	20
		Guadiana	55498	F. Cataluña	16441	Melilla	14
		Guadalquivir	57196				
		Tinto-Odiel-Piedra	4769				
		Guadalete y Barbate	5964				
Sumar	23236		288966		181797		

Ese comportamiento condiciona las alternativas para su gestión y cómo manejar los recursos renovables disponibles, y con qué garantía; con esos objetivos, analizamos los siguientes supuestos:

1.º La aportación hídrica total se estima en 119732 hm³/a, cifra muy similar a la aportada por otras fuentes, que la sitúan entre 110000 hm³/a y 120000 hm³/a; su distribución por Cuencas Vertientes es: 17% Cantábrica, 53% Atlántica y 30% Mediterránea. Esa coincidencia de cifras no se da con los valores de otras fuentes consultadas; así los datos varían de los 64545 hm³/a de escorrentía superficial y 49396 hm³/a de escorrentía subterránea (calculada: superficie cuenca x coeficiente de escorrentía de cada cuenca), a los que la sitúan en 90000 hm³/a y 30000 hm³/a respectivamente (MOPTMA-MINER, 1994; López-Geta, 2000, López-Geta *et al.*, 2008); esa desigualdad puede deberse a incluir, o no, el drenaje de las surgencias por manantiales en la escorrentía superficial, entre otros aspectos (Tabla 3).

Tabla 3. Superficie Cuencas Vertientes; Aportación hídrica; Capacidad Almacenamiento y usos (MITECO 2018 y 2019 y (*) Andreu *et al.*, 2019)

Vertiente	Aportación hídrica hm ³ /a					Capacidad hm ³	Usos hm ³ /a	
	Superficie km ²	Total	Escorrentía superficial	Escorrentía subterránea	(*)Escorrentía subterránea	Embalses	Superficial	Subterráneo
Cantábrica	23236	18958	10556	8402	5998	591	778	153
Atlántica	288966	60911	37733	23175	14068	41531	9523	2575
Mediterránea	182797	33863	14949	17719	8022	13933	10771	3332
Total	494999	119732	64548	49296	28088	56055	21072	6050

Se han elaborado unos indicadores con los datos del Segundo ciclo de los Planes hidrológicos (2015-2021), juntamente con los aportados por Andreu *et al.* (2019), para ver el estado de regulación y disponibilidad de los recursos hídricos de cada Cuenca Vertiente:

- Índice 1: aportación hídrica total/superficie de la Cuenca, que va desde los 0,82 hm³/km² en la Vertiente Cantábrica, muy superior a los 0,21 hm³/km² en la Atlántica y al mínimo Mediterráneo de 0,19 hm³/km², no existiendo relación entre superficie y aportación.
- Índice 2: capacidad embalse superficial/aportación hídrica total. En la Vertiente Cantábrica: 0,03; Atlántico: 0,68 y Mediterráneo: 0,41. Se observa la baja capacidad de embalse superficial en la Cuenca Cantábrica.
- Índice 3: uso aguas subterráneas/escorrentía subterránea. Cantábrica: 2,55%; Atlántica: 18,30% y Mediterráneo: 41,54%. Las Cuencas vertientes Cantábrica y Atlántica presentan un índice muy bajo de uso del agua subterránea.

2.º Con las peculiaridades de la distribución mensual de las precipitaciones en un año medio (periodo 1981-2011; Sevillano, 2020) y las características de las demandas, se ha analizado como se satisfacen estas y si es necesario, o no, mejorar la regulación hídrica para incrementar la disponibilidad; con esas consideraciones se han considerado tres escenarios:

PRIMER ESCENARIO. Corresponde al sector septentrional peninsular: Galicia Costa y Cuencas Cantábricas, donde las precipitaciones medias mensuales

reflejan un descenso en el periodo estival, pero muy amortiguado con respecto a las precipitaciones del resto del año (Fig. 1). Estas, en años normales, aportan agua suficiente para atender las demandas de todo el año, a pesar de la baja capacidad de regulación superficial, de 590hm³ (1,05% del total de 56055 hm³); sin embargo, su garantía puede verse afectada por escasez temporal o por sequía hidrológica. Esa situación, teniendo en cuenta los índices comentados anteriormente, puede resolverse incrementando la regulación superficial o incorporando las aguas subterráneas, estimadas estas en unos 5998 hm³/a, con un aprovechamiento mínimo de 153 hm³/a. Se observa que hay gran margen, aún descontado los caudales ambientales; además pueden utilizarse las aguas residuales y desaladas, lo que se analizará en el escenario cuarto. En el caso del Principado de Asturias, Pendás (2005) propone: «Hay acuíferos carbonatados de mucho espesor, en grandes sistemas hidrogeológicos cuya capacidad de regulación está sin aprovechar».

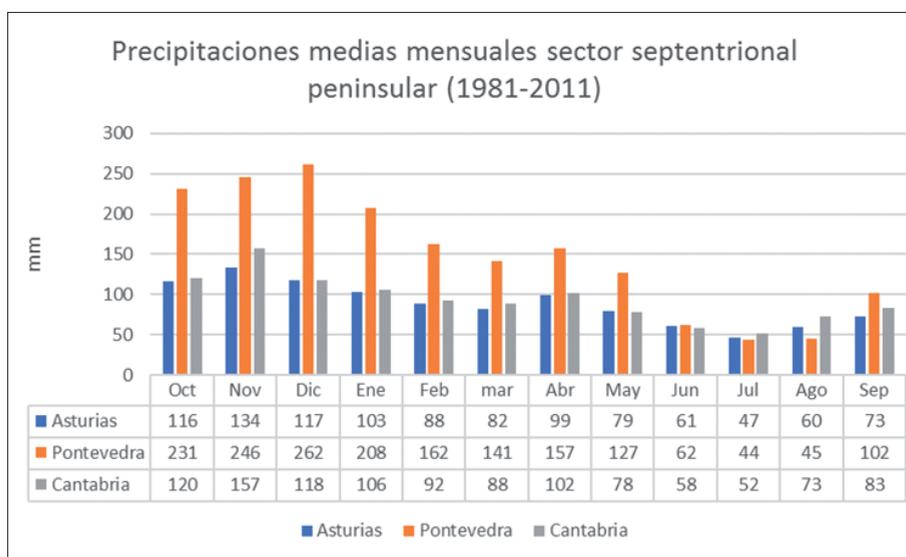


Fig. 1. Precipitaciones medias mensuales en la zona norte o septentrional peninsular (Datos: <https://www.javiersevillano.es>)

SEGUNDO ESCENARIO. En las vertientes Atlántica (excluyendo Galicia Costa para no distorsionar volumen de precipitaciones) y Mediterránea, las precipitaciones ponen de relieve un descenso muy acusado en los meses de estiaje, en los que no se superan los 5 mm (Fig. 2), que origina una aportación hídrica que no cubre la demanda muy elevada de la zona, donde se encuentran grandes superficies de regadíos (ESYRCE, 2019): Castilla-León: 465583 ha, Cataluña: 265974 ha, Valencia: 293604 ha, Andalucía: 1107324 ha y la Región de Murcia: 186788 ha. Para satisfacer esa demanda, más la urbana, se dispone de una capacidad de embalse 41531 hm³ (74% de la capacidad total de 56055 hm³) en la vertiente Atlántica y de 13933 hm³ (25% del total) en la Vertiente Mediterránea. Esta disponibilidad se completa con la extracción de

2575 hm³/a y de 3332 hm³/a de aguas subterráneas en las vertientes Atlántica y Mediterránea respectivamente, de forma que ambas suman casi el 100% del total de aprovechamientos de esta fase del ciclo.

Siguiendo con los índices calculados, la disponibilidad puede mejorarse incrementando la regulación superficial, si las condiciones medioambientales lo permiten, más el aprovechamiento de las aguas subterráneas. Como ya se ha indicado, el índice usos de aguas subterráneas/escorrentía subterránea es de 18,30% en la Vertiente Atlántica y 41,54% en la Mediterránea, lo que indica que hay un margen suficiente para incrementar su aprovechamiento sostenible. A esas alternativas se puede añadir el aprovechamiento de las aguas residuales regeneradas y las desaladas como veremos en el escenario cuarto.

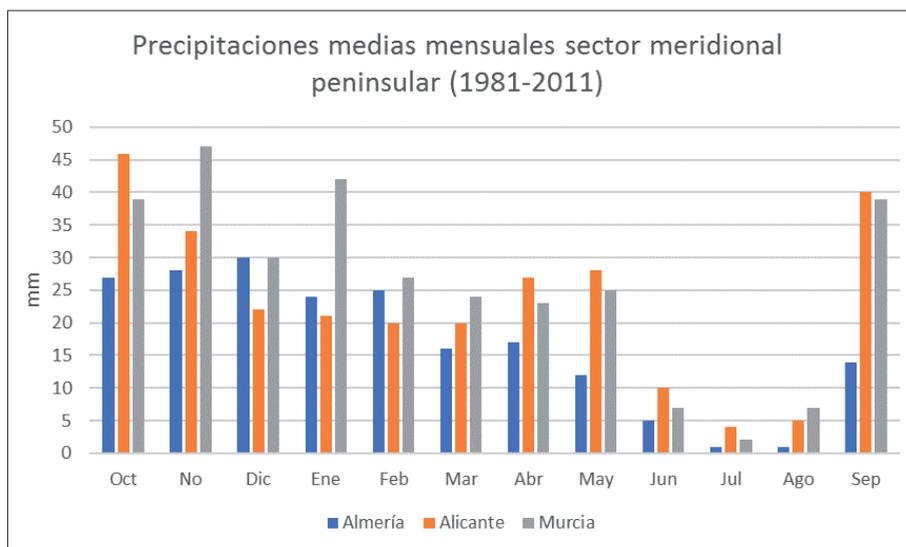


Fig. 2. Precipitaciones medias mensuales del sector meridional peninsular, donde se observa el descenso acusado en estiaje

TERCER ESCENARIO. En los archipiélagos Balear y Canario, las precipitaciones mensuales responden a un modelo muy similar al analizado en el anterior escenario, es decir, un descenso importante en primavera y verano, con mayor persistencia en Canarias (Fig. 3). En las islas, los recursos superficiales disponibles son muy escasos por las condiciones geográficas y geológicas, lo que supone un aprovechamiento muy pequeño. Las demandas se satisfacen principalmente con el aprovechamiento de aguas subterráneas, que es en Baleares de 171,22 hm³/a y en Canarias de 300,57 hm³/a más el aprovechamiento de 24,29 hm³/a de aguas residuales en Baleares y 57,42 hm³/a en Canarias, cantidades pequeñas por el momento que pueden incrementarse en el futuro dado el potencial de aguas residuales existente (el volumen de agua urbana es de 141,70 hm³/a en Baleares y de 226,86 hm³/a en Canarias) y la utilización de las aguas desaladas, que asciende a 12,83 hm³/a en Baleares y 189,72 hm³/a en Canarias; en ambos casos existen grandes posibilidades de incrementarse su uso en el futuro.

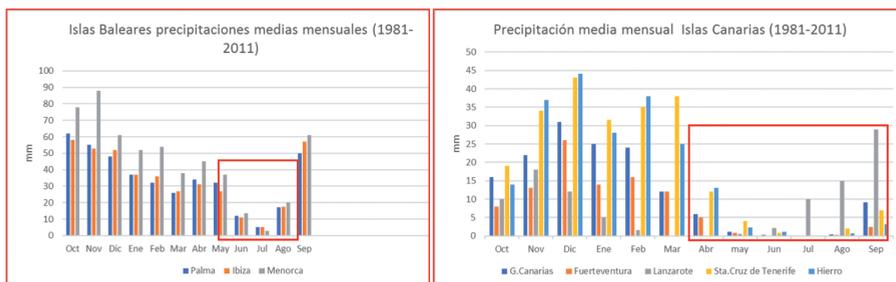


Fig. 3. Distribución de las precipitaciones: Baleares (izqda.) y Canarias (dcha.), con un periodo más amplio de menores precipitaciones

CUARTO ESCENARIO. RECURSOS NO CONVENCIONALES. La utilización de estos recursos es una realidad hoy en día; están poco aprovechados hasta el momento, pero de cara a un futuro próximo su utilización servirá para paliar ciertos déficits y mejorar la garantía de suministro de muchos lugares.

A). *Las aguas residuales depuradas* o regeneradas, en general son poco utilizadas teniendo en cuenta su potencial. En AEAS (2017) se da como capacidad de depuración de las aguas residuales de España unos 8150 hm³/a, con un volumen de agua residual tratada de 4097 hm³/a, lo que supone 103 m³/hab./día, con una reutilización media de 8,8%, con máximos en la Comunidad Valencia y en la Región de Murcia, con 44,7% y 64,7% respectivamente.

En MITECO (2019) se da la cifra de 300,28 hm³/a como volumen de agua residual reutilizada, cantidad pequeña, si se tiene en cuenta que las aguas residuales tratadas alcanzan, según AEAS (2017), los 4097 hm³/a, cifra que se asimila mucho al total del agua utilizada para abastecimiento urbano de 4940 hm³/a (MITECO, 2019), lo que pone de relieve la potencialidad de este recurso (Tabla 4).

En la *Vertiente Cantábrica*, en su parte oriental, se utilizan 3,4 hm³/año, cantidad muy pequeña comparada con el uso de agua urbana de 490 hm³/a, volumen importante; esto lleva a que pueda incrementarse su utilización, con las condiciones y ubicación geográfica que lo aconsejen.

Tabla 4. Total del uso del agua para abastecimiento urbano (MITECO, 2019)

Cuenca Vertiente	Abastecimiento urbano hm ³ /a
Cantábrico	490
Atlántica	2054
Mediterránea	1986
Baleares	164
Canarias	227
Ceuta	9
Melilla	11
TOTAL	4940

En la *Vertiente Atlántica*, el uso de agua para abastecimiento urbano asciende a 2054 hm³/a, con una reutilización de 194 hm³/a (MITECO, 2019), siendo la distribución por Cuencas de: Tajo (21,45 hm³/a), Guadiana (2,01 hm³/a), Guadalquivir (16,99 hm³/a), Guadalete-Barbate (9,84 hm³/a) y en el resto: Galicia Costa, Miño-Sil, Duero y Tinto-Odiel-Piedra, según la información disponible, no se utilizan. En general la reutilización es muy pequeña, a pesar de su potencial, al existir núcleos de población con volúmenes importantes de agua para uso urbano en las CC. AA. de Castilla y León (192 hm³/a), Madrid (418 hm³/a), Castilla-La Mancha, (150 hm³/a) o Andalucía (541 hm³/a), lo que supone ser optimista en cuanto a incrementar su utilización (INE, 2016).

En la *Vertiente Mediterránea*, el agua para abastecimiento urbano es de 1986 hm³/a, con una reutilización de unos 50,29 hm³/a (MITECO, 2019), distribuidos en las Cuencas Fluviales de Cataluña (7 hm³/a), Ebro (5 hm³/a), Júcar (74 hm³/a), Segura (86 hm³/a) y Mediterránea Andaluza (22 hm³/a), lo que refleja la mínima utilización, teniendo en cuenta el volumen de agua residuales que puede generarse en esas Comunidades tan grandes, con algunos núcleos de población como Barcelona, y su área metropolitana (con una población de 5474482 hab. con un consumo de 150 L/hab./día, supone un potencial de aguas residuales de 821 hm³/a), Valencia y su área metropolitana (con 1959084 hab. con un consumo de 165 L/hab./día, origina un volumen de aguas residuales de unos 257 hm³/a), Murcia y el área metropolitana (con 650468 hab. y un consumo de 150 L/hab./día, supone unos 98 hm³/a de aguas residuales), y Málaga y el área metropolitana (con 797523 hab. y con 150 L/hab./día supone una producción de aguas residuales de 120 hm³/a).

En *Baleares y Canarias*, la utilización de las aguas residuales es de 24,29 hm³/a y de 57, 42 hm³/a, respectivamente, volúmenes pequeños teniendo en cuenta la población de Palma de Mallorca y su área metropolitana, con 556 782 hab., y de Sa Pobla con 13026 hab., con una dotación media de 138 L/hab./día, las cuales producen un volumen de agua residuales de 79 hm³/a como mínimo, teniendo en cuenta que en estas zonas se incrementa mucho el uso del agua en la época estival, lo que supone un potencial de aguas residuales muy elevado. En Canarias, la situación es parecida con un potencial de 158 hm³/a.

B). El agua desalada es una fuente de abastecimiento de gran potencial en España, especialmente en las zonas costeras por su proximidad al recurso fuente. Hay otras fuentes como las aguas salobres disponibles en otras zonas y en el interior; su utilización puede tener ciertos condicionantes económicos para algunos usos. En la Vertiente Mediterránea y en los archipiélagos, la utilización asciende a 502,25 hm³/a, siendo su mayor utilización en la cuenca del Segura con 228 hm³/a, y en Gran Canarias, Fuerteventura y Lanzarote (Tabla 5) (MITECO, 2019).

C). Gestión de las aguas residuales y desaladas. Su aprovechamiento y gestión puede estar condicionada al no coincidir, en ocasiones, la demanda con la producción, programada esta para demandas puntas, lo que puede suponer sobrantes en otros momentos. En la actualidad se puede modular esa disponibilidad, pero con instalaciones infrautilizadas. Eso conlleva a plantearse si no es más rentable económicamente, construir menos módulos, solo los necesarios para satisfacer algo más de la demanda media, y los sobran-

tes almacenarlos en los acuíferos para extraer en momentos puntas. Es un planteamiento técnicamente sencillo, que se aplica en otros países, aunque no en España. En el caso de las aguas residuales, su producción, al ser continua, pero con demanda desigual, los sobrantes pueden almacenarse en el acuífero y extraerlos cuando se requieran (López-Geta *et al.*, 2004; Murillo y López-Geta, 2005; Ramos y Sánchez-Guzmán, 2005).

3. ESTRATEGIA DE UTILIZACIÓN DE LAS AGUAS SUBTERRÁNEAS Y DE LA CAPACIDAD DE ALMACENAMIENTO DE LOS ACUÍFEROS

El conocimiento actual de la hidrogeología española, permite el aprovechamiento de las aguas subterráneas con muchas probabilidades de éxito, dado el volumen disponible, así como su buena calidad natural en la mayoría de los acuíferos, aptas para todos los usos, y su protección natural frente a *input* de contaminantes, su fácil acceso técnico a ellas dada la gran experiencia para su captación, con un coste económico asumible, y una rentabilidad social y económica indiscutible (López-Geta, *et al.*, 2009). Con esos principios de base, variados e importantes, el uso de las aguas subterráneas y la capacidad de almacenamiento de los acuíferos, invitan a diferentes modelos alternativos:

PRIMER MODELO. SOLUCIÓN ÚNICA. Responde a aquellos casos donde las condiciones geográficas, geomorfológicas e hidrológicas, no son muy favorables para la construcción de infraestructuras de regulación superficial, pero sí lo es la explotación de las aguas subterráneas o la utilización de los acuíferos, por sus buenas condiciones técnicas, económicas y ambientales, respecto a otras alternativas posibles, con mejor garantía de sostenibilidad ante variaciones temporales de las precipitaciones, al tener unas reservas hídricas almacenadas muy importantes, que aseguran temporalmente su explotación.

Lo más habitual es aprovechar las aguas subterráneas como fuente de suministro a los núcleos urbanos; un 70% de núcleos urbanos y una parte importante del regadío, del orden de un millón de hectáreas, casi el treinta por ciento del total que supera los tres millones. La mayoría de las fuentes de información dan como volumen de agua subterránea utilizada la cifra de 7000 hm³/a distribuida el 20% en abastecimiento urbano, el 62% en agricultura, el 13% en abastecimiento industrial y el 5%, a otros usos (López-Geta *et al.*, 2008) (Tabla 5).

Tabla 5. Volumen de agua subterránea destinado al uso de diferentes actividades, 2005 (López-Geta *et al.*, 2008)

Usos	Volumen (hm ³ /a)
Abastecimiento urbano	1378,9
Regadíos	4296,7
Abastecimiento industrial	889,7
Otros usos	355,2
TOTAL	6920,5

MITECO (2019) da como total de agua utilizada de distinto origen, 6537,3 hm³/a (Tabla 6), distribuido porcentualmente en: superficial (74%), subterránea (23%), desalación (2%) y reutilización (1%). (Fig. 4).

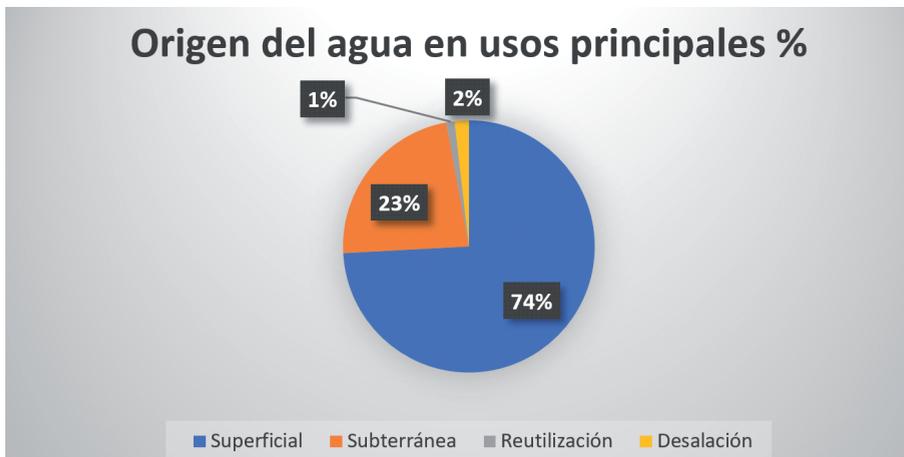


Fig. 4. Distribución porcentual del origen del agua utilizada en los diferentes usos

Las aguas subterráneas utilizadas en las Cuencas hidrográficas de la Vertiente Mediterránea peninsular alcanzan los 3178,22 hm³/a, algo más del 50 % del total uso del resto de España y casi igual al de las aguas superficiales, 3168 hm³/a; en Baleares y Canarias, es de 471,79 hm³/a, muy superior a la utilización de las aguas superficiales que es de 25,66 hm³/a (Tabla 6, Fig. 5).

En la zona costera mediterránea dominan los acuíferos detríticos, bordeados por acuíferos carbonatados, que albergan importantes recursos hídricos; esa disponibilidad de agua y las buenas condiciones climatológicas favorecen una agricultura muy rentable económicamente, con alto valor añadido (Corominas, 2000). Igualmente contribuyen al abastecimiento de núcleos urbanos importantes; un caso destacado de capital de provincia es el abastecimiento a Castellón de la Plana, totalmente suministrado con aguas subterráneas de 15 hm³/a, extraídos en 16 sondeos, con una profundidad media de 250 m, situados en el borde carbonatado de la S.^a de Javalambre, con un caudal medio de 80 L/s y específico medio por sondeo de 9 L/s/m (Rueda-Rubio, 2019).

SEGUNDO ESCENARIO. DÉFICIT ESTRUCTURAL EN EL SUMINISTRO DE AGUA. Hay núcleos urbanos, áreas de riego y zonas industriales, donde la garantía para atender sus demandas es baja; esa situación era frecuente hasta la década de los ochenta en España; la situación es amortiguada en la actualidad, pero con algunos casos más radicalizados por sus condiciones menos favorables.

El protagonismo del agua subterránea fue importante en el pasado siglo xx; por un lado, el INC-IRYDA actuó en el sector agrario con grandes éxitos, y por otro, en el abastecimiento urbano, el IGME, con resultados espectaculares, mediante el Plan Nacional de Abastecimiento Urbano (PANU), con el su-

*Tabla 6. Origen agua total utilizada en usos consultivos hm³/a (2016-2017)
(MITECO 2019)*

CUENCAS VERTIENTES	Superficial	Subterránea	Reutilización	Desalación	Transferencias
Cantábrica Oriental	98	41	3,4	0	131,32
Cantábrica Occidental	680	112	0	0	5,39
SUMA CANTÁBRICA	778	153	3,4	0	136,71
Galicia Costa	55	13	0	0	0,1
Miño-Sil	233	31	0	0	3,39
Duero	2471	776	0	0	0
Tajo	2249	228	21,45	0	2,31
Guadiana	1643	509	2,01	0	7,55
Guadalquivir	2399	928,	16,99	0	6,05
Guadalete y Barbate	352	65	9,84	0	11
Tinto-Odiel-Piedra	120	25	0	0	120,13
SUMA ATLÁNTICO		2575	50,29	0	
Mediterránea Andaluza	591	529	22	44	31
Segura	542	575	86	228	153
Júcar	1502	1469	74	5	0
Ebro	7603	325	5	0	1
Fluviales Cataluña	533	434	7	22,7	79
SUMA MEDITERRÁNEA		3332	194	299,70	
Islas Baleares	10	171,22	24,29	12,83	0
Islas Canarias					
Gran Canaria	11	54,14	12,7	77,91	0
Fuerteventura	0	0	4,23	72,89	0
Lanzarote	1,56	0	0,65	19,33	0
Tenerife	0,92	157	11,13	18,26	0
La Palma	0	80,99	0	0,001	0
Gomera	2,18	6,43	0	0,002	0
Hierro	0	2,01	28,71	1,33	0
SUMA CANARIAS	15,66	300,57	57,42	189,72	0
Ceuta	0,45	0,53	0	8,3	0
Melilla	0,47	5	0	7,27	0
SUMA TOTAL PORCENTAJE	21098,32 (72,74%)	6537,3 (22,54%)	300,28 (0,10%)	517,30 (1,78%)	550,27 (1,90%)
TOTAL PORCENTAJE					29003,47 (100%)

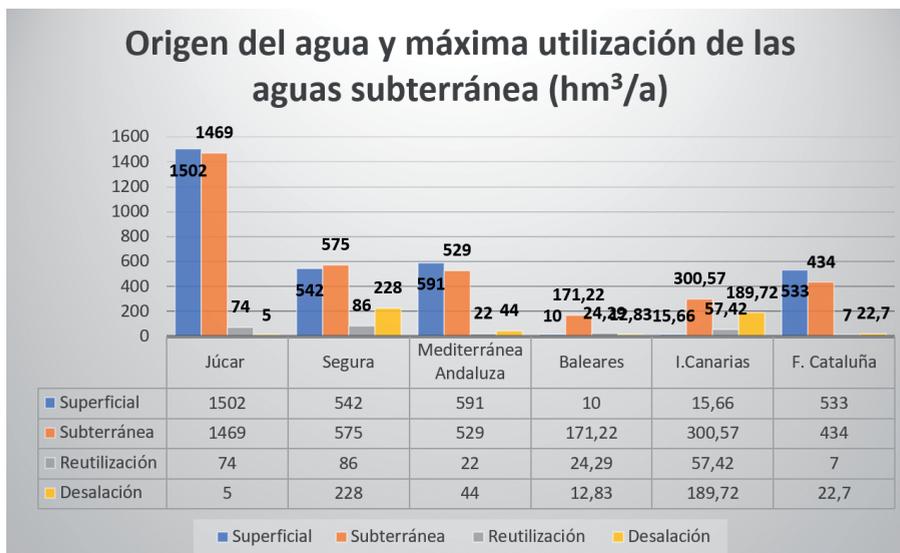


Fig. 5. Demarcaciones hidrográficas con un uso mayor del agua subterránea, y su comparación con las aguas superficiales. Destaca entre todas ellas la Cuenca hidrográfica del Júcar, con casi igual porcentaje una y otra

ministro de agua a más de 1800000 personas, y con el tiempo se superaron las 2500000 personas que no disponían de agua o que se completaron sus dotaciones, con un coste de 750 millones de pesetas (López-Geta y Fornés, 2013) (Tabla 7).

Tabla 7. Resultados del Plan nacional de Abastecimiento Urbano (PANU)

Fases	Población abastecida	Número Sondeos realizados	Metros lineales sondeados	Caudal L/s	Inversión PTA
1.ª	1119223	130	23 100	4163,85	247356000
2.ª	313456	71	10059	1347,50	149696000
3.ª	334090	227	20758	1776,00	366878000
Total	1766769	428	53917	7287,35	763930000

Esa actividad siguió en numerosas provincias, especialmente en aquellas con mayor potencial de aguas subterráneas, realizando numerosos sondeos en provincias como Alicante, Albacete, Castellón, Murcia, Cuenca, Sevilla, Huelva, Granada, Jaén, Cádiz, Salamanca y León, entre otras (López-Geta y Fornés, 2013). Pendás (2005) propone que en Asturias se utilicen los acuíferos Devónicos y Carboníferos, como alternativa a los embalses y presas propuestas de Caleao, San Julián y San Isidro para el abastecimiento de la zona Central asturiana y Alto Aller, e igualmente aprovechar el acuífero de Gijón-Villaviciosa, con unos recursos de 1000 hm³.

TERCER ESCENARIO. SITUACIONES DE EMERGENCIA Y PERIODOS DE SEQUÍAS. Las aguas subterráneas no solo son fuente de suministro habitual, sino que en periodo de sequía están consideradas como un recurso estratégico. Estas han sido y seguirán siendo utilizadas en los periodos de sequía que se repetirán con cierta frecuencia y que se agudizarán de cumplirse las previsiones del Cambio Climático. Su papel, por poner un ejemplo, puede ser la sequía de 1992-1995, en la que se actuaron en numerosos lugares como en Granada capital (250000 hab.), con un consumo de 36,7 hm³/a, procedente de los embalses de Quetar y Canales. En esa sequía se construyó una batería de sondeos (14) en el acuífero de la Vega de Granada con una extracción para cubrir el déficit existente de 1,6 hm³/a. En esa misma sequía se actuó en la Bahía de Cádiz, donde se produjeron restricciones de casi 24 horas. Para subsanarlo se actuó en los acuíferos de la S.^a de las Cabras, Sotillos, Arcos-Bornos o San Cristóbal, con una aportación al sistema que llegó al 100% en 1995 (Martín-Machuca, 2000). Las actuaciones del SGOP se centraron en la Costa del Sol y Campo de Gibraltar, con 25 sondeos, con un caudal aforado de 7103 L/s; en Jaén, con 350 L/s, y en la C. del Júcar con 60 sondeos, y un aforo de 300 L/s (Santafé, 2000).

Siguiendo la legislación *ad hoc*, las CC. HH. han desarrollado Planes de Sequía, como en las Cuencas del Segura y Júcar entre otras. El Segura dispone de Baterías Estratégicas de Sondeos (BES) en los acuíferos del Medio y Bajo Segura, y en el Anticlinal de Calasparra. La BES del Medio y Bajo del Segura tiene doble objetivo: incrementar la disponibilidad de recursos hídricos y cumplir una función ambiental al utilizar el río Segura como red de transporte del agua extraída, para mantener los caudales ecológicos, su flora y fauna en cauce y ribera, y consta de 25 sondeos. En la sequía de 2018, de la Vega Media se extrajeron 11,94 hm³, destinados 7,69 hm³ al vertido al río y 4,25 hm³ a las acequias (Urrea Mallebrera, 2019) (Fig. 6).

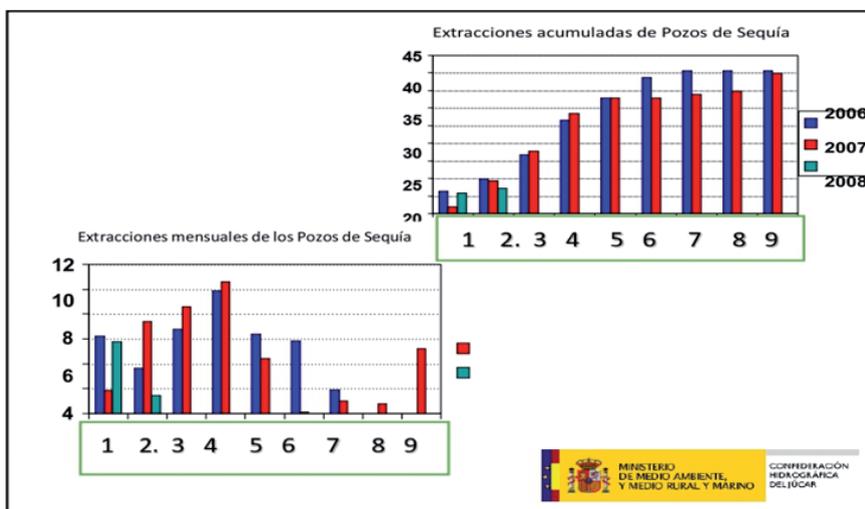


Fig. 6. Extracciones (izda.) y extracciones acumuladas (dcha.) en los años 2007, 2008 y 2009 (1: inicio-mayo; 2: junio; 3: julio; 4: agosto; 5: septiembre; 6: octubre; 7: noviembre-diciembre; 8: enero-febrero; 9: marzo-abril)

La BES del acuífero Anticlinal de Calasparra consta de 9 pozos, que permiten la extracción 31,9 hm³/a, que pueden verterse al Sistema Global de Explotaciones; en el periodo de 4 de abril a 21 de diciembre 2018 se explotaron de 18,41 hm³. En Júcar, la batería la forman 120 sondeos, que se utilizan para suministrar agua a algunas acequias, como Real del Júcar, Escalona, Carcaixent, Mayor de la Villa y Honor de Corbera, Sociedad de riegos de Culera y C. R. del Canal Júcar-Turía, a las que han suministrado en algunos meses más de 10 hm³/ mes, con una extracción acumulada de más de 40 hm³.

CUARTO ESCENARIO. UTILIZACIÓN PLANIFICADA DE LAS RESERVAS HÍDRICAS ALMACENADAS EN LOS ACUÍFEROS. El sistema opera en dos fases: la primera consiste en la explotación temporal de las reservas hídricas, con el consiguiente descenso de los niveles piezométricos; y la segunda, una vez finalizado el periodo de sequía, se procede a la recuperación del acuífero y niveles piezométricos aprovechando los periodos de lluvia más abundantes, juntamente con la recarga artificial de recursos excedentarios, si están disponibles. Esta tecnología está contrastada, conociéndose que el volumen de reservas de los acuíferos está estimado entre la cifra recogida en el libro *Las aguas subterráneas en España, presente y futuro* (ANIM, 1978), de unos de 300000 hm³ a profundidades de hasta 75 m y las del libro *Las aguas subterráneas en España. Estudio de síntesis* (ITGE, 1989), que estima las reservas, hasta los 200 m, de unos 120000 hm³. Hay cierta discrepancia entre esas estimaciones, pero lo cierto es que las reservas de los acuíferos superan la capacidad de los embalses (algo más de 50000 hm³).

Hay experiencias importantes de utilizar las reservas de las aguas subterráneas para mejorar la garantía de suministro, como en Barcelona y Madrid con sus áreas metropolitanas. En Madrid capital y entorno, el sistema suministra agua a más de 6 millones de habitantes. Para ello dispone de una capacidad de embalse de 944 hm³ (13 embalses), con varios azudes y trasvases, más 80 sondeos situados en el Campo de Torrelaguna con una producción de 9-12 hm³/a, y en el acuífero Detrítico de Madrid, con una producción de 75-90 hm³/a. La operatividad del sistema consiste en poner en funcionamiento los pozos durante el periodo de sequía, unos cuatro años como periodo más frecuente originando descenso de los niveles piezométricos, que se recuperan posteriormente en un tiempo parecido al de bombeo, hasta volver a bombear (Sánchez-Sánchez, *et al.*, 2003) (Fig. 7).

Este sistema también es operativo en Barcelona con una demanda superior a los 450 hm³ anuales. Se abastece a partir de aguas superficiales (76%) y subterráneas (24%); las aguas subterráneas contribuyen a garantizar el abastecimiento público, apoyando a los embalses de las Cuencas del Ter y Llobregat en el ámbito denominado Aguas Ter-Llobregat (Ámbito ATLL).

QUINTO ESCENARIO. EXPLOTACIÓN MINERA DE LAS RESERVAS HÍDRICAS SUBTERRÁNEAS COMO RECURSO NO RENOVABLE. Las reservas subterráneas son muy importantes como se ha comentado, variando entre 120000 hm³ y 300000 hm³, es decir entre dos y cinco veces la capacidad de embalse superficial. Esta explotación para abastecimiento urbano o regadío, origina en la mayoría de los casos importantes beneficios sociales y económicos, con un alto valor añadido. Esta operación crea descensos continuados de los niveles piezométricos, pudien-

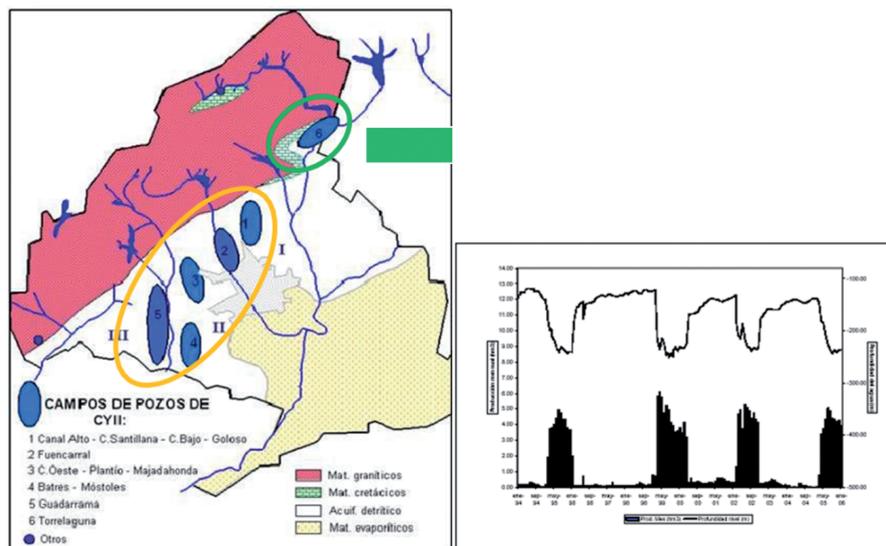


Fig. 7. Campos de sondeos en Torrelaguna y Detrítico de Madrid (izqda.); Variación de bombeos (barras) y nivel piezométrico (línea continua) (Sánchez-Sánchez *et al.*, 2003)

do afectar a los ecosistemas naturales asociados (manantiales, etc.). Su recuperación a corto, medio o largo plazo no es fácil, al ser la recarga natural muy inferior a su explotación, e incluso dejando de bombear o incorporando mediante recarga artificial recursos procedentes de otras fuentes (De la Orden, 2005; Custodio, 1986; López-Geta y Murillo, 1993).

Esos casos son numerosos en el Altiplano murciano y en el Alto y Medio Vinalopó (Alicante). En la Tabla 8 se muestran algunos ejemplos de acuíferos, cuya recuperación, aun dejando de bombear, superarían los 10 años (DGOH-ITGE, 1997; García-Aróstegui *et al.*, 2013).

Un ejemplo singular es la explotación de las reservas del acuífero de Crevillente, que dispone de un dispositivo formado por una galería Riegos de la Salud (conocida como *Galería de los Suizos*), con una longitud de 2360 m,

Tabla 8. Algunos ejemplos extraídos del catálogo de acuíferos problemas de sobreexplotación o salinización (DGOH-ITGE, 1997)

ACUÍFERO	K= Bombeo/recarga (MOPTMA-MINER, 1994)	(2) Recarga hm ³ /a	(1) Reservas vaciadas 1980-1995 hm ³	Relación (1)/(2)
Ascoy-Sopalmo	11	2	531	265
Sierra de Carrascoy	7	1	88	88
Alto Guadalentín	3,5	18-25	887	42
Mazarrón	10	3,1	161	54
Sierra de Crevillente	7,5	2	200	100
Jumilla-Villena	5,5	15-18	172	10

una anchura entre 2,5 y 3 m, una altura de 3,5 m, pendiente en torno al 1 por mil, y en su interior 13 sondeos verticales, con una capacidad de bombeo que supera los 350 L/s (Andreu *et al.*, 2000 y Andreu *et al.*, 2019); en caso de dejar de bombear su recuperación superaría los 100 años (Fig. 8).

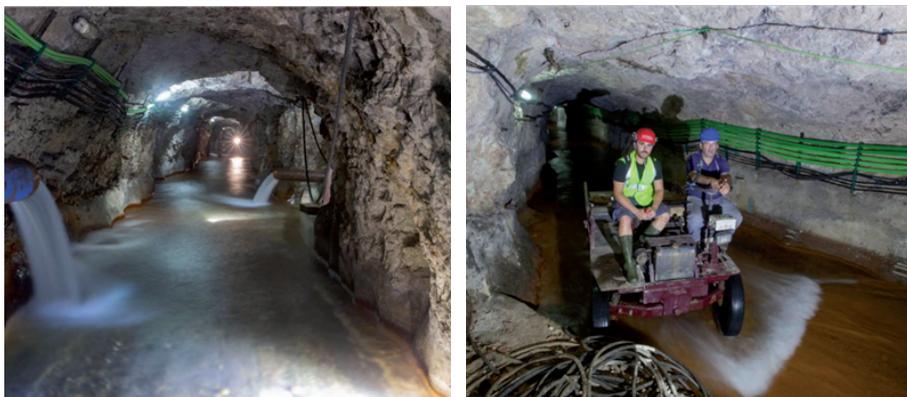


Fig. 8. Galería Los Suizos, con los sondeos bombeando en su interior para la explotación del acuífero de Crevillente (Foto: J. J. Rodes)

SEXTO ESCENARIO. EL ACUÍFERO COMO EMBALSE DE REGULACIÓN. Consiste en utilizar la capacidad de almacenamiento de los acuíferos, cuando parte esté vaciado y puedan rellenarse los huecos de las rocas con caudales externos, aprovechando momentos favorables de lluvia y de excedentes hídricos. Esta operación puede ser muy útil como ya se comentó en un apartado anterior para regular las aguas residuales y las aguas desaladas, en épocas de menos demanda.

SÉPTIMA ALTERNATIVA. APOYO AL MANTENIMIENTO DE LOS ECOSISTEMAS ACUÁTICOS. Los caudales ambientales circulantes por los ríos en ocasiones pueden disminuir, permaneciendo como máximo los «caudales base» (Rubio-Campos, 2016). En este contexto, los recursos y reservas hídricas subterráneas pueden contribuir a paliar ese problema mediante el bombeo desde sondeos estratégicamente situados en las zonas de cabecera de montaña de los ríos y su vertido directamente al cauce, consiguiendo un caudal mínimo circulante para mantener la vegetación de ribera, recargándose aguas abajo si hay algún acuífero conectado hidráulicamente (Gómez *et al.*, 2006), como se ha descrito en la Cuenca del Segura.

Algo similar se puede originar en los humedales como, los P. N. de Doñana, Tablas de Daimiel o Reserva Natural de la Laguna de Fuente Piedra, o la Albufera de Valencia, entre otros humedales.

EN EL P. N. DE DOÑANA, la inundación de las marismas puede desaparecer o disminuir al cesar las precipitaciones y las aportaciones superficiales. Esas zonas húmedas conocidas como *Lucios*, donde se desarrolla la vida acuática y la avifauna, pueden verse afectadas por esos periodos de bajas precipitaciones. Para remediar esa situación adversa, se construyeron en la Marisma, en los años 1972-1973, varios sondeos para bombear aguas salobres con el

objetivo de preservar los Lucios como el de Mari Lope, el Lobo o el Caño Travieso, y por tanto su fauna (Fig. 9).



Fig. 9. Singularidades de la Marisma: «Ojo Vetallengua en las marismas» (izqda.); Sondeo del «Lucio del Lobo» para bombeo de aguas salobres a la zona inundada (dcha.) (Fotos: C. Mediovilla)

LA RESERVA NATURAL DE LA LAGUNA DE FUENTE DE PIEDRA es otro ejemplo (López-Geta *et al.*, 2013). La laguna se seca periódicamente en su mayor parte, quedando algunas zonas inundadas en la laguna donde viven los polluelos de flamencos, hasta que puedan volar por sí mismos. Esas pequeñas zonas se mantienen bombeando aguas salobres del acuífero, desde sondeos disponibles para ese fin. La inundación puede alcanzar las 2 hectáreas (com. verbal M. Rendón) (Fig. 10).

LAS TABLAS DE DAIMIEL es un ecosistema muy sensible a la disminución de las lluvias; cuando sucede esto, se seca en gran parte, disminuyendo la avifauna y aumenta el riesgo de auto-incendio de las turberas. Para paliar esas situaciones adversas, se dispone de un dispositivo formado por 44 sondeos que pueden bombear hasta 32 hm³/a. En la sequía del periodo 2019-2020, se desecaron casi las 1750 ha del humedal, quedando reducido a unas 74 ha. Para remediar esa situación y crear zonas inundadas para mantener la flora y fauna de las Tablas, se puso en marcha el dispositivo disponible, con un bombeo de 3,5 hm³ (P Periódico *La Lanza, Diario de La Mancha*) (Fig. 10), que se alargó desde el 16 de marzo al 27 de abril de 2020, suspendiéndose los bombeos, una vez inundadas 300 ha con el apoyo de algunas lluvias primaverales.



Fig. 10. Las Tablas con zona inundada (izqda.); Laguna de Fuente de Piedra con capa de sal y zona inundada artificialmente de unas 2 ha (dcha.) (Foto M. Rendón)

4. CONCLUSIONES

Las aguas subterráneas pueden utilizarse en diversas formas y situaciones como alternativa muy favorable en situaciones de déficit estructural en el suministro de agua, de emergencia y periodos de sequías, por sus buenas condiciones técnicas, económicas y ambientales. Es un apoyo al mantenimiento de los ecosistemas acuáticos, aprovechando los recursos y reservas hídricas subterráneas. A esas alternativas se contribuye utilizando planificadamente las reservas hídricas almacenadas en los acuíferos, bien con una explotación minera de las reservas hídricas o utilizando el acuífero como embalse de regulación.

Para analizar la situación de las diferentes Vertientes, se han calculado tres indicadores, el primero expresa la relación aportación hídrica total/superficie de la Cuenca, que varía desde los 0,82 hm³/km² en la Vertiente Cantábrica, pasando por los 0,21 hm³/km² en la Atlántica y el mínimo de 0,19 hm³/km² en la Mediterránea; el segundo representa la relación entre la capacidad de embalses superficiales/aportación hídrica total, que en la Vertiente Cantábrica es de 0,03, en el Atlántico, de 0,68 y en el Mediterráneo de 0,41, observándose una baja regulación superficial en la Cuenca Cantábrica; y un tercer índice que relaciona el uso aguas subterráneas/escorrentía subterránea, que refleja la poca utilización de las aguas subterráneas en las diferentes vertientes, existiendo un margen importante para incrementar la utilización de este recurso: en la Cantábrica se utiliza el 2,55%; en la Atlántica el 18,30% y en la Mediterránea el 41,54%.

Las aguas residuales depuradas o regeneradas, son escasamente utilizadas, teniendo en cuenta su potencialidad; según la fuente de información disponible, la reutilización supone de media un 8,8%, con máxima utilización en la Comunidad Valencia y en la Región de Murcia, con 44,7% y 64,7%, respectivamente. Igualmente, las aguas desaladas, son una fuente de abastecimiento con gran potencial en España, esencialmente en las zonas costeras, por su proximidad al recurso fuente; su utilización puede estar condicionada a su coste económico para algunos usos. Para mejorar su regulación y gestión, se propone utilizar la capacidad de almacenamiento de los acuíferos.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AEAS, 2017. *Informe sobre aguas residuales en España*. Asociación Española de Abastecimiento y Saneamiento. Madrid, 24 p.
- Andreu, J.M, García, E., Pulido-Bosch, A., 2000. La explotación del acuífero de Crevillente mediante la Galería de los Suizos. *Congreso nacional de gestión del Agua en Cuencas deficitarias*, Orihuela, p. 57-62.
- Andreu, J. M, Rodes, J. J., Fernández, M., 2019. Las aguas subterráneas en España: Hacia la sostenibilidad del recurso. *Congreso nacional del Agua 2019; innovación y sostenibilidad. Temática: aguas superficiales y subterráneas*, p. 1229-1254.
- ANIM, 1978. *Las aguas subterráneas en España, presente y futuro*. Asociación Nacional de Ingenieros de Minas. Madrid, 235 p.
- Corominas, J., 2000. El papel económico de las aguas subterráneas en Andalucía. *Papeles de Aguas Subterráneas*, 8: 5-42.
- Custodio, E., 1986. *Recarga artificial de acuíferos. Avances y realizaciones*. Boletín Información y Estudios, 45. Ministerio de Obras Públicas y Urbanismo (Servicio Geológico), 134 p.

- De la Orden, J. A., 2005. La recarga artificial en el Levante español. Experiencias en un acuífero costero con problemas de sobreexplotación e intrusión marina. López Geta, J.A., Pulido, A., Baquero, J.A. (Ed.), *Agua, minería y medioambiente. Libro homenaje al profesor Fernández Rubio*. IGME, Madrid, p. 459-466.
- DGOH-ITGE, 1997. *Catálogo de acuíferos con problemas de sobreexplotación o salinización*. Ministerio de Medioambiente, Dirección General de Obras Hidráulicas / Instituto Tecnológico Geominero de España, Madrid, 43 p.
- ESYRCE, 2019. *Encuesta sobre superficies y rendimientos de cultivos*. Informe sobre regadío en España. Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación, 51 p.
- García-Aróstegui, J. L., Senent, M., Martínez, D., Aragón, R., Rodríguez, T., Solís, L., Baudron, P., Hornero, J., 2013. La sobreexplotación de acuíferos. En: Senent, M., García-Aróstegui, J. L. (Coord.), *Sobreexplotación de Acuíferos en la Cuenca del Segura: Evaluación y Perspectivas*. Instituto Mediterráneo del Agua, Murcia, p. 65-133.
- Gómez, J. D., Murillo, J. M., Navarro, J. A., 2006. Aplicación de la gestión integral de aguas superficiales y subterráneas al mantenimiento de caudales ecológicos en cursos fluviales. Sistema de la Costa del Sol Occidental. En: *Las aguas subterráneas en los países mediterráneos*. Publicaciones del IGME, Serie: Hidrogeología y Aguas Subterráneas, 17: 653-659.
- INE, 2016. Estadística de aguas potables y saneamiento en España 2008. XI Encuesta nacional, 94 p.
- ITGE, 1989. *Las aguas subterráneas en España. Estudio de Síntesis*. ITGE, Madrid, 591 p.
- López-Geta, J. A., 2000. Estrategia de utilización de las aguas subterráneas en el abastecimiento de poblaciones. En: *Jornadas técnicas sobre aguas subterráneas y abastecimiento urbano*. Instituto Geológico y Minero de España y Club del Agua Subterránea, Madrid, p. 21-31.
- López-Geta, J. A., Batlle, A., Castro, A., 2008. Estado cuantitativo de las aguas subterráneas en las comunidades autónomas de España. Hidrogeología y Recursos hídricos. *IX Simposio de Hidrogeología. Retos en la nueva planificación hidrológica*, p. 47-58.
- López-Geta, J. A., Fornés, J. M., Ramos, G., Villarroya, F. (Eds.), 2009. *Las aguas subterráneas. Un recurso natural del subsuelo*. 2.ª ed., Instituto Geológico y Minero de España y Fundación Marcelino Botín, Madrid, 94 p.
- López-Geta, J. A., Linares, L., Heredia, J., Ruiz, J. M., García de Domingo, A., Martos, S., 2013. Cuatro décadas de apoyo científico del IGME a la gestión hídrica de la Reserva Natural de la Laguna de Fuente Piedra. *X Simposio de Hidrogeología*, p. 835-848.
- López-Geta J. A., Fornés, J. M., 2013. *Cien Años de Hidrogeología en España: 1900-2000*. IGME, 831 p.
- López-Geta, J. A., Murillo, J. M., 1993. Recarga de acuíferos y reutilización de recursos. En: *Las aguas subterráneas. Importancia y perspectiva*. Instituto Tecnológico Geominero de España y Real Academia de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales, Madrid, p. 235-252.
- López-Geta, J.A., Navarro, J.A., Sesmero, K., 2004. La utilización de los embalses subterráneos en la regulación de los recursos hídricos. *Industria y Minería*, 357: 15-22.
- Martín-Machuca, M., 2000. Aguas subterráneas y abastecimiento en Andalucía. *Jornadas técnicas sobre aguas subterráneas y abastecimiento urbano*. Instituto Geológico y Minero de España y Club del Agua Subterránea, Madrid, p. 55-63.
- MITECO, 2018. Síntesis de los Planes hidrológicos españoles. Segundo ciclo de la DMA (2015-2021). Ministerio para la Transición Ecológica, 171 p.

- MITECO, 2019. Informe de seguimiento de los Planes hidrológicos de Cuenca y de los recursos hídricos en España. Estado a 2017. Ministerio para la Transición Ecológica, 161 p.
- MOPTMA-MINER, 1994. *Libro Blanco de las Aguas Subterráneas*. Ministerio de Obras Públicas, Transporte y Medioambiente y Ministerio de Industria y Energía, Madrid, 135 p.
- Murillo, J. M., López-Geta, J. A., 2005. *Gestión Integrada de recursos hídricos*. Algunas actualizaciones realizadas en España. Disponible online: www.medioambienteonline.com.
- Pendás, F., 2005. Los embalses subterráneos en la gestión del agua. *Libro de Actas de la Jornada 'El agua en Asturias'*.
- Ramos, G., Sánchez-Guzmán, J., 2005. Inyección profunda de salmuera procedente de la industria de aceituna de mesa. En: López-Geta, Rubio-Campos y Martín-Machuca (Eds.), *VI Simposio del Agua en Andalucía*. IGME, Serie: Hidrogeología y Aguas Subterráneas, 14 (Tomo II): 891-902.
- Rubio-Campos, J. C., 2016. Consideraciones sobre la importancia de la geología y la hidrogeología en la génesis y conservación de zonas húmedas, en 45 años del Convenio Ramsar: su importancia en la Conservación y gestión de humedales. Disponible online: <http://www.clubdelaguasubterranea.org/actividadesrealizadas/>
- Rueda-Rubio, B., 2019. Abastecimiento de una ciudad mediana en exclusiva subterránea: el caso de Castellón. *Jornada sobre «Estrategia de utilización de las aguas subterráneas como garantía del abastecimiento en periodos de sequía y escasez en grandes núcleos urbanos, mancomunidades y consorcios»*. Disponible online: <http://www.clubdelaguasubterranea.org/actividadesrealizadas/>
- Sánchez-Sánchez, E., Muñoz, A., Iglesias, J. A., Cabrera, E., 2003. Explotación de los acuíferos para el abastecimiento urbano de la Comunidad de Madrid: situación actual y futura. En: *El agua y la ciudad sostenible: hidrogeología urbana*. Instituto Geológico y Minero de España, Serie: Hidrogeología y aguas subterráneas, 11, p. 169-179.
- Santafé, J. M., 2000. Actuaciones de emergencia durante la pasada sequía basada en aguas subterráneas. En: *Jornadas técnicas sobre aguas subterráneas y abastecimiento urbano*. Instituto Geológico y Minero de España y Club del Agua Subterránea, p. 31-39.
- Sevillano, J., 2020. Datos mensuales de 294 estaciones meteorológicas. Disponible online: <https://javiersevillano.es/f-Clima-DatosMensuales.php>
- Urrea, M., 2019. Las aguas subterráneas en los Planes de sequía. Infraestructura y mantenimiento. Coste económico implicado. La experiencia de la Cuenca del Segura. *Jornada sobre «Estrategia de utilización de las aguas subterráneas como garantía del abastecimiento en periodos de sequía y escasez en grandes núcleos urbanos, mancomunidades y consorcios»*. Disponible online: <http://www.clubdelaguasubterranea.org/actividadesrealizadas/>