

# Geografía: Cambios, Retos y Adaptación

---

Actas del XXVIII Congreso de la  
Asociación Española de Geografía  
Logroño, 12 al 14 de septiembre de 2023



---

# Geografía: cambios, retos y adaptación

---

Editores:

José Arnáez, Purificación Ruiz-Flaño, Nuria E. Pascual-Bellido, Noemí Lana-Renault, Jorge Lorenzo-Lacruz, Adrián Díez Angulo, Natalia Martín-Hernández, Teodoro Lasanta y Estela Nadal-Romero

LIBRO DE ACTAS  
XXVIII CONGRESO DE LA ASOCIACIÓN ESPAÑOLA DE GEOGRAFÍA  
Logroño, 12 al 14 de septiembre del 2023

*Geografía: cambios, retos y adaptación*

Asociación Española de Geografía (AGE)  
Universidad de La Rioja



Todas las comunicaciones han sido sometidas a un proceso de evaluación por miembros del Consejo Científico del XXVIII Congreso de la Asociación Española de Geografía:

Gabriel Alomar Garau (Universidad de Islas Baleares), M. Pilar Alonso Logroño (Universidad de Lleida), Eugenio Baraja Rodríguez (Universidad de Valladolid), Antonio Bento Gonçalves (Universidade do Minho), Adolfo Calvo Cases (Universidad de Valencia), María Teresa Camacho Olmedo (Universidad de Granada), Rafael Cámara Artigas (Universidad de Sevilla), Erik Cammeraat (Universidad de Ámsterdam), M. Carmen Cañizares Ruiz (Universidad de Castilla-La Mancha), Francisco Cebrián Abellán (Universidad de Castilla-La Mancha), Eugenio Cejudo García (Universidad de Granada), Artemi Cerdà Bolinches (Universidad de Valencia), José María Cuadrat (Universidad de Zaragoza), Rafael de Miguel González (Universidad de Zaragoza), Severino Escolano Utrilla (Universidad de Zaragoza), Javier Esparcia Pérez (Universidad de Valencia), Cayetano Espejo Marín (Universidad de Murcia), Joaquín Farinós Dasí (Universidad de Valencia), José María Fera Toribio (Universidad Pablo Olavide), Felipe Fernández García (Universidad de Oviedo), Robert Fletcher (Universidad de Wageningen), José María García Ruiz (Instituto Pirenaico de Ecología, CSIC), Juan Carlos García Codrón (Universidad de Cantabria), José León García Rodríguez (Universidad de La Laguna), Arlinda García Coll (Universidad de Barcelona), Jacinto Garrido Velarde (Universidad de Extremadura), Isabel María Gómez Trigueros (Universidad de Alicante), José Gómez Zotano (Universidad de Granada), Amelia Gómez Villar (Universidad de León), José Carlos González Hidalgo (Universidad de Zaragoza), María José González Amuchástegui (UNED), Angela Hof (Universität Salzburg), Josep A. Ivars Baidal (Universidad de Alicante), Juan Ignacio López Moreno (Instituto Pirenaico de Ecología, CSIC), Juan Antonio Marco Molina (Universidad de Alicante), Javier Martín Vide (Universidad de Barcelona), Antonio Martínez Puche (Universidad de Alicante), José Martínez Fernández (Universidad de Salamanca), Rafael Mata Olmo (Universidad Autónoma de Madrid), José Ojeda Zújar (Universidad de Sevilla), Jorge Olcina Cantos (Universidad de Alicante), Alfredo Ollero Ojeda (Universidad de Zaragoza), David Palacios Estremera (Universidad Complutense de Madrid), M. Pilar Paneque Salgado (Universidad Pablo Olavide), Emma Pérez Chacón (Universidad de las Palmas de Gran Canaria) Fernando Pérez Cabello (Universidad de Zaragoza), María José Piñeira Mantiñan (Universidad de Santiago de Compostela), Ignacio Plaza Gutiérrez (Universidad de Salamanca), María Cruz Porcal Gonzalo (Universidad del País Vasco), Ángel Pueyo Campos (Universidad de Zaragoza), Jean-Yves Puyo (Université de Pau et des Pays de l'Adour), Joaquín Recaño Valverde (Universidad Autónoma de Barcelona), José María Redondo (Universidad de León), José Alberto Río Fernández (Universidad de Porto), Fermín Rodríguez Gutiérrez (Universidad de Oviedo), María Asunción Romero Díaz (Universidad de Murcia), José Damián Ruiz Sinoga (Universidad de Málaga), Francisca Ruiz Rodríguez (Universidad de Sevilla), Onofre Rullán Salamanca (Universidad de Islas Baleares), Roberto Serrano Notivoli (Universidad Autónoma de Madrid), Enrique Serrano Cañadas (Universidad de Valladolid), José Antonio Sotelo Navalpotro (Universidad Complutense de Madrid), Juan Manuel Trillo Santamaría (Universidad de Santiago de Compostela), Jesús Ventura Fernández (Universidad de Sevilla), Sergio M. Vicente Serrano (Instituto Pirenaico de Ecología, CSIC).

© de la edición: AGE y Universidad de La Rioja, 2023

© de los textos: los/las autores/as

© de las imágenes: los/las propietarios/as

Edita: Asociación Española de Geografía y Universidad de La Rioja

Diseño de cubierta: J. Arnáez

ISBN: 978-84-09-53925-3 (pdf)

DOI: 10.21138/CG/2023.lc

# LAS “CUENCAS DE USO DE AGUA RESIDUAL”: DEPURACIÓN, REUTILIZACIÓN Y PREVENCIÓN DE AVENIDAS EN EL CAMPO DE CARTAGENA – MAR MENOR

MIGUEL BORJA BERNABÉ-CRESPO ([id](#))<sup>1</sup>  
JORGE OLCINA-CANTOS ([id](#))<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Departamento de Geografía, Universidad Autónoma de Madrid, C/ Tomás y Valiente, 1 – Madrid 28049

<sup>2</sup>Departamento de Geografía, Universidad de Alicante, Campus de San Vicente del Raspeig s/n  
03690 Alicante

Autor de correspondencia: [miguelb.bernabe@uam.es](mailto:miguelb.bernabe@uam.es)

**Resumen.** Los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) marcados por la Agenda 2030 de la Organización de las Naciones Unidas convergen en la necesidad de efectuar un aprovechamiento integral de los recursos hídricos y extender la seguridad hídrica y sostenibilidad al conjunto de la sociedad, motivando la implantación de la denominada economía circular. Las previsiones de cambio climático y la competencia por los usos del agua en regiones con escasez hídrica hacen que sea urgente y prioritario profundizar en la gestión de las aguas residuales. El trabajo propone el término “cuenca de uso de agua residual” (sewershed) como concepto de organización en la gestión de las aguas residuales, incluyendo el tratamiento tanto las propias aguas urbanas como la escorrentía de aguas grises. Posteriormente, se analiza el grado de depuración de las EDAR seleccionadas, correspondientes a la Región de Murcia, así como los usos actuales del agua regenerada y mostrando su capacidad para implementar la reutilización potable. Por último, para la gestión de avenidas y evitar el colapso de las EDAR es necesario planificar infraestructuras en el territorio que sirvan para laminar el caudal de entrada, para lo que se presentan los tanques ambientales construidos por la Dirección General del Agua de la Comunidad Autónoma de la Región de Murcia.

**Palabras clave:** cuencas de uso de agua residual, aguas residuales, tanques ambientales, reutilización potable, prevención de avenidas, cambio climático.

## SEWERSHEDS MANAGEMENT: TREATMENT, REUSE AND FLOOD PREVENTION IN CAMPO DE CARTAGENA – MAR MENOR

**Abstract.** The Sustainable Development Goals (SDG) set by the 2030 Agenda of the United Nations Organization converge on the need to make comprehensive use of water resources and extend water security and sustainability to society, motivating the implementation of the so-called circular economy. Climate change forecasts and competition for water uses in regions with water scarcity make it urgent and a priority to deepen wastewater management. The work proposes the term sewershed as a concept of organization in the management of wastewater, including the treatment of both urban water itself and grey water runoff. Subsequently, the degree of purification of the selected Sewage Treatment Plants, corresponding to the Region of Murcia, is analyzed, as well as the current uses of reclaimed water and showing their capacity to implement potable reuse. Lastly, to manage floods and avoid the collapse of the STPs, it is necessary to plan infrastructures in the territory that serve to laminate the inflow, in this sense, we present the environmental tanks built by the General Directorate of Water of the Autonomous Community of the Region of Murcia.

**Keywords:** sewersheds, sewage, environmental tanks, potable reuse, flood prevention, climate change.

## 1. INTRODUCCIÓN

La gestión de las aguas residuales se enmarca en el paradigma de la economía circular. Esta es una pieza esencial de la estrategia de la Unión Europea de mitigación de cambio climático: el agua es un elemento fundamental del Pacto Verde Europeo 2019-2024 (EEA, 2016). A su vez, los propios Objetivos de Desarrollo Sostenible de la Organización de las Naciones Unidas convergen en la necesidad de efectuar un aprovechamiento integral de los recursos hídricos y extender la seguridad hídrica y sostenibilidad al conjunto de la sociedad. El objetivo es la reutilización total de las aguas residuales una vez han recibido un tratamiento terciario avanzado, incluyendo la ósmosis inversa, para eliminar los agentes patógenos y adecuar su salinidad. Las previsiones de cambio climático y la competencia por los usos del agua en regiones con escasez hídrica hacen que sea urgente y prioritario profundizar en la gestión de las aguas residuales.

La gestión de las aguas residuales pasa por gestionar el territorio desde un punto de vista integrado. Su interés no sólo reside en la depuración de agentes patógenos y contaminantes para el medio, lo que representa su valor ambiental, sino que constituyen un recurso de agua para el mix hídrico: actualmente, los usos de esta agua reciclada o regenerada pueden ser la agricultura, el ocio-deportivo, otros usos urbanos o servir como caudales ambientales. No obstante, la reutilización potable es un hecho en numerosas áreas del mundo, como Singapur, California, Namibia o Australia (Bernabé-Crespo *et al.*, 2022). En la Unión Europea (y en España) no se permite su reutilización potable, además de ser catalogado como el recurso hídrico menos aceptado por la sociedad (López-Ruiz *et al.*, 2021). Sus ventajas radican en el menor coste que la desalación (Cooley *et al.*, 2019), el alivio de la competencia por los usos del agua, la reducción de la sobreexplotación de los acuíferos y, sobre todo, la constancia de sus caudales, los cuales vienen determinados por el drenaje de la escorrentía tras las lluvias y el consumo de agua potable. Por ello, la reutilización potable, tanto indirecta (IPR) como directa (DPR), constituyen una de las estrategias más sostenibles y practicadas en regiones con escasez de recursos hídricos. Cabe tener presente que, en la costa mediterránea, la estacionalidad del consumo de agua potable es muy elevada y, además, la mayor afluencia de turistas coincide con la característica sequía estival. En el litoral de la Región de Murcia, de junio a octubre se produce el 75 % del consumo anual, con índices de estacionalidad en La Manga del Mar Menor superiores a 4,60 (Bernabé-Crespo *et al.*, 2022). Ello hace necesario sobredimensionar la capacidad de tratamiento de las Estaciones Depuradoras de Aguas Residuales (EDAR) a los picos de consumo. El impulso a esta tarea, que implica gestionar y ordenar el territorio, también atañe a la prevención de riesgos por avenidas e inundaciones: asegurar el correcto funcionamiento de las EDAR implica laminar las avenidas de agua y establecer infraestructuras para prevenir su colapso, lo que origina un territorio adaptado a eventos torrenciales. Esto es de vital importancia en regiones mediterráneas, siendo una de sus características la torrencialidad de las precipitaciones en sus equinoccios, acrecentadas por el cambio climático. A tal efecto, España ocupa el quinto lugar de Europa por volumen de población expuesta a las inundaciones, siendo las áreas litorales mediterráneas las más vulnerables, las que concentran mayor riesgo ante los peligros naturales (Schmidt-Thomé, 2005; Olcina, 2009; INFORM, 2020).

El Sureste de España es un área de carácter semiárido, delimitada por la isoterma de más de 16°C de temperatura media anual y la isoyeta de menos de 400 mm de precipitación total anual (Gil, 2014), cuya hidrografía está caracterizada por cursos del tipo rambla. En la gestión del abastecimiento de agua, cabe destacar el papel de la desalación, que recientemente se ha alzado como un recurso que permite lograr la seguridad hídrica (Bernabé-Crespo *et al.*, 2019; Morote, 2018; Olcina y Moltó, 2010), en un contexto donde las tensiones político-territoriales y los efectos del cambio climático han complicado los trasvases de agua intercuenas (Morote y Rico, 2018; Gil *et al.*, 2018). El reciclaje de aguas residuales es un recurso aprovechado casi en su totalidad, cuyo uso más común es la agricultura (Gil *et al.*, 2019). El abastecimiento de agua potable en el Sureste se lleva a cabo mediante una diversificación de la procedencia del recurso, además de las mejoras en el rendimiento de la red de distribución para evitar las pérdidas (Bernabé-Crespo *et al.*, 2021). Sin embargo, la transformación necesaria hacia un territorio resiliente debe acometer la adaptación al escenario de cambio climático. La competencia por los usos del agua es patente en el marco de una región con escasez, con gran importancia de la agricultura de regadío, turismo masivo de sol y playa, y el propio consumo de agua para los usos potable e industrial (Pérez *et al.*, 2014).

Este trabajo aborda los siguientes objetivos: a) se desarrolla el concepto de “cuenca de uso de agua residual” y destaca su importancia para su incorporación en la planificación hidrológica; b) se examina la depuración de las aguas residuales en el ámbito del Campo de Cartagena – Mar Menor; y c) por último,

enfatisa en la necesidad de gestionar las aguas pluviales, tanto para su posterior aprovechamiento como para prevenir el colapso de las infraestructuras de saneamiento y depuración. La gestión presente y futura del agua en espacios geográficos con déficit estructural de recursos debe apostar por incorporar aguas inicialmente no previstas en el ciclo de abastecimiento, pero que permiten garantizar diferentes usos del agua, ante la realidad de la disminución e irregularidad de las precipitaciones que ya se manifiesta en el sureste peninsular. Además, las previsiones de cambio climático abundan en esta situación y ponen en riesgo el sistema de gestión hídrica establecido.

## 2. RESULTADOS

### 2.1. El concepto de “cuenca de uso de agua residual”

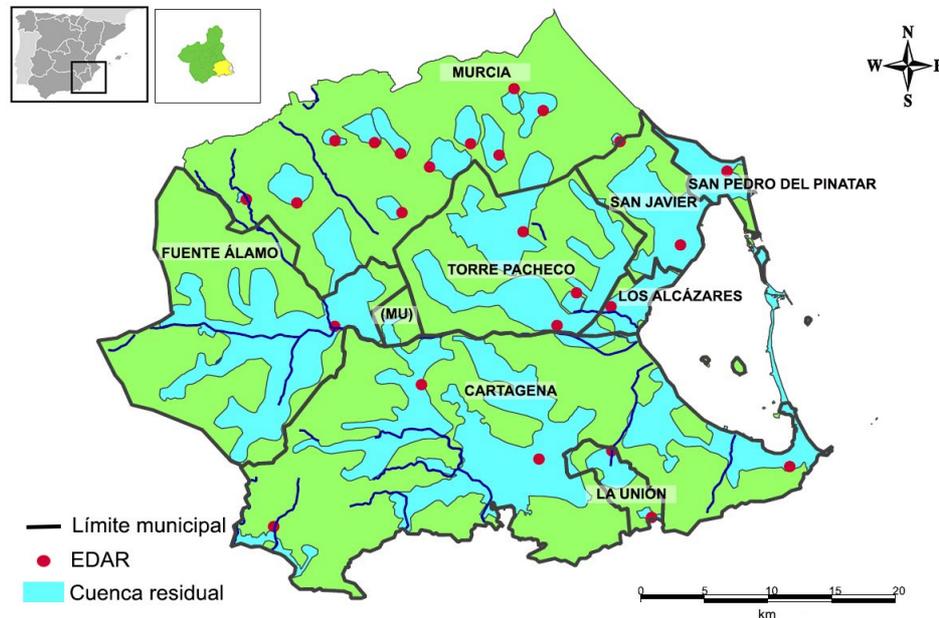
Las aguas residuales revisten una importancia estratégica en la adaptación al cambio climático y la conformación de territorios resilientes. Su ámbito de gestión debe incluirse dentro de la planificación hidrológica y dentro del ámbito de actuación en la tradicional cuenca hidrográfica (Harris-Lovett y Sedlak, 2020), por lo que surge el término “cuenca de uso de agua residual” o *sewershed* en inglés (proveniente de *watershed*, cuenca hidrográfica, y *sewer*, alcantarillado). Este es un concepto de organización en la gestión de las aguas residuales, definido por Bernabé-Crespo, Olcina y Lahora (2022) como toda el área que vierte a una misma EDAR, es decir, el territorio de actuación de una EDAR que viene delimitado por su red de alcantarillado e infraestructura de captación y tratamiento, y que es equivalente a la delimitación de “aglomeración urbana” como dispone la Directiva 91/271. El concepto de “cuenca de uso de agua residual” tiene en cuenta, por tanto, los caudales de aguas residuales, aguas pluviales y la gestión de avenidas, ya que en función de las escorrentías en esa cuenca vertiente se planificará la capacidad de la EDAR, los tipos de tratamiento, y dónde situar los depósitos (incluyendo los tanques ambientales) en previsión de eventos de precipitación torrencial. Un ejemplo de la delimitación de las “cuencas de uso de agua residual” puede verse en la Figura 1, para el caso de la comarca del Campo de Cartagena – Mar Menor.

La utilidad de este concepto se manifiesta, por ejemplo, en la posibilidad de emprender proyectos de reutilización potable. Según la legislación vigente, el agua potable está sujeta a la Directiva 98/83/CE del Consejo, de 3 de noviembre de 1998, relativa a la calidad de las aguas destinadas al consumo humano y sus posteriores actualizaciones. En España, regulada por el Real Decreto 902/2018, de 20 de julio, que modifica al Real Decreto 140/2003, de 7 de febrero, por el que se establecen los criterios sanitarios de la calidad del agua de consumo humano. En España, el uso de aguas depuradas para el consumo humano está prohibida por el Real Decreto 1620/2007, salvo situaciones de declaración de catástrofe. Por su parte, las aguas residuales deben cumplir los criterios de calidad fijados ese mismo Real Decreto 1620/2007 y en el Reglamento Europeo 2020/741 para su aplicación en el riego agrícola. Los diferentes planes nacionales sectoriales en materia de saneamiento, depuración y calidad de las aguas han tratado desde 1995 lograr el cumplimiento de las normativas, asegurando la calidad de las aguas, el vertido cero en zonas costeras, el fomento de la reutilización de aguas regeneradas para el uso agrícola, ambiental, recreativo, industrial y urbano, e informar, sensibilizar y concienciar sobre los beneficios de la reutilización de agua regenerada (Melgarejo-Moreno y López-Ortiz, 2016).

A pesar de la prohibición expresa de la reutilización potable en España, cabe destacar que tal restricción depende de la legislación y de la sensibilidad social y su representación y voluntad política, manifestando como mayor reticencia el denominado “yuck factor”, el rechazo instintivo a lo desconocido, temible o desagradable (Schmidt, 2008). Esta situación puede ser superada por la sociedad y aceptada, tras experiencias piloto, campañas de concienciación y voluntad política, como demuestran estudios de percepción (Aitken *et al.*, 2014; Dolnicar *et al.*, 2011; García-Cuerva *et al.*, 2016; Harris-Lovett *et al.*, 2015; Hartley, 2006; Rice *et al.*, 2016). Aunque actualmente el uso mayoritario del agua reciclada es la aplicación en agricultura, Leverenz *et al.* (2011) sostienen que la situación cambie debido al proceso de incremento de concentración urbana, especialmente en áreas costeras. Además, también cabe considerar la reutilización indirecta “de facto”, vertidos de agua regenerada al cauce de un río, que son captados como recurso de abastecimiento aguas abajo. Por todo ello, es necesario emprender una mayor protección de las cuencas de uso de agua residual, aumentando la vigilancia, monitoreo y regulación de los vertidos al alcantarillado. En este sentido, ESAMUR (la Entidad de Saneamiento de la Región de Murcia), realizar un control a tiempo real de los contaminantes químicos para identificar un vertido incontrolado de manera rápida y eficaz. En definitiva, se trata de que el caudal que llega a una EDAR sea seguro, y que los

emplazamientos cuyos vertidos sean de naturaleza más contaminante, como complejos industriales, cuenten con su propia EDAR.

Figura 1. EDAR y sus cuencas de uso de agua residual en la comarca del Campo de Cartagena – Mar Menor.



Fuente: Bernabé-Crespo, Olcina y Lahora (2022).

Por último, cabe destacar que la actual tecnología hace posible cumplir con unos altos índices de calidad en las aguas recicladas. La Directiva 91/271 dicta que, para el vertido de aguas residuales urbanas a zonas “normales”, se deben cumplir los parámetros de:

- Demanda bioquímica de oxígeno (DBO5 a 20°C sin nitrificación), en una concentración de 25 mg/l O2, o un porcentaje mínimo de reducción del 70-90 %.
- Demanda química de oxígeno (DQO), en una concentración de 125 mg/l O2 o un porcentaje mínimo de reducción del 75 %.
- Total de sólidos en suspensión (SS), en una concentración de 35 mg/l (cuando el caudal de entrada es de más de 10 000 e-h<sup>1</sup>; si es entre 2 000 – 10 000 e-h, la concentración es de 60 mg/l) o un porcentaje mínimo de reducción del 90 %.

Además, el Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico determina que para vertidos a zonas sensibles propensas a eutrofización deben cumplirse otros parámetros adicionales:

- Fósforo total (PT), en una concentración de 2 mg/l P (cuando el caudal de entrada es de 10 000 – 100 000 e-h; si es de más de 100 000 e-h la concentración es de 1 mg/l P) y un porcentaje mínimo de reducción del 80 %.
- Nitrógeno total (NT), en una concentración de 15 mg/l N (cuando el caudal de entrada es de 10 000 – 100 000 e-h; si es de más de 100 000 e-h la concentración es de 10 mg/l N), y un porcentaje mínimo de reducción del 70 %.

Estas zonas sensibles se corresponden la cartografía aprobada en la Resolución de 6 de febrero de 2019, de la Secretaría de Estado de Medio Ambiente, por la que se declaran las zonas sensibles en las cuencas intercomunitarias (MITERD, 2022). En el año 2020, el 96,88 % del total de aguas residuales tratadas en las EDAR de la Región de Murcia se reutilizaron, dejando el porcentaje marginal para vertidos

<sup>1</sup> La Directiva 91/271 define el concepto de “habitante equivalente” (e-h), como la carga orgánica biodegradable con una DBO5 de 60 g oxígeno por día. Por tanto, un número de e-h mayor que el número de habitantes censados indica una mayor carga industrial o residencial en el caso de las zonas turísticas.

a dominio público. Como ejemplo para este estudio se han considerado las EDAR de San Pedro del Pinatar, San Javier y Los Alcázares. Estas se encuentran ubicadas en las inmediaciones del Mar Menor, una laguna costera que recientemente ha sufrido un proceso de eutrofización caracterizado de desastre ecológico. Además, se sitúan en el nivel de base de la cuenca de drenaje del Campo de Cartagena, por lo que son localizaciones que también han sufrido el impacto de inundaciones motivados por las diferentes DANA. Como se aprecia en la Tabla 1, la normativa se cumple en todas ellas. Además, su cercanía al Mar Menor ha motivado que también se muestren la reducción de los parámetros relativos a las zonas sensibles, si bien es necesario precisar que las EDAR no vierten a esta laguna, ya que el agua es reutilizada para riego, y en el caso de San Javier, San Pedro del Pinatar y Mar Menor Sur, el potencial vertido se hace a través de emisarios submarinos al Mar Mediterráneo, que no es zona sensible. A pesar de ello, los valores son muy cercanos a la normativa, en el caso de la concentración de nitrógeno, algo menos en la del fósforo. Por último, cabe destacar que, en el caso de la EDAR Mar Menor Sur, el destino del efluente es su propia desaladora, y su posterior uso agrícola.

Tabla 1. Parámetros de vertido a zonas normales de las aguas residuales en EDAR seleccionadas (2019)

EDAR	e-h	DBO5 (In)	DBO5 (Ef)	DBO5 (%)	DQO (In)	DQO (Ef)	DQO (%)	SS (In)	SS (Ef)	SS (%)
Los Alcázares	21.650,82	215,08	2,42	98,88	480,50	21,33	95,56	615,92	3,83	99,38
San Pedro del Pinatar	21.806,38	177,33	2,08	98,83	392,50	17,08	95,65	197,42	2,92	98,52
San Javier	29.753,79	279,67	3,08	98,90	672,33	24,42	96,37	619,25	4,25	99,31
Mar Menor Sur	44.831,23	280,50	3,00	98,93	651,58	23,08	96,46	457,42	5,25	98,85

In: caudal de entrada. Ef: efluente. %: porcentaje de reducción. Fuente: ESAMUR (2021). Elaboración propia.

Tabla 2. Parámetros de vertido a zonas sensibles de las aguas residuales en EDAR seleccionadas (2019)

EDAR	e-h	NT (In)	NT (Ef)	NT (%)	PT (In)	PT (Ef)	PT (%)
Los Alcázares	21.650,82	54,38	4,89	91,00	7,03	1,04	85,17
San Pedro del Pinatar	21.806,38	59,90	4,82	91,96	5,75	2,03	64,78
San Javier	29.753,79	70,33	10,61	84,92	10,82	3,17	70,72
Mar Menor Sur	44.831,23	66,38	11,52	82,65	6,26	3,52	43,81

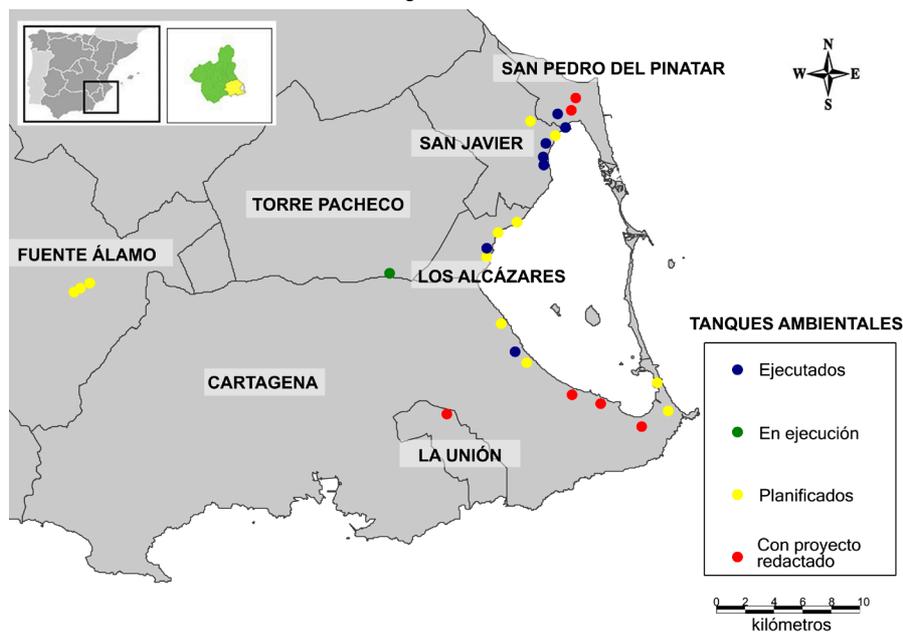
In: caudal de entrada. Ef: efluente. %: porcentaje de reducción. Fuente: ESAMUR (2021). Elaboración propia.

Otro parámetro de relevancia es la salinidad del efluente. La salinidad de las aguas depuradas puede calibrarse de acuerdo con su conductividad eléctrica, expresada en  $\mu\text{S}/\text{cm}$ . A pesar de que, en el tratamiento de las EDAR se aplica la ósmosis inversa, en las áreas costeras se detecta un deterioro de los colectores de residuales, que parecen estar afectados por la intrusión marina y el propio hálito marino los cubre de sal. En la EDAR Mar Menor Sur, la conductividad eléctrica del efluente es de  $6.822,08 \mu\text{S}/\text{cm}$ , cuyos colectores recorren La Manga del Mar Menor. En comparación, la EDAR de San Javier llega a los  $2.844,86 \mu\text{S}/\text{cm}$  (datos de 2019). Ello hace necesario que la Comunidad de Regantes Arco Sur Mar Menor haya instalado una desaladora situada adyacente a dicha EDAR, ya que una concentración superior a  $3000 \mu\text{S}/\text{cm}$  inutiliza las aguas para riego. El correcto mantenimiento de los colectores, además de revestir importancia para el correcto tratamiento de las aguas en la EDAR, minimizar posteriores procesos y facilitar las concesiones de uso en el sector agrícola, tiene consecuencias en el estado ambiental de la laguna del Mar Menor.

## 2.2. Las aguas pluviales: aprovechamiento y prevención de colapso de infraestructuras de saneamiento

Las redes de saneamiento son unitarias y recogen el agua de lluvia de las zonas urbanas, además de los caudales residuales generados. Existe una red de tanques ambientales, que hace que una parte importante de las aguas de lluvia caídas en esa cuenca de uso de agua residual sean tratadas en las EDAR y posteriormente reutilizadas. Las denominadas Descargas de los Sistemas Unitarios (DSU) son unas de las principales fuentes de contaminación de los medios receptores, y para reducir esa contaminación se han construido los comúnmente llamados “tanques de tormenta”. Según Barro *et al.* (2015), un tanque o depósito de tormenta puede definirse como “aquella infraestructura hidráulico-sanitaria destinada a optimar la gestión de los flujos de los sistemas unitarios en tiempo de lluvia mediante estrategias de regulación y tratamiento de dichos flujos”. Estas infraestructuras de regulación y tratamiento también podrían llamarse depósitos DSU (antidesbordamientos de los sistemas unitarios). La denominación “tanques ambientales” hace referencia a que estas infraestructuras cumplen un cometido ambiental: evitan que las primeras aguas, que son las más contaminadas ya que la lluvia produce un lavado del asfalto, se viertan directamente a sistemas naturales acuáticos como es el caso del Mar Menor, y se conduzcan con posterioridad a las estaciones depuradoras de aguas residuales donde, una vez descontaminada el agua, esta pueda ser objeto de aprovechamiento. Con el objetivo de reducir la peligrosidad de inundaciones urbanas, numerosas ciudades han comenzado a diseñar sistemas sostenibles para la circulación de aguas pluviales (SDUS), mediante la construcción de colectores de gran capacidad, tanques ambientales y parques inundables, a la misma vez que se incorpora la infraestructura verde (Olcina, 2020). En el área de estudio son numerosos los proyectos de construcción de tanques ambientales, como representa la Figura 2.

Figura 2. Localización de los tanques ambientales construidos y proyectados en la comarca del Campo de Cartagena – Mar Menor.



Fuente: Dirección General del Agua. Consejería de Agua, Agricultura Ganadería, Pesca y Medio Ambiente de la Comunidad Autónoma de la Región de Murcia (CARM, 2021). Elaboración propia.

Específicamente, la DGA de la CARM ha construido nueve tanques ambientales (Tabla 3), y tiene proyectados otros tres (Tabla 4).

Además de los enumerados por la CARM, existen otros planificados en el documento de protección de la laguna del Mar Menor: dos en San Javier (Atalayón-Castillico y Mirador-Dos Mares), uno en San Pedro de Pinatar (en la EDAR), tres en Los Alcázares (Telégrafos, Punta Calera y Nueva Ribera) y cuatro en Cartagena (El Carmolí, Estrella de Mar, Cubanitos y La Gola). Está planificada la construcción de dos parques inundables en San Javier (44.000 m<sup>3</sup>) y en San Pedro de Pinatar.

Tabla 3. Tanques ambientales construidos por la DGA en la CARM en el área de estudio

Municipio	Denominación	Ubicación	Volumen (m <sup>3</sup> )
Cartagena	Depósito de laminación Cabezo Beaza	EDAR Cabezo Beaza	8.000
Cartagena	Colectores de saneamiento y tanque de tormentas en Los Urrutias, Cartagena	Parque público	3.250
Cartagena	Colectores y tanque ambiental en Playa Honda, Cartagena	Parque público	8.000
Los Alcázares	Depósito de laminación de Los Alcázares en la Calle Rambla	Parque público	3.865
San Javier	Tanque de tormentas en la C/ Bernal de San Javier	Parque público	2.332
San Javier	Tanque tormentas zona sur Santiago de la Ribera (Academia). San Javier.	Parque público	3.200
San Javier	Colectores y tanque de tormentas en Av. Patrulla Águila de Santiago de la Ribera (San Javier)	Parque público	6.500
San Pedro del Pinatar	Drenaje urbano y tanque de tormentas en Lo Pagán, San Pedro del Pinatar	Parque público	3.000
San Pedro del Pinatar	Tanque de tormentas en San Pedro del Pinatar (Parque José Luis de los Ríos Martínez), San Pedro del Pinatar	Parque público	3.225

Fuente: Dirección General del Agua. Consejería de Agua, Agricultura Ganadería, Pesca y Medio Ambiente de la Comunidad Autónoma de la Región de Murcia (CARM, 2021).

Tabla 4. Tanques ambientales con proyecto redactado por la DGA en la CARM en el área de estudio

Municipio	Denominación	Ubicación	Volumen (m <sup>3</sup> )
Cartagena	Colectores y tanque ambiental en Los Nietos, Cartagena	Parque público	2.000
Cartagena	Colectores y tanque ambiental en Islas Menores/Mar de Cristal, Cartagena	Parque público	3.500
San Pedro del Pinatar	Colectores y tanque ambiental en Los Cuarteros, San Pedro del Pinatar	Parque público	10.000

Fuente: Dirección General del Agua. Consejería de Agua, Agricultura Ganadería, Pesca y Medio Ambiente de la Comunidad Autónoma de la Región de Murcia (CARM, 2021).

Por otra parte, ESAMUR está construyendo un tanque ambiental junto a la EDAR de Torre Pacheco (de 6.000 m<sup>3</sup> y una balsa de laminación de 60.000 m<sup>3</sup>), y también ha comenzado la construcción de otro tanque ambiental junto a la EDAR de La Unión, de 3.300 m<sup>3</sup>. El interés de las propias EDAR en la construcción de estos tanques ambientales en su perímetro tiene como objetivos principales reducir el riesgo de inundación mediante el control de las escorrentías y el aprovechamiento de las aguas pluviales, y regenerar y aprovechar aguas residuales (reutilización y economía circular). Paralelamente, contribuye a los objetivos más amplios de contribuir a hacer frente a sequías climáticas e hidrológicas, reducir consumos energéticos y mejorar la huella hídrica, avanzar en la adaptación (aumentar la resiliencia) y mitigar efectos del cambio climático, valorar el patrimonio material e inmaterial relacionada con escorrentías y drenajes, y cumplir con el Objetivo de Desarrollo Sostenible (ODS6) enunciado por las Naciones Unidas dentro de la Agenda 2030.

La red de tanques ambientales y otras infraestructuras de depósito de aguas grises no solo ayudan a laminar las avenidas, sino que previenen el colapso de las EDAR, tratan de aprovechar un recurso escaso y evitan la llegada de agentes altamente contaminantes a medios sensibles. Su tipología y sus condicionantes son variadas, por lo que se estima imprescindible adecuar cada actuación a un caso concreto. Por ejemplo, la experiencia en Lugo observó que un aumento del volumen específico de los tanques no suponía una mejora de cara a la eficiencia del tanque en cuanto a retención de contaminación procedente de escorrentía (Piñeiro et al., 2011). En Alicante se cuenta con varios estudios que ponen de manifiesto la importancia de revitalizar el uso de técnicas de acopio de pluviales (Hernández et al., 2016). De igual modo, es necesario advertir que la gestión de estas aguas no puede únicamente basarse en la planificación de redes de tanques ambientales, ya que debe emprenderse una planificación integral de todo

el sistema de drenaje urbano. En este sentido, la geografía y, en especial, la ordenación del territorio tiene la capacidad de tratar estas cuencas desde un criterio espacial: infraestructuras viarias, red de ramblas y ramblizos, disposición de las tierras de cultivo, etc., que condicionan la escorrentía superficial y pueden ayudar a la laminación de avenidas. Es preciso ordenar las pequeñas cuencas vertientes, revitalizando prácticas culturales como el abancalamiento de laderas subáridas (Hernández y Morales, 2013), y mantener el aterrazamiento con los ya existentes muros de piedra seca. También la derivación de aguas pluviales concentradas en cursos del tipo rambla mediante redes de boqueras, las cuales pueden conducir esas aguas turbias para asistir a secanos (riegos de alfait), para lo que es necesario emprender la rehabilitación de presas de derivación de aguas de avenida (Gil *et al.*, 2021a). Estas acciones ayudan, además, a los pequeños agricultores que pueden establecer embalses para almacenar aguas pluviales y aplicarlas al riego tras su decantación. La infraestructura verde implica, por ejemplo, la adecuación de setos o franjas de vegetación para retener arrastres y evitar pérdidas de suelo, junto a las buenas prácticas agrícolas (labrado según curvas de nivel). Del mismo modo, la presencia de depósitos o aljibes, que podrían revitalizarse y poner en práctica para ayudar en el acopio de agua pluvial, con beneficios tanto en el abastecimiento como en la disminución de la escorrentía (Gil *et al.*, 2021b).

### 3. CONCLUSIONES

Abordar la gestión de las aguas residuales es un asunto estratégico para la adaptación al cambio climático y la conformación de territorios resilientes. En una región de rasgos semiáridos donde el agua es un bien muy preciado, y distribuido irregularmente en el tiempo por la aleatoriedad de sus precipitaciones, aprovechar el recurso de forma integral, asegurar su calidad y disponibilidad, y prevenir las inundaciones y el colapso de las infraestructuras de saneamiento se antoja fundamental para la sociedad y el desarrollo regional.

Explorar la implementación de la reutilización potable en el Sureste español es una acción avanzada y pionera para adelantarse a un escenario futuro. Las redes y colectores de saneamiento recogen la escorrentía urbana y la llevan hasta las EDAR, donde estos volúmenes son reutilizados. La actual tecnología, apoyada en un consenso y compromiso social y político hacen posible alcanzar el reciclaje de casi la totalidad de los volúmenes de agua. En las EDAR reseñadas en este trabajo se ha comprobado que las instalaciones de ESAMUR cumplen con la normativa 91/271. Se constata la necesidad de aplicar, en determinados casos, tratamientos adicionales como la desalación del efluente, debido a la alta salinidad fruto de la intrusión marina.

Además, debe llevarse a cabo una correcta ordenación del territorio vertiente a las cuencas de uso de agua residual, de tal manera que se pueda extender el tratamiento de estas aguas grises en situaciones de torrencialidad y sirvan para prevenir inundaciones. La conformación de una red de infraestructuras como los tanques ambientales puede ayudar a mitigar los impactos del aumento de eventos extremos propiciados por el cambio climático, pero también es necesario considerar la disposición de la infraestructura verde y revitalizar prácticas culturales adaptadas al medio, como la gestión de aguas turbias. En definitiva, se trata de enfatizar la recolección de pluviales, un recurso local que puede emplearse en distintos usos y evitar la contaminación de espacios sensibles. En el área de estudio analizada, la capacidad de los tanques ambientales construidos por la DGA alcanza los 41.372 m<sup>3</sup>, a los que hay que sumar la capacidad de los tanques proyectados (15.500 m<sup>3</sup>). Ello da una capacidad futura total de 56.872 m<sup>3</sup> de almacenamiento de aguas pluviales, sin tener en cuenta los otros depósitos que se construirán para proteger al Mar Menor (de los cuales no se han averiguado datos), y los llevados a cabo por ESAMUR (69.300 m<sup>3</sup> adicionales).

Por último, se subraya que el concepto de cuenca de uso de agua residual tiene una gran aplicabilidad en las regiones con climas áridos y semiáridos. Extender nuevos modelos de recogida de aguas pluviales y aprovechamiento de aguas subálveas es una oportunidad que puede permitir un alivio en el estrés hídrico y también, una herramienta de descongestión necesaria para el buen funcionamiento del sistema de saneamiento, ya que ayuda a evitar el colapso de las redes e infraestructuras de depuración y reducir el riesgo de inundación.

## REFERENCIAS

- Aitken, V., Bell, S., Hills, S., Rees, L. (2014). Public acceptability of indirect potable water reuse in the south-east of England. *Water Supply*, 14 (5), 875-885. <https://doi.org/10.2166/ws.2014.051>
- Barro, J. R., Comas, P., Malgrat, P., Suárez, J., Sunyer, D. (2015). Manual nacional de recomendaciones para el diseño de tanques de tormentas. *Tecnoaqua*, 12, 70-77.
- Bernabé-Crespo, M. B., Gil, E., Gómez, J. M. (2019). Desalination and water security in Southeastern Spain. *Journal of Political Ecology*, 26 (1), 486-499. <https://doi.org/10.2458/v26i1.22911>
- Bernabé-Crespo, M. B., Gil, E., Gómez, J. M. (2022). El consumo de agua potable en los municipios turísticos del litoral de la Región de Murcia. *Cuadernos de Turismo*, 49, 289-313. <https://doi.org/10.6018/turismo.521921>
- Bernabé-Crespo, M. B., Olcina, J., Lahora, A. (2022). Examining the implementation of potable water reuse in sewersheds of Southeastern Spain. *Urban Water Journal*, 19 (6), 629-640. <https://doi.org/10.1080/1573062X.2022.2069043>
- Bernabé-Crespo, M. B., Tudela, M. L., Gómez, J. M. (2021): Gestión del abastecimiento de agua en una región semiárida: análisis del consumo de agua potable en el Campo de Cartagena – Mar Menor: 2010-2019. *Boletín de la Asociación Española de Geografía*, 88. <https://doi.org/10.21138/bage.3009>
- Cooley, H., Phurisamban, R., Gleick, P. (2019). The cost of alternative urban water supply and efficiency options in California. *Environmental Research Communications*, 1, 042001. <https://doi.org/10.1088/2515-7620/ab22ca>
- Dolnicar, S., Hurlimann, A., Grun, B. (2011). What affects public acceptance of recycled and desalinated water? *Water Research*, 45 (2), 933-943. <http://dx.doi.org/10.1016/j.watres.2010.09.030>
- EEA (2016). *Circular Economy in Europe - Developing the knowledge base*. European Environment Agency Report No. 2/2016. Retrieved from: <https://www.eea.europa.eu/publications/circular-economy-in-europe>
- García-Cuerva, L., Berglund, E. Z., Binder, A. R. (2016). Public perceptions of water shortages, conservation behaviors, and support for water reuse in the US. *Resources, Conservation and Recycling*, 113, 106-115. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2016.06.006>
- Gil, E. (2014). El Sureste peninsular. Rasgos de un medio semiárido como el de Pulpí y su entorno. En: E. Gil, P. J. García, J. M. Gómez, R. Almela (Ed.). *El dinamismo del regadío de Pulpí*, 49-72. Murcia: Comunidad de Regantes de Pulpí.
- Gil, E., Bernabé-Crespo, M. B., Gómez, J. M. (2019). Recycled sewage – A water resource for dry regions of Southeastern Spain. *Water Resources Management*, 33 (2), 725-737. <https://doi.org/10.1007/s11269-018-2136-9>
- Gil, E., Bernabé-Crespo, M. B., Gómez, J. M. (2021a). Ordenar el territorio para la adaptación al cambio climático. Recuperación de sistemas de captación, derivación y acumulación de pluviales. *Actas del XXVII Congreso de la Asociación Española de Geografía, "Geografía, cambio global y sostenibilidad", Eje temático 1*, 463-475.
- Gil, E., Bernabé-Crespo, M. B., Gómez, J. M. (2021b). Prácticas culturales de ordenación del territorio ante la crisis climática en el Sureste de la Península Ibérica. En: J. Mora Aliseda, J. Castro Serrano, J. Garrido Valverde (Coords.), *Planificación regional: paisaje y patrimonio*, 117-132. Pamplona: Thompson Reuters & Aranzadi.
- Gil, E., Martínez, R., Gómez, J. M. (2018). El trasvase Tajo-Segura (1979-2017). Actuaciones para su futuro en España. *Tecnología y Ciencias del Agua*, 9 (2), 192-209. <https://doi.org/10.24850/j-tyca-2018-02-08>
- Harris-Lovett, S., Binz, C., Sedlak, D. L., Kiparsky, M., Truffer, B. (2015). Beyond User Acceptance: A Legitimacy Framework for Potable Water Reuse in California. *Environmental Science & Technology*, 49 (13), 7552-7561. <https://doi.org/10.1021/acs.est.5b00504>
- Harris-Lovett, S., Sedlak, D. (2020). Protecting the Sewershed: New Policies and Expanded Science for the Age of Potable Water Reuse. *Science*, AAAS, 369, 1429-1430.
- Hartley, T. W. (2006). Public perception and participation in water reuse. *Desalination*, 187, 115-126. <https://doi.org/10.1016/j.desal.2005.04.072>
- Hernández, M., Morales, A. (2013). Los aprovechamientos tradicionales de las aguas turbias en los piedemontes del Sureste de la península Ibérica: Estado actual en tierras alicantinas. *Boletín de la Asociación de Geógrafos Españoles*, 63, 105-123. <https://doi.org/10.21138/bage.1608>
- Hernández, M., Saurí, D., Moltó, E. (2016). Las aguas pluviales y de tormenta: del abandono de un recurso hídrico con finalidad agrícola a su implantación como recurso no convencional en ámbitos urbanos. En:

- J. F. Vera, J. Olcina, M. Hernández (Eds.), *Paisaje, cultura territorial y vivencia de la Geografía. Libro homenaje al profesor Alfredo Morales Gil*, 1099-1120. San Vicente del Raspeig: Publicaciones de la Universidad de Alicante.
- INFORM (2020). *Shared evidence for managing crises and disasters*. INFORM Report 2020. Luxembourg: Publications Office of the European Union.
- Leverenz, H. L., Tchobanoglous, G., Asano, T. (2011). Direct potable reuse: a future imperative. *Journal of Water Reuse and Desalination*, 1 (1), 2–10. <https://doi.org/10.2166/wrd.2011.000>
- López-Ruiz, S., Moya-Fernández, P. J., García-Rubio, M. A., González-Gómez, F. (2021). Acceptance of direct potable water reuse for domestic purposes: evidence from southern Spain. *International Journal of Water Resources Development*, 37 (5), 772-792. <https://doi.org/10.1080/07900627.2020.1799762>
- Melgarejo-Moreno, J., López-Ortiz, M. I. (2016). Depuración y reutilización de aguas en España. *Agua y Territorio*, 8, 22-35. <https://doi.org/10.17561/at.v0i8.3293>
- MITERD (2022). *Zonas sensibles: Resolución 2019, intercomunitarias*. Accesible en: <https://www.miteco.gob.es/es/cartografia-y-sig/ide/descargas/agua/zonas-sensibles-inter2019.aspx>
- Morote, A. F. (2018). La desalinización. De recurso cuestionado a recurso necesario y estratégico durante situaciones de sequía para los abastecimientos en la Demarcación Hidrográfica del Segura. *Investigaciones Geográficas*, 70, 47-69. <https://doi.org/10.14198/INGEO2018.70.03>
- Morote, A. F., Rico, A. M. (2018). Perspectivas de funcionamiento del Trasvase Tajo-Segura (España): efectos de las nuevas reglas de explotación e impulso de la desalinización como recurso sustitutivo. *Boletín de la Asociación de Geógrafos Españoles*, 7). <https://doi.org/10.21138/bage.2754>
- Olcina, J. (2009). Cambio climático y riesgos climáticos en España. *Investigaciones Geográficas*, 49, 197-220. <https://doi.org/10.14198/INGEO2009.49.10>
- Olcina, J. (2020). Ordenación del territorio para la gestión del riesgo de inundaciones: propuestas. En: M. I. López-Ortiz y J. Melgarejo-Moreno (Eds.), *Riesgo de inundación en España: análisis y soluciones para la generación de territorios resilientes*, 465-475. Alicante: Universitat d'Alacant.
- Olcina, J., Moltó, E. (2010). Recursos de agua no convencionales en España: estado de la cuestión, 2010. *Investigaciones Geográficas* 51, 131-163 <https://doi.org/10.14198/INGEO2010.51.06>
- Pérez, A., Gil, E., Gómez, J. M. (2014). Las aguas residuales regeneradas como recurso para los regadíos de la demarcación hidrográfica del Segura (España). *Boletín De La Asociación De Geógrafos Españoles*, 64. <https://doi.org/10.21138/bage.1691>
- Piñeiro, J., Aguirre, F., Ures, P., Torres, D., Anta, J., Puertas, J., Suárez, J. (2011). Análisis de las DSU en un depósito de tormentas en el sistema de saneamiento integral de Lugo. *XXI Jornadas Técnicas AEAS- Cartagena* 2011.
- Rice, J., Wutich, A., White, D. D., Westerhoff, P. (2016). Comparing actual de facto wastewater reuse and its public acceptability: A three city case study. *Sustainable Cities and Society*, 27, 467-474. <https://doi.org/10.1016/j.scs.2016.06.007>
- Schmidt, C. W. (2008). The yuck factor: when disgust meets discovery. *Environmental Health Perspectives*, 116 (12), A524-A527. <https://doi.org/10.1289/ehp.116-a524>
- Schmidt-Thomé, P. (Ed.) (2005). *The spatial effects and management of natural and technological hazards in Europe*. Luxemburg: ESPON. Disponible en: [www.espon.eu](http://www.espon.eu)