

SEGURIDAD HÍDRICA



JOAQUÍN MELGAREJO MORENO
M^a INMACULADA LÓPEZ ORTIZ
PATRICIA FERNÁNDEZ ARACIL

SEGURIDAD HÍDRICA

© los autores, 2023
© de esta edición: Universitat d'Alacant
ISBN: 978-84-1302-234-5

Reservados todos los derechos. No se permite reproducir, almacenar en sistemas de recuperación de la información, ni transmitir alguna parte de esta publicación, cualquiera que sea el medio empleado -electrónico, mecánico, fotocopia, grabación, etcétera-, sin el permiso previo de los titulares de la propiedad intelectual.

TABLA DE CONTENIDO

BLOQUE I - PLANIFICACIÓN

Consideraciones ambientales con relación a la aprobación del Plan Hidrológico del Tajo de Tercer Ciclo 2022-2027 y el Traspase Tajo-Segura José Navarro Pedreño.....	19
Planificación Hidrológica: información, participación y evaluación ambiental estratégica Ángel Ruiz de Apodaca Espinosa	39
Representación espacio-temporal del riesgo de inundación a partir de las indemnizaciones del seguro de riesgos extraordinarios Francisco Espejo Gil, Urko Elozegi Gurmendi.....	59
La desalación en la estrategia de seguridad hídrica. Implicaciones económicas y ambientales Alberto del Villar García.....	73
La desalación en la provincia de Almería: garantía para el abastecimiento y el regadío Francisco Javier Alcántara Pérez	93
Mejorar la resiliencia ante las inundaciones en la Vega Baja (España). Propuesta didáctica en bachillerato Ángela del Carmen Zaragoza, Álvaro-Francisco Morote, María Hernández Hernández.....	105
Resignificando la ciudad como biotopo humano Javier Eduardo Parada Rodríguez, Liliana Romero Guzmán, Jesús Enrique De Hoyos Martínez	117
Gestión del agua y saneamiento básico en una reserva de desarrollo sostenible: comunidad de Nossa Senhora do Livramento do Tupé, Brasil Antonio Jorge Barbosa da Silva Maria Claudia da Silva Antunes de Souza	133
Proposición de una metodología para estimar la erosión del suelo en viticultura mediante ISUM (Improved Stock Unearthing Method). Un caso en el viñedo leonés Antonio Jódar-Abellán, Marta García-Fernández, Susana García-Pisabarro, Jesús Rodrigo-Comino	141
Estimación de la disponibilidad y seguridad hídrica bajo escenarios de cambio climático en una cuenca hidrológica agro-forestal del sureste de España Antonio Jódar-Abellán, Dámaris Núñez-Gómez, Efraín Carrillo-López, Ryan T. Bailey, Pablo Melgarejo	151
Determinación del umbral de escorrentía y disponibilidad hídrica de la cuenca hidrográfica del río Jubones, Ecuador Paolo Brazales Cervantes, Seyed Babak Haji Seyed Asadollah, Antonio Jódar-Abellán.....	163
Análisis del umbral de escorrentía de la cuenca del río Obispo, en la provincia del Carchi (Ecuador) Pablo David Viera Ríos, Derdour Abdessamed, Antonio Jódar-Abellán.....	175
El acuífero del Peñón (Alicante): un pequeño acuífero kárstico Víctor Sala Sala, José Miguel Andreu Rodes, Miguel Fernández Mejuto, Ernesto García Sánchez.....	185

¿Se observan cambios en la precipitación que afecten al Acuífero del Ventós (provincia de Alicante)?

José Miguel Andreu Rodes, Igor Gómez Domenech, Miguel Fernández-Mejuto, Juan Bellot Abad197

Revisión de las políticas de modernización de regadíos en la Comunidad Valenciana. La estrategia valenciana de regadíos 2020-2040

David Sancho-Vila, Marta García-Mollá207

El impacto del proyecto europeo ARSINOE en la gestión del acuífero de la isla de El Hierro (Canarias)

Juan C. Santamarta, Noelia Cruz-Pérez, Joselin S. Rodríguez-Alcántara, Alejandro García-Gil, Miguel Á. Marazuela, Carlos Baquedano, Jesica Rodríguez Martín, Luis Fernando Martín Rodríguez 219

BLOQUE II - INFRAESTRUCTURAS

Reutilización de aguas regeneradas en la cuenca del seguro. Adaptación al reglamento (UE) 2020/741: retos y oportunidades

Sonia M. Hernández López, José Carlos González Martínez231

Caracterización hidrológica de los caudales ecológicos mínimos en España

Luis Garrote de Marcos 249

Sobrevvertido en presas de hormigón. Evaluación de las acciones hidrodinámicas

Luis G. Castillo Elsitdié, José M. Carrillo Sánchez, Juan T. García Bermejo 269

Consideraciones sobre la estimación de hidrogramas de rotura de presas

Luis Altarejos García 295

La seguridad de las infraestructuras hidráulicas

Francisco Javier Flores Montoya315

La ordenación del territorio y la planificación hidrológica al servicio de la seguridad hidráulica y energética

Francisco Javier Flores Montoya325

La evolución de los servicios urbanos del agua en Madrid: un servicio de alta calidad

Ignacio Lozano Colmenarejo345

BALTEN: el agua regenerada como garantía de suministro de agua de riego en Tenerife

Ana Sánchez Espadas, Jesús Rodríguez Martí363

El sector del agua urbana frente a las nuevas exigencias legislativas para mantener la seguridad hídrica

Carmen Hernández de Vega, Alicia Ayuso Solís381

El abastecimiento de la ciudad de Ávila: retos y soluciones científico-técnicas

José Luis Molina González, Jorge Mongil Manso 399

El Consorcio de Aguas de la Marina Baja: un ejemplo de economía circular en la garantía del abastecimiento urbano ante el reto continuo de las sequías

Jaime Berenguer Ponsoda409

Gestión activa de sistemas de abastecimiento mediante el empleo de sistemas multiagente (MAS) para la sostenibilidad

Carlos Calatayud Asensi, José Vicente Berná Martínez, Vicente Javier Macián Cervera, Lucía Arnau Muñoz439

La gestión municipal del ciclo urbano del agua digitalizado

Rosa Rozas Torrente, M^a José Moya Llamas, Arturo Trapote Jaime451

Microsectorización dinámica redes de distribución de agua	
Arturo Albaladejo Ruiz.....	463
Uso de compuertas en redes de drenaje para reducir inundaciones	
Leonardo Bayas-Jiménez	477
Detección y monitoreo de aguas superficiales en la región semiárida brasileña a partir de datos orbitales de sensores remotos	
Izaias de Souza Silva.....	487

BLOQUE III - EVALUACIÓN SOCIOECONÓMICA Y JURÍDICA

La inseguridad hídrica del informe del Consejo Nacional del Agua sobre el recorte del travase Tajo-Segura	
Miguel Ángel Blanes Climent.....	499
El necesario impulso a las centrales hidroeléctricas reversibles como contribución a la seguridad energética nacional: algunas cuestiones jurídicas	
Estanislao Arana García	511
Políticas públicas para la mitigación del impacto del cambio climático sobre los aprovechamientos energéticos	
Jesús Conde Antequera	529
La legislación contra el cambio climático y la transición a una economía descarbonizada desde una doble perspectiva: ambiental y social	
José Esteve Pardo.....	549
Huella hídrica y financiación sostenible	
Domingo Zarzo Martínez, Mercedes Calzada Garzón, Patricia Terrero Rodríguez.....	559
¿Estamos sobreestimando los recursos de agua regenerada? Una ducha fría con la realidad hidro-económica	
Julio Berbel, Esther Díaz-Cano, Alfonso Expósito	577
Taxonomía de los instrumentos económicos aplicados para la gestión sostenible del agua	
Nazaret M ^a Montilla López, Esther Díaz-Cano y Julio Berbel.....	597
Seguridad hídrica y objetivos del PNIEC desde una perspectiva jurídica	
José Antonio Blanco Moa	613
SIAGES: un innovador sistema integrado de apoyo a la gestión del agua	
Alberto Esteban Barrera García, Álvaro Rodríguez García, Ramón Bella Piñeiro, Jose Pablo Ormaechea, Luis José Ruiz Aznar, Abel Solera Solera et al., Manuel Argamasilla Ruiz, Lupicino García Ortiz.....	631
Crisis energética y equilibrio económico financiero en la contratación pública	
Esteban Arimany Lamoglia	643
Garantía del abastecimiento en el Sureste español: la Mancomunidad de los Canales del Taibilla	
Patricia Fernández Aracil, M ^a Inmaculada López Ortiz, Joaquín Melgarejo Moreno.....	655
La evaluación de impacto ambiental de proyectos hidráulicos ¿lo estamos haciendo bien?	
Carlos Martín Cantarino.....	677

La seguridad energética y el autoconsumo fotovoltaico como herramienta para la seguridad hídrica	
Marcos García-López, Joaquín Melgarejo	695
Seguridad hídrica y equilibrio ecológico en el parque natural «El Hondo»: visión histórico-jurídica	
Francisco José Abellán Contreras	709
Los trasvases en tiempos de seguridad hídrica	
Paul Villegas Vega	723
Vulnerabilidad e incidencia de la pobreza hídrica en Alicante	
Ricardo Abad Coloma	735
Asequibilidad al agua urbana y pobreza hídrica en ciudades del Norte global: el caso de Alicante	
Luis E. Zapana Churata, Rubén A. Villar Navascués, María Hernández Hernández, Antonio M. Rico Amorós	745
Políticas públicas de ayudas para la mejora, modernización e innovación en el regadío de la Región de Murcia	
Ramón Martínez Medina, Encarnación Gil Meseguer, José María Gómez-Gil, José María Gómez Espín	759
O reflexo das <i>fake news</i> frente a crise ambiental: uma reflexão necessária nos dias atuais	
Aline Hoffmann, Liton Lanes Pilau Sobrinho	773
Apontamentos sobre o pagamento por serviços ambientais	
André Luiz Anrain Trentini	783
Constitucionalismo das águas – o “aguar” das constituições	
Luciana Pelisser Gottardi Trentini	795
Uso sustentável da água: uma definição a partir dos conceitos de segurança hídrica, de eficiência e de sustentabilidade	
Ana Luisa Schmidt Ramos, Alexandre Morais da Rosa	805
O regime de responsabilidade penal pela poluição hídrica no Brasil	
Jefferson Zanini, Luiz Antônio Zanini Fornerolli	815
Segurança hídrica e seu tratamento jurídico no o regime de responsabilidade penal pela poluição hídrica no Brasil e na Espanha	
Leandro Katscharowski Aguiar	827
Debatendo os ODS com base na sustentabilidade e no desenvolvimento sustentável.....	
Denise Schmitt Siqueira Garcia, Heloise Siqueira Garcia	837
A falta de efetividade no planejamento da segurança hídrica do Brasil	
Denise Schmitt Siqueira Garcia, Alexandre Waltrick Rates	851
Do constitucionalismo ao constitucionalismo global: por uma constituição mundial em defesa de bens fundamentais	
Vanessa Ramos Casagrande	863
A dessalinização da água como instrumento de segurança hídrica	
Anaxágora Alves Machado Rates	875
A canção dos oceanos	
Paola Fava Saikoski	885

Análise da lei de recursos hídricos à luz da responsabilidade do Brasil para com a sustentabilidade e a conscientização ambiental	
Adilor Danieli	895
Investigación sobre el río Amarillo en las dinastías Ming y Qing. Comentario sobre la Ley de protección del río Amarillo	
Yang Yang.....	907
Propuesta metodológica para la recolección del etnoconocimiento en la gestión del riesgo de desastre	
Isaleimi Quiguapumbo Valencia, Antonio Aledo Tur.....	919

BLOQUE IV - TECNOLOGÍAS

Nuevo sistema de riego con recuperación de agua y nutrientes	
Pablo Melgarejo, Dámaris Núñez-Gómez, Pilar Legua, Vicente Lidón, Agustín Conesa, Antonio Marhuenda, Juan José Martínez-Nicolás.....	933
Dinapsis: transformación digital para la gestión sostenible del agua y la salud ambiental	
María Tuesta San Miguel.....	953
Los contaminantes emergentes en la reforma de la directiva de aguas residuales	
Daniel Prats Rico.....	959
Fertirrigación y nuevas estrategias como garantía de seguridad hídrica en el regadío	
Alejandro Pérez Pastor y Elisa Pagán Rubio.....	985
La desalación y el hidrógeno	
Alejandro Zarzuela López.....	1005
Análisis regional de la reducción de boro en agua marina desalinizada para el riego agrícola en el sureste español	
Alberto Imbernón Mulero, José Francisco Maestre Valero, Saker Ben Abdallah, Victoriano Martínez Álvarez, Belén Gallego Elvira.....	1021
Impacto ambiental de la reducción del boro del agua de mar desalinizada para el riego en parcela	
Saker Ben Abdallah, Belén Gallego-Elvira, Alberto Imbernón-Mulero, Victoriano Martínez-Alvarez, José Francisco Maestre Valero.....	1031
Modelado cinético del consumo de CO₂ para la cepa Spirulina platensis	
Antonio F. Marcilla Gomis, Inmaculada Blasco López.....	1041
Empleo de filtro verde construido con residuos para reducir el contenido en fósforo en aguas de riego	
Teresa Rodríguez Espinosa, María Belén Almendro Candel, Ana Pérez Gimeno, Iliana Papamichael.....	1055
Tecnologías de oxidación avanzada para la degradación del fármaco carbamazepina: la ozonización	
María José Moya-Llamas, Marta Ferre Martínez, Elizabetha Domínguez Chabaliná, Arturo Trapote Jaime, Daniel Prats Rico.....	1067
Aprendizaje basado en proyectos colaborativos globales en formación profesional: banco de ensayos hidráulicos para la digitalización del agua	
Albert Canut Montalvã, Joaquín Martínez López, Maties Roma mayor, Antonio Oliva Sánchez.....	1079

Reutilización de agua para riego en la ciudad de Murcia. Proyecto LIFE CONQUER Eva Mena Gil, Simón Nevado Santos, Elena de Vicente Aguilar, Adriana Romero Lestido Benoît Fabien Claude Lefèvre.....	1091
Eliminación de microcontaminantes emergentes en lodos de depuradora mediante procesos de oxidación avanzada: peróxido de hidrógeno y ozono Clara Calvo Barahona, Adrián Rodríguez Montoya, María José Moya-Llamas, Arturo Trapote Jaume, Daniel Prats Rico.....	1103
Vigilancia y protección de las aguas superficiales mediante el proyecto WQeMS y los servicios del Copernicus Pablo Cascales de Paz, Eva Mena Gil, Isabel Hurtado Melgar, Laurent Pouget.....	1115
Tratamiento ecológico para la eutrofización y la anoxia en las masas de agua Ricardo Mateos-Aparicio Baixauli.....	1125
Modelado de descarga submarina de salmuera antes y después de la instalación de un difusor Silvano Porto Pereira, José Luís Sánchez-Lizaso, Paulo César Colonna Rosman. Ángel Loya, Iran Eduardo Lima Neto.....	1137
Las sequías en España en el siglo XXI: su influencia en la disminución y cierre de transferencias de agua del acueducto Tajo-Segura y de la conexión Negratín-Almanzora Encarnación Gil Meseguer, Ramón Martínez Medina, José María Gómez-Gil, José María Gómez Espín.....	1147

La desalación en la estrategia de seguridad hídrica. Implicaciones económicas y ambientales

Alberto del Villar García

Departamento de Economía y Dirección de Empresas, Universidad de Alcalá, España

alberto.delvillar@uah.es

<https://orcid.org/0000-0002-7701-7631>

RESUMEN

La seguridad hídrica es un desafío creciente en todo el mundo debido a múltiples factores. En un contexto de escasez, la desalación juega un papel fundamental para garantizar la disponibilidad de agua potable y satisfacer las necesidades hídricas. Las ventajas de la desalación son numerosas. Proporciona un suministro de agua seguro en regiones donde los recursos hídricos convencionales son limitados, contribuye a diversificar las fuentes de agua, reduce la presión sobre masas de agua en riesgo de sobreexplotación, etc. Sin embargo, a pesar de sus beneficios, la desalación también plantea desafíos importantes. El primero, el reto energético. La desalación requiere una cantidad significativa de energía, lo que puede tener implicaciones ambientales y económicas. Además, los rechazos de las plantas presentan un problema de gestión a considerar. Por último, el coste de este recurso plantea interrogantes sobre la sostenibilidad económica de determinadas actividades. Abordar estos retos es de vital importancia para el diseño de una política del agua centrada en la seguridad hídrica.

1. INTRODUCCIÓN

La seguridad hídrica es un desafío creciente en todo el mundo debido al aumento de la población, la urbanización y el cambio climático. En muchas regiones, la escasez de agua dulce es una realidad constante que afecta tanto a las comunidades como a los ecosistemas. En este contexto, la desalación juega un papel fundamental para garantizar la disponibilidad de agua potable y satisfacer las necesidades hídricas.

La desalación es el proceso mediante el cual el agua salada o salobre se convierte en agua dulce apta para el consumo humano y otros usos. Esta tecnología ha experimentado avances significativos en las últimas décadas, lo que ha llevado a una mayor eficiencia y reducción de costos. La desalación puede llevarse a cabo mediante diferentes métodos, como la ósmosis inversa, la destilación térmica o la electrodiálisis, entre otros.

Uno de los principales beneficios de la desalación es su capacidad para proporcionar un suministro de agua seguro y confiable en regiones donde los recursos hídricos convencionales son

limitados. Las plantas desalinizadoras pueden abastecer a comunidades costeras y áreas áridas que de otra manera enfrentarían una escasez crónica de agua. Esto no solo asegura el acceso a agua potable, sino que también impulsa el desarrollo económico y mejora la calidad de vida de las personas.

Además, la desalación contribuye a diversificar las fuentes de agua, reduciendo la dependencia de los recursos hídricos existentes, como los ríos y los acuíferos subterráneos. Esto es especialmente importante en áreas propensas a sequías o situaciones de estrés hídrico, donde la sobreexplotación de los recursos naturales puede llevar a problemas ambientales y sociales. La desalación puede servir como una alternativa sostenible y complementaria a estas fuentes de agua tradicionales.

Sin embargo, a pesar de sus beneficios, la desalación también plantea desafíos y consideraciones importantes. En primer lugar, el proceso de desalación requiere una cantidad significativa de energía, lo que puede tener implicaciones ambientales y económicas. La adopción de fuentes de energía renovable y tecnologías más eficientes es fundamental para minimizar el impacto ambiental de la desalación y hacerla más sostenible en el largo plazo.

Además, es necesario abordar la gestión adecuada de los subproductos generados durante el proceso de desalación, como el concentrado salino. Estos subproductos pueden tener impactos negativos en el medio ambiente marino si se liberan sin un tratamiento adecuado. Por lo tanto, es esencial implementar medidas de mitigación y desarrollar tecnologías para su disposición segura y reutilización.

Desde hace dos décadas se viene realizando una apuesta importante en la política de agua en España con la desalación. Esta política, dirigida a través del llamado Programa AGUA (Actuaciones para la Gestión y Utilización del Agua), se ha materializado en la construcción de nuevas plantas desalinizadoras, de las que las principales cuentan con una capacidad de producción de casi 400 hm³.

En el plano financiero, los presupuestos iniciales de construcción de estas infraestructuras ascendían a unos 1.000 millones de euros en el año 2005. El consumo energético se estimaba con un indicador de entre 3-3,5 kWh por cada metro cúbico producido, lo que se traducía en unas necesidades energéticas para la producción de unos 1.200-1.400 GWh al año, que venía a representar alrededor del 0,55% de la demanda energética de la Península y Baleares.

El coste de producción de este recurso se estimaba que podría alcanzar alrededor de unos 0,60 euros por cada metro cúbico de agua producido, que podría suministrarse con unos precios ligeramente por encima del 50%-60% del coste de producción.

Hasta aquí, el escenario planificado hace casi dos décadas. Sin embargo, se han producido una serie de desviaciones en lo planificado. El coste de inversión ha sufrido unas importantes desviaciones de casi el 100% de las previsiones iniciales. El indicador unitario de consumo energético para producir un metro cúbico de agua llega a alcanzar los 4 kWh de media en el conjunto de instalaciones analizadas, suponiendo para las 11 principales instalaciones un consumo total de casi 1.580 GWh en 2022, el 0,67% de la demanda energética Peninsular (Red Eléctrica de España, 2023). Y, el coste medio unitario se ha disparado hasta poco más de 1,40 euros por cada metro cúbico de agua producido en las instalaciones.

2. EL PAPEL DE LA DESALACIÓN EN LA SEGURIDAD HÍDRICA

La seguridad hídrica se refiere a la capacidad de una sociedad para garantizar el acceso suficiente, seguro y sostenible al agua dulce para satisfacer sus necesidades básicas y socioeconómicas. Implica asegurar el suministro de agua potable para el consumo humano, así como para la agricultura, la industria y la conservación del medio ambiente.

La seguridad hídrica no se limita únicamente a la disponibilidad de agua, sino que también abarca la calidad del agua y la gestión eficiente de los recursos hídricos. Se trata de equilibrar la demanda y el suministro de agua, promoviendo un uso responsable y sostenible, y protegiendo los ecosistemas acuáticos.

Para lograr la seguridad hídrica, es necesario implementar políticas y estrategias integrales de gestión del agua que fomenten la conservación y el uso eficiente, promuevan la reutilización y el reciclaje del agua, y protejan los ecosistemas acuáticos. Estas políticas integrales incluyen una gestión adecuada de los recursos hídricos disponibles e implica la mejora de la infraestructura hídrica. El “pegamento” de este proceso es el establecimiento de un sistema de gobernanza que coadyuve al funcionamiento del sistema.

La seguridad hídrica descansa sobre tres elementos: escasez, calidad y gestión integrada. La escasez de agua es uno de los principales desafíos para la seguridad hídrica. A medida que la demanda de agua aumenta debido al crecimiento demográfico y el desarrollo económico, se requieren medidas efectivas para gestionar los recursos hídricos de manera equitativa y sostenible. El enfoque que hay que aplicar sobre la escasez es la aplicación de medidas tendentes a la mejora de la eficiencia en el uso del agua.

La calidad del agua es otro aspecto fundamental de la seguridad hídrica. La contaminación de las fuentes de agua puede tener graves consecuencias para la salud humana y los ecosistemas acuáticos. Este reto se afronta desde medidas de gobernanza e implantación de sistemas eficientes de gestión de aguas residuales y reducción de carga contaminante.

Por último, la gestión integrada de los recursos hídricos es esencial para garantizar la seguridad hídrica a largo plazo. Esto implica la coordinación y colaboración entre diferentes sectores y actores involucrados en la gestión del agua.

Uno de los principales beneficios de la desalación es su capacidad para proporcionar un suministro de agua seguro y confiable en regiones donde los recursos hídricos convencionales son limitados. Las plantas desalinizadoras pueden abastecer a comunidades costeras y áreas áridas que de otra manera enfrentarían una escasez crónica de agua. Esto no solo asegura el acceso a agua potable, sino que también impulsa el desarrollo económico y mejora la calidad de vida de las personas.

Además, la desalación contribuye a diversificar las fuentes de agua, reduciendo la dependencia de los recursos hídricos existentes, como los ríos y los acuíferos subterráneos. Esto es especialmente importante en áreas propensas a sequías o situaciones de estrés hídrico, donde la sobreexplotación de los recursos naturales puede llevar a problemas ambientales y sociales. La desalación, junto con la reutilización de aguas regeneradas, puede servir como una alternativa sostenible y complementaria a estas fuentes de agua tradicionales.

La seguridad hídrica que puede proporcionar la desalación debe ir acompañada de una sostenibilidad financiera de las actividades económicas y los abastecimientos a poblaciones sostenidos con estos recursos. De nada sirve pretender alcanzar una seguridad hídrica con estos recursos sin una sostenibilidad financiera. Ambas corrientes forman un binomio indisoluble que no pueden funcionar con enfoques diferenciados.

Este enfoque enlaza con el concepto de la interacción entre el agua, la energía y los alimentos (nexo agua-energía-alimentos o *WEF*, por sus siglas en inglés, *Water–Energy–Food*), que se vincula con la seguridad hídrica y con la seguridad alimentaria. La interacción entre estos recursos es de suma importancia, donde los ecosistemas se identifican como un factor clave (Rezaei Celico, 2023), en el que los aspectos de calidad deberían tener un papel destacado.

Ahora bien, afrontar la desalación plantea unos retos importantes que hay que solventar para evitar fracasos en la implementación de la seguridad hídrica. El primer reto que plantea el uso de desalación como herramienta para la seguridad hídrica es el coste de producción de estos recursos. Pero también destacan otros aspectos que deben ser considerados como son otros aspectos derivados del proceso de la desalación como las tecnologías y el uso de la energía.

También es necesario integrar en el análisis los beneficios potenciales del recurso a la desalación. Permite afrontar la escasez de agua y contribuye de una manera notable a la mejora de la calidad de los recursos empleados.

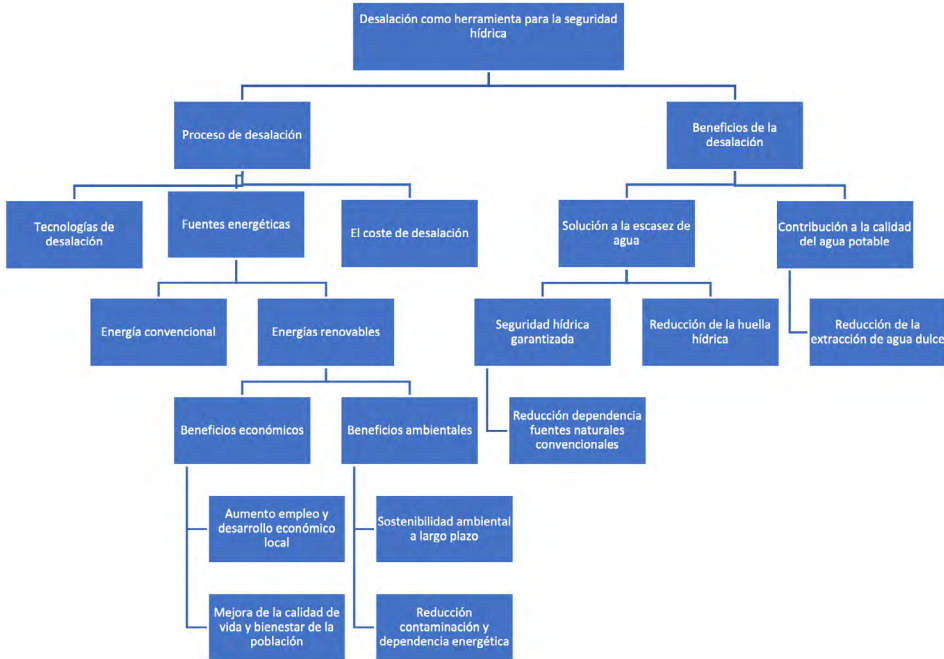


Figura 1. La desalación como herramienta para la seguridad hídrica. Fuente: elaboración propia.

La desalación se presenta como una herramienta crucial para abordar la escasez de agua, ya que permite aprovechar fuentes de agua salada como océanos y mares para obtener agua dulce utilizable. Se destacan los beneficios de la desalación, como la garantía de suministro de agua potable, la contribución a la seguridad hídrica, la reducción de la huella hídrica y la minimización de la extracción de agua dulce de fuentes limitadas.

Además, se resaltan los beneficios económicos y ambientales de la desalación, como el aumento de empleos y el desarrollo local, la mejora de la calidad de vida de la comunidad y la reducción de la dependencia de fuentes de agua dulce cada vez más escasas. Se enfatiza la importancia de la sostenibilidad a largo plazo en el uso de la desalación como herramienta para garantizar la seguridad hídrica.

2.1. Beneficios económicos de la desalación

En el plano económico, la desalación no solo aborda los desafíos de escasez de agua, sino que también tiene beneficios económicos significativos. Desde la generación de empleo y el desarrollo de industrias locales hasta la diversificación económica y la seguridad en el suministro de agua, la desalación puede impulsar el crecimiento económico y mejorar la calidad de vida de las comunidades al proporcionar un recurso vital como el agua dulce, que puede emplearse para satisfacer las necesidades de abastecimiento a poblaciones como a satisfacer las necesidades productivas de los usos económicos del agua.

Los beneficios económicos del uso de la desalación como herramienta para la seguridad hídrica se derivan tanto de las inversiones realizadas en infraestructuras de desalación como de las oportunidades de desarrollo económico que surgen como resultado de asegurar un suministro de agua sostenible y confiable. A continuación, se detallan algunos de los beneficios económicos de la desalación:

1. **Generación de empleo:** La construcción y operación de plantas desaladoras requieren mano de obra especializada, lo que crea empleos directos e indirectos en la industria. Desde ingenieros y técnicos hasta personal de mantenimiento y administrativo, la desalación puede impulsar la creación de empleo en las comunidades locales.
2. **Desarrollo de la industria local:** La implementación de proyectos de desalación implica inversiones considerables en infraestructuras, tecnologías y servicios relacionados. Esto estimula el crecimiento de una industria local relacionada con la desalación, como proveedores de equipos, proveedores de servicios de mantenimiento, empresas de consultoría y empresas de suministro de energía renovable.
3. **Estímulo a la economía regional:** La disponibilidad de agua dulce a través de la desalación puede impulsar el desarrollo de diversas actividades económicas. Por ejemplo, la agricultura, la industria manufacturera, el turismo y el desarrollo residencial pueden expandirse y prosperar al contar con un suministro de agua seguro y confiable.
4. **Diversificación de la economía:** En áreas donde el agua dulce es escasa, la desalación puede brindar una oportunidad para diversificar la economía y reducir la dependencia de sectores que requieren grandes cantidades de agua. Al disponer de agua dulce adicional, las regiones pueden explorar nuevas industrias y sectores que antes no eran viables debido a la falta de recursos hídricos.
5. **Seguridad en el suministro de agua:** La desalación proporciona una fuente de agua segura y confiable en áreas propensas a la escasez de agua debido a factores como la sequía, la sobreexplotación de acuíferos o la variabilidad climática. Al garantizar un suministro constante de agua, la desalación puede respaldar la estabilidad económica y evitar pérdidas financieras asociadas con la falta de agua para actividades productivas.
6. **Impulso a la inversión y el desarrollo sostenible:** La disponibilidad de agua dulce mediante la desalación puede aumentar la atracción de inversiones y el desarrollo sostenible en una región. La presencia de un suministro confiable de agua puede incentivar a

las empresas a establecerse en la zona, lo que a su vez estimula la creación de empleo, el crecimiento económico y el bienestar de la comunidad.

7. Fuente de elementos y materiales diversos derivados del aprovechamiento del rechazo del concentrado salino generado en la producción de agua desalinizada. La salmuera producida en el proceso es considerada un residuo y evacuada al medio como vertido. En este rechazo existen materiales valiosos y con una elevada demanda con un potencial económico a considerar.

2.2. Retos de la desalación

Aunque la desalación puede ser una solución efectiva para hacer frente a la escasez de agua en algunas regiones, también enfrenta diversos retos y dificultades. La desalación es un proceso energéticamente intensivo y costoso. La tecnología utilizada, como la ósmosis inversa o la destilación, requiere grandes cantidades de energía para impulsar las bombas y separar la sal del agua. Esto puede hacer que el agua desalada sea considerablemente más cara que otras fuentes convencionales de agua.

La desalación puede tener impactos negativos en el medio ambiente. La toma de agua del mar puede afectar a los ecosistemas marinos, ya que los organismos marinos más pequeños pueden ser succionados hacia las tomas de agua y dañados o muertos en el proceso. Además, el rechazo o descarte del rechazo del concentrado salino resultante puede ser perjudicial si no se maneja adecuadamente, ya que contiene niveles elevados de sal y productos químicos que pueden afectar la calidad del agua circundante.

La desalación es a menudo considerada como una solución para enfrentar la escasez de agua en regiones áridas o semiáridas. Sin embargo, la desalación también requiere acceso a una fuente confiable de energía, lo que puede ser un desafío en áreas donde la escasez de agua y energía van de la mano. Además, el proceso de desalación puede competir con otras demandas energéticas, lo que puede plantear dificultades en términos de disponibilidad y costos.

A pesar de los avances tecnológicos en la desalación, la sostenibilidad a largo plazo puede ser un desafío. La operación y el mantenimiento continuo de las plantas desalinizadoras requieren inversiones significativas y recursos humanos calificados. Además, el agotamiento de los acuíferos subterráneos y la sobreexplotación de los recursos hídricos pueden poner en peligro la viabilidad a largo plazo de la desalación como solución.

La desalación también puede enfrentar resistencia y preocupaciones por parte de la población local. Algunas comunidades pueden tener preocupaciones sobre la calidad del agua desalada, su impacto ambiental o el costo asociado. La falta de conciencia pública y la necesidad de educación sobre los beneficios y los riesgos de la desalación pueden dificultar su implementación y aceptación.

La gobernanza desempeña un papel fundamental en la desalinización de cara a la seguridad hídrica. La gestión efectiva y responsable de los recursos hídricos, incluida la desalación, es esencial para garantizar la sostenibilidad y equidad en el acceso al agua.

Es fundamental establecer un marco normativo y regulador sólido que defina los derechos y responsabilidades de los actores involucrados en la desalinización. Implica la coordinación en-

tre diferentes sectores, instituciones y actores, y la implementación de enfoques participativos en la toma de decisiones. La gobernanza efectiva de la desalinización requiere la cooperación y colaboración entre diferentes actores. Esto implica la coordinación entre los gobiernos, las empresas, las organizaciones no gubernamentales y las instituciones académicas para abordar los desafíos comunes, compartir conocimientos y buenas prácticas, y buscar soluciones conjuntas.

Por último, integrar en el sistema el aprovechamiento de los elementos y materiales presentes en el rechazo salino del proceso es un reto futuro con un potencial económico importante. Los beneficios de este aprovechamiento, además de la propia explotación de materiales, son muy amplios y variados. Entre estos beneficios podemos considerar valores que van desde la reducción de los vertidos hasta el ahorro de costes de transporte de materiales (García, 2023).

A pesar de estos retos y dificultades, la desalación continúa siendo una opción importante para abordar la escasez de agua en muchas regiones del mundo. Con la investigación y el desarrollo continuos, es posible superar algunos de estos obstáculos y mejorar la eficiencia y la sostenibilidad de los procesos de desalación.

3. EL COSTE DE LA DESALACIÓN

La desalación no es una técnica novedosa. Llevamos más de cinco décadas en España empleando diversas tecnologías desalinizadoras. El componente esencial de la operatividad de las Instalaciones de Desalación de Agua Marina (IDAM) siempre ha sido la energía. A principios de los años 70 del siglo pasado era necesario emplear unos 22 kilovatios hora de energía para producir un metro cúbico de agua desalinizada (Etxaniz, 2005). Actualmente, se estima unos ratios comprendidos entre 3-4 kilovatios hora de energía para producir un metro cúbico de agua desalinizada (Zarzo, 2020).

También tenemos otro elemento destacado en la partida de costes de la desalación como son los costes de inversión. Para grandes instalaciones (de capacidad de producción a partir de 60.000 metros cúbicos de agua dulce al día) se han ido reduciendo los costes por unidad de producción hasta un entorno de 1.050-1.200 euros (a precios de 2021) por metro cúbico de capacidad de producción diario (Torres, 2004) (Zarzo, 2020). Como es lógico pensar, los costes de inversión de estas instalaciones tienen mucho que ver con la localización de la planta, el tipo de estructura, los equipos y la maquinaria instalada. También, en su repercusión sobre los costes de producción, el sistema de amortización destaca como factor relevante (Villar, 2014).

Una de las principales partidas de los costes de explotación de las instalaciones de desalinización son los costes energéticos. La mayoría de las plantas de desalación utilizan la tecnología de ósmosis inversa, que requiere una gran cantidad de energía para forzar el agua salina a través de una membrana semipermeable y separar las sales del agua. Este proceso consume una cantidad considerable de electricidad, lo que puede resultar en costes operativos elevados.

Es importante destacar que los costes energéticos de la desalación pueden variar significativamente según el tipo de tecnología utilizada, la ubicación geográfica y las fuentes de energía disponibles. Algunas áreas pueden aprovechar fuentes de energía renovable, como la energía solar o eólica, para reducir los costes energéticos y minimizar el impacto ambiental de la desalación. Además, la investigación y el desarrollo continuos en el campo de la desalación están enfocados en encontrar soluciones más eficientes y rentables desde el punto de vista energético.

En el presente capítulo vamos a analizar la situación actual de los costes de producción de las plantas desalinizadoras que se han desarrollado en el marco del Programa AGUA (Actuaciones para la Gestión y Utilización del Agua) desde el año 2006.

3.1. Costes de inversión en las instalaciones de desalinización

El coste de inversión en las plantas desaladoras es uno de los aspectos clave a considerar al implementar este tipo de infraestructuras. La construcción y puesta en marcha de una planta desaladora requiere una inversión inicial significativa debido a la complejidad tecnológica y a los altos estándares de calidad necesarios para garantizar la producción de agua potable.

Son varios los factores que influyen en el coste de inversión de una planta desaladora. El coste de inversión en las plantas desaladoras puede variar ampliamente dependiendo de la tecnología utilizada, la capacidad de producción, la ubicación geográfica, las infraestructuras auxiliares y las condiciones regulatorias y ambientales.

Existen diferentes tecnologías de desalación, como la ósmosis inversa, la destilación por múltiple efecto o la electrodiálisis inversa. Cada tecnología tiene sus propias características y costes asociados. La tecnología de ósmosis inversa es ampliamente utilizada debido a su eficiencia y menor consumo energético en comparación con otras opciones.

El tamaño y la capacidad de producción de una planta desaladora también influyen en su coste de inversión. Las plantas más grandes suelen ser más eficientes en términos de economía de escala, lo que puede resultar en un coste por metro cúbico de agua desalada más bajo. Sin embargo, construir y operar plantas de gran escala también implica mayores inversiones iniciales.

La ubicación de la planta desaladora puede afectar su coste de inversión. Si la planta se encuentra cerca del litoral, donde el acceso al agua de mar es más fácil, es posible que se requieran menos inversiones en infraestructuras de captación y bombeo. Por otro lado, si la planta está ubicada en áreas remotas o con difícil acceso al agua de mar, los costes de inversión pueden aumentar debido a la necesidad de construir infraestructuras adicionales.

Además de la planta desaladora en sí, también se deben considerar los costes de las infraestructuras auxiliares necesarias, como las instalaciones de almacenamiento de agua, los sistemas de distribución, la infraestructura eléctrica y las instalaciones de tratamiento de residuos.

Los requisitos regulatorios y ambientales también pueden afectar el coste de inversión en una planta desaladora. Por ejemplo, las regulaciones para la protección del medio ambiente y la calidad del agua pueden requerir tecnologías de tratamiento adicionales o medidas de mitigación, lo que aumentaría los costes de inversión.

Hemos realizado un análisis de las partidas de inversión en los Presupuestos Generales del Estado destinadas a 11 plantas desalinizadoras en el Mar Mediterráneo, ubicadas entre las provincias de Castellón y Málaga. Instalaciones que ha construido la Sociedad Estatal Acuamed en estas dos últimas décadas.

NOMBRE ACTUACIÓN (IVP)	CAPACIDAD (m ³ /AÑO)	COSTE INVERSIÓN (€)		
		PRESUPUESTO	EJECUTADO	DESVIACIÓN
Desalinizadora Torrevieja (Alicante)	120.000.000	247.118.201	498.673.000	251.554.799
Desalinizadora Bajo Almanzora (Almería)	20.000.000	43.639.619	117.422.000	73.782.381
Desalinizadora de Carboneras (Almería)	43.800.000	131.700.000	170.186.000	38.486.000
Desalinizadora de Valdelentisco (Murcia)	70.200.000	141.454.045	403.701.000	262.246.955
Desalinizadora Campo de Dalías (Almería)	30.000.000	86.046.718	220.701.000	134.654.282
Desalinizadora de Oropesa del Mar (Castellón)	13.500.000	41.049.925	82.707.000	41.657.075
Desalinizadora de Águilas (Murcia)	70.000.000	238.290.000	477.979.000	239.689.000
Desalinizadora de Moncófar (Castellón)	19.800.000	55.200.000	62.232.000	7.032.000
Desalinizadora de Sagunto (Valencia)	8.200.000	23.903.649	45.325.000	21.421.351
Desalinizadora de Mutxamel (Alicante)	17.500.000	60.720.031	100.242.000	39.521.969
Desalinizadora de la Costa del Sol (Málaga)	20.586.000	58.647.635	170.611.000	111.963.365
	433.586.000	1.127.769.824	2.349.779.000	1.222.009.176

Tabla 1. Inversión en las principales plantas desalinizadoras. Fuente: elaboración propia a partir de datos de los Presupuestos Generales del Estado 2006-2023 (Ministerio de Hacienda y Función Pública). Nota: no incluye la inversión en redes de transporte y distribución. Incluye las inversiones presupuestadas en las plantas de energía solar de algunas IDAM.

El presupuesto inicial para la construcción de las 11 instalaciones era de unos 1.128 millones de euros, con un ratio de inversión por metro cúbico de capacidad anual de unos 2,6 euros. Estos presupuestos iniciales han sido objeto de revisión y, en el ejercicio de 2023, se sitúan en unos 2.350 millones de euros. Una desviación de más del 108% respecto a la previsión inicial (1.222 millones de euros), elevando el ratio medio de inversión por metro cúbico de capacidad anual hasta los 5,42 euros.

Las ratios de construcción en términos de euros por metro cúbico de capacidad diaria se sitúan entre 1.147 y 3.025 euros, con una media de 1.978 euros. Cifras superiores a los rangos que maneja el sector: 460 y 2.329 euros por cada metro cúbico y día instalado, con un valor medio de 1.121 euros (Zarzo, 2020).

La desviación respecto a los presupuestos iniciales no se debe sólo al incremento de los costes o partidas no contempladas inicialmente. En algunas IDAM una parte importante del incremento se debe a las mejoras en la eficiencia energética y ampliaciones no programadas inicialmente, además de la construcción de costosas plantas de energía solar para reducir la factura energética. Este último recurso resulta un tanto llamativo. El coste de las instalaciones fotovoltaicas es muy superior a la factura energética que sustituye. No obstante, dado que existe un fuerte componente de subvención a la instalación de estos parques de producción fotovoltaicos, en términos financieros para el operador de las plantas desaladoras se reduce. No así los costes económicos (computados las subvenciones y los beneficios y costes externos no financieros) que son más elevados.

En estas instalaciones la obra civil suele representar alrededor del 40% de la inversión total, en tanto que las instalaciones y resto del equipamiento supone el 60% restante de la inversión. La vida útil de estas plantas se estima en unos 25 años para la obra civil y unos 15 años para el equipamiento e instalaciones ubicadas en la planta. Se ha considerado un tipo de descuento para la realización de los análisis financieros del 4% anual. En este contexto, el coste anual equivalente (CAE) calculado alcanza para el conjunto de estas instalaciones unos 187 millones de euros, lo que supone unos 0,4312 euros por cada metro cúbico producido a plena capacidad de las instalaciones.

La repercusión de la inversión varía de forma considerable según la instalación. En la IDAM de Moncófar, el coste de inversión repercutible por cada metro cúbico asciende a unos 0,2501 euros, en tanto que en la IDAM de la Costa del Sol alcanza los 0,6594 euros por cada metro cúbico.

NOMBRE ACTUACIÓN (IVP)	CAPACIDAD (m ³ /AÑO)	CAE INVERSIÓN (€)	COSTE UNITARIO (€/m ³)
Desalinizadora Torrevieja (Alicante)	120.000.000	39.679.134	0,3307
Desalinizadora Bajo Almanzora (Almería)	20.000.000	9.343.203	0,4672
Desalinizadora de Carboneras (Almería)	43.800.000	13.541.606	0,3092
Desalinizadora de Valdelentisco (Murcia)	70.200.000	32.122.265	0,4576
Desalinizadora Campo de Dalías (Almería)	30.000.000	17.561.056	0,5854
Desalinizadora de Oropesa del Mar (Castellón)	13.500.000	6.580.950	0,4875
Desalinizadora de Águilas (Murcia)	70.000.000	38.032.524	0,5433
Desalinizadora de Moncófar (Castellón)	19.800.000	4.951.766	0,2501
Desalinizadora de Sagunto (Valencia)	8.200.000	3.606.485	0,4398
Desalinizadora de Mutxamel (Alicante)	17.500.000	7.976.200	0,4558
Desalinizadora de la Costa del Sol (Málaga)	20.586.000	13.575.423	0,6594
	433.586.000	186.970.612	0,4312

Tabla 2. Coste Anual Equivalente (CAE) de la inversión en las principales plantas desalinizadoras. Fuente: elaboración propia a partir de datos de los Presupuestos Generales del Estado 2006-2023 (Ministerio de Hacienda y Función Pública). Nota: no incluye la inversión en redes de transporte y distribución. Incluye las inversiones presupuestadas en las plantas de energía solar de algunas IDAM.

3.2. Costes de explotación y operación de las instalaciones de desalinización (excluidos los costes energéticos)

Como cualquier infraestructura compleja, las plantas desaladoras requieren un servicio operativo y un mantenimiento y conservación adecuados para garantizar su eficiencia, en aras de conseguir un funcionamiento y operatividad óptimo a largo plazo. Estos procesos conllevan costes significativos que deben ser tenidos en cuenta.

En primer lugar, uno de los costes más relevantes en la conservación y mantenimiento de las plantas desaladoras es el relacionado con los recursos humanos. Estas instalaciones requieren personal cualificado y especializado en diferentes áreas, como la ingeniería, la química o la operación de equipos y maquinaria. La contratación de profesionales capacitados y su capacitación continua para mantenerse al día con los avances tecnológicos y las mejores prácticas representa una inversión considerable.

En segundo lugar, los costes de operación y mantenimiento de los equipos y sistemas de una planta desaladora son otro factor importante a considerar. Estos incluyen la adquisición y reparación de bombas, válvulas, membranas de filtración, sistemas de osmosis inversa, equipos de desalinización y otros componentes clave. La vida útil de estos equipos puede variar, pero es necesario contar con un programa de reemplazo y mantenimiento regular para evitar fallos y garantizar la producción continua de agua desalada.

El mantenimiento engloba todas aquellas actividades y procesos que tienen por objeto conseguir una utilización óptima de los equipos y sistemas, manteniéndolos en el estado que requiere una producción eficiente con unos gastos mínimos. El objetivo de todo sistema de mantenimiento es lograr que los equipos y sistemas permanezcan en un estado de funcionamiento óptimo, reduciendo los costes y fallos de operación. Existe una relación directa entre los costes de mantenimiento y el nivel de fiabilidad de las instalaciones. A mayor nivel de fiabilidad, mayor coste, y viceversa. Por otro lado, también existe una relación directa entre el incremento de los costes de producción, derivados de averías y fallos en las instalaciones y equipos, y el nivel de mantenimiento. A mayor nivel de mantenimiento, menores serán los costes derivados de los fallos y averías.

NOMBRE ACTUACIÓN	COSTES OPERATIVOS DE EXPLOTACIÓN Y MANTENIMIENTO (SIN ENERGÍA) (€)					
	PERSONAL	M&C	GESTIÓN	FINANCIEROS	OTROS	€/m ³
Desalinizadora Torrevieja (Alicante)	1.036.286	24.362.114	1.039.829	4.770.622	2.213.663	0,2785
Desalinizadora Bajo Almanzora (Almería)	700.518	4.797.919	208.545	807.151	324.335	0,3419
Desalinizadora de Carboneras (Almería)	518.143	12.181.057	519.915	2.385.311	1.106.832	0,3815
Desalinizadora de Valdelentisco (Murcia)	1.109.794	6.554.077	480.387	4.210.694	2.662.099	0,2139
Desalinizadora Campo de Dalías (Almería)	809.995	8.864.474	264.591	642.676	619.838	0,3734
Desalinizadora de Oropesa del Mar (Castellón)	626.344	4.772.083	197.694	759.252	383.548	0,4992
Desalinizadora de Águilas (Murcia)	789.525	11.913.448	481.447	2.305.169	785.198	0,2325
Desalinizadora de Moncófar (Castellón)	469.758	2.756.937	145.916	773.941	268.975	0,2230
Desalinizadora de Sagunto (Valencia)	589.614	2.559.550	129.572	442.118	179.798	0,4757
Desalinizadora de Mutxamel (Alicante)	478.457	5.164.251	257.974	1.123.067	429.448	0,4259
Desalinizadora de la Costa del Sol (Málaga)	925.984	5.743.962	291.413	1.084.736	604.215	0,4202
	8.054.420	89.669.871	4.017.281	19.304.736	9.577.947	0,3013

Tabla 3. Costes de explotación, mantenimiento y conservación en las principales plantas desalinizadoras.
Fuente: elaboración propia a partir de datos de los Informes de Viabilidad de Proyectos (Artículo 46.5 Ley de Aguas) publicados por el Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico¹ y otra información sectorial. Cifras a precios corrientes 2023.

En su conjunto, estos costes de operación de las instalaciones suponen una repercusión de unos 0,3013 euros por cada metro cúbico de agua desalinizada producido por las plantas seleccionadas.

¹ <https://www.miteco.gob.es/es/agua/planes-y-estrategias/informes-de-viabilidad-de-obras-hidraulicas/>

Dentro de los costes operativos, los costes de mantenimiento y conservación son los que representan un mayor nivel, alcanzando una repercusión media por metro cúbico de unos 0,2068 euros, representando el 70% del total de costes de estas partidas. Los costes de personal apenas añaden un coste de 0,0186 euros por cada metro cúbico producido, teniendo un peso sobre este conjunto de costes del 6%. Los costes financieros son casi 2,5 veces superiores a los costes de personal y suponen el 15% de esta rúbrica de costes operativos.

3.3. Costes energéticos de las plantas desaladoras

Los costes energéticos representan una parte significativa del coste total de operación de una planta desaladora. El consumo energético de una planta desaladora depende de varios factores, como la capacidad de producción, la salinidad del agua de alimentación, la tecnología utilizada y la eficiencia del sistema.

Para las 11 plantas desalinizadoras analizadas, el consumo específico de energía se sitúa entre 3-4 kWh por cada metro cúbico de agua producido. La potencia instalada se estima en unos 0,8 MW por cada hectómetro cúbico de capacidad de desalación en la planta.

NOMBRE ACTUACIÓN (IVP)	CAPACIDAD (m ³ /AÑO)	COSTE INVERSIÓN (€)		
		PRESUPUESTO	EJECUTADO	DESVIACIÓN
Desalinizadora Torreveja (Alicante)	120.000.000	247.118.201	498.673.000	251.554.799
Desalinizadora Bajo Almanzora (Almería)	20.000.000	43.639.619	117.422.000	73.782.381
Desalinizadora de Carboneras (Almería)	43.800.000	131.700.000	170.186.000	38.486.000
Desalinizadora de Valdelentisco (Murcia)	70.200.000	141.454.045	403.701.000	262.246.955
Desalinizadora Campo de Dalías (Almería)	30.000.000	86.046.718	220.701.000	134.654.282
Desalinizadora de Oropesa del Mar (Castellón)	13.500.000	41.049.925	82.707.000	41.657.075
Desalinizadora de Águilas (Murcia)	70.000.000	238.290.000	477.979.000	239.689.000
Desalinizadora de Moncófar (Castellón)	19.800.000	55.200.000	62.232.000	7.032.000
Desalinizadora de Sagunto (Valencia)	8.200.000	23.903.649	45.325.000	21.421.351
Desalinizadora de Mutxamel (Alicante)	17.500.000	60.720.031	100.242.000	39.521.969
Desalinizadora de la Costa del Sol (Málaga)	20.586.000	58.647.635	170.611.000	111.963.365
TOTAL	433.586.000	1.127.769.824	2.349.779.000	1.222.009.176

Tabla 4. Potencia (kW), consumo energético (kWh/año) y consumo específico de energía (kWh/m³) en las principales plantas desalinizadoras. Fuente: elaboración propia a partir de datos reales de consumo de energía correspondientes a 2019.

Para una producción de unos 433,6 hectómetros cúbicos de agua se estima un consumo energético anual de las 11 plantas analizadas de unos 1.715 GWh, lo que viene a representar aproximadamente el 0,7% del consumo anual de energía eléctrica España peninsular en el año 2022 (Red Eléctrica de España, 2023).

Los costes energéticos se han disparado en los últimos años. En enero de 2023, Acuamed formalizó un contrato de suministro de energía por un importe de 206,44 millones de euros por un suministro de unos 1.118 GWh a lo largo de 2023. Extrapolando esta cifra al conjunto de las plantas y su estimación de consumo a plena capacidad, obtendríamos un coste por la energía de casi 295 millones de euros, que implicaría una repercusión de unos 0,68 euros por metro cúbico.

NOMBRE ACTUACIÓN	COSTE ENERGÍA (€)			COSTE UNITARIO ENERGÍA (€/m³)
	POTENCIA	CONSUMO	TOTAL AÑO	
Desalinizadora Torrevieja (Alicante)	6.879.961	60.270.140	67.150.101	0,5596
Desalinizadora Bajo Almanzora (Almería)	2.372.504	11.935.851	14.308.355	0,7154
Desalinizadora de Carboneras (Almería)	4.031.227	28.468.778	32.500.005	0,7420
Desalinizadora de Valdelentisco (Murcia)	6.718.712	41.480.037	48.198.749	0,6866
Desalinizadora Campo de Dalías (Almería)	4.165.602	20.828.651	24.994.253	0,8331
Desalinizadora de Oropesa del Mar (Castellón)	2.015.614	7.079.526	9.095.139	0,6737
Desalinizadora de Águilas (Murcia)	8.599.952	44.153.786	52.753.738	0,7536
Desalinizadora de Moncófar (Castellón)	1.596.678	11.143.772	12.740.449	0,6435
Desalinizadora de Sagunto (Valencia)	748.465	4.615.097	5.363.562	0,6541
Desalinizadora de Mutxamel (Alicante)	1.471.801	9.694.186	11.165.987	0,6381
Desalinizadora de la Costa del Sol (Málaga)	2.687.485	13.684.424	16.371.909	0,7953
TOTAL	41.288.000	253.354.247	294.642.247	0,6795

Tabla 5. Coste energético en las principales plantas desalinizadoras. Fuente: elaboración propia a partir de datos reales de consumo de energía correspondientes a 2019 y precios a enero 2023.

3.3.1. Nuevas plantas fotovoltaicas y su repercusión en los costes energéticos

Las plantas desaladoras impulsadas por energías renovables pueden reducir los costes energéticos a largo plazo y disminuir su huella ambiental. Para rebajar la factura energética, se han diseñado tres actuaciones para suministrar energía a la nueva producción de la ampliación de las instalaciones de Torrevieja, Águilas y Valdelentisco (Confederación Hidrográfica del Segura, 2022).

La información recogida en los pliegos y memorias de los expedientes de contratación para los anteproyectos de las instalaciones, recogen información sobre las características de las plantas fotovoltaicas con la que se puede estimar la producción energética previsible. Con superficies de entre 82 y 120 hectáreas, una potencia instalada entre 41 y 60 MW, la producción anual se puede estimar en casi 209 GWh anuales. Con esta capacidad de producción energética y teniendo en cuenta el consumo específico de energía de cada una de las plantas desaladoras implicadas, podemos disponer de energía para producir unos 55 hectómetros cúbicos de agua desalinizada al año.

ACTUACIÓN	SUPERFICIE (HECTÁREAS)	POTENCIA (kW)	PRODUCCIÓN ANUAL (kWh)
Planta energética Solar IDAM Torrevieja	120	60.000	87.600.000
Planta energética Solar IDAM Águilas	82	41.000	59.860.000
Planta energética Solar IDAM Valdelentisco	82	42.000	61.320.000

Tabla 6. Proyectos de plantas energéticas fotovoltaicas en la Demarcación del Segura. Fuente: elaboración propia a partir de información en los expedientes de contratación de los anteproyectos y datos del Plan Hidrológico de la Demarcación del Segura (2022-2027).

A partir de estas cifras es posible obtener la información financiera sobre la producción energética de estas plantas fotovoltaicas. El resultado por unidad energética (kWh producido), arroja un importe de 0,1088-0,1178 euros por cada kWh.

ACTUACIÓN	INVERSIÓN (€)	COSTES OPERATIVOS ANUALES (€)	CAE (€)	COSTE TOTAL ANUAL (€)	COSTE POR kWh (€)
Planta energética Solar IDAM Torrevieja	155.000.000	240.000	10.082.972	10.322.972	0,1178
Planta energética Solar IDAM Águilas	105.000.000	164.000	6.830.401	6.994.401	0,1168
Planta energética Solar IDAM Valdelentisco	100.000.000	168.000	6.505.144	6.673.144	0,1088

Tabla 7. Coste producción energía de las instalaciones fotovoltaicas. Fuente: elaboración propia a partir de información en los expedientes de contratación de los anteproyectos y datos del Plan Hidrológico de la Demarcación del Segura (2022-2027).

No obstante, lo interesante de esta estrategia es la reducción de los costes energéticos debido a la menor adquisición de energía de la red. Los casi 209 GWh que producirían las plantas fotovoltaicas se estima que permitirán reducir la factura energética en algo más de 30,8 millones de euros, permitiendo producir unos 55,1 hectómetros cúbicos de agua desalinizada.

NOMBRE ACTUACIÓN	COSTE ENERGÍA CON FOTOVOLTAICAS (€)			COSTE UNITARIO ENERGÍA (€/m ³)
	POTENCIA	CONSUMO	TOTAL AÑO	
Desalinizadora Torrevieja (Alicante)	6.879.961	47.569.786	54.449.747	0,4537
Desalinizadora Bajo Almanzora (Almería)	2.372.504	11.935.851	14.308.355	0,7154
Desalinizadora de Carboneras (Almería)	4.031.227	28.468.778	32.500.005	0,7420
Desalinizadora de Valdelentisco (Murcia)	6.718.712	32.589.790	39.308.502	0,5600
Desalinizadora Campo de Dalías (Almería)	4.165.602	20.828.651	24.994.253	0,8331
Desalinizadora de Oropesa del Mar (Castellón)	2.015.614	7.079.526	9.095.139	0,6737
Desalinizadora de Águilas (Murcia)	8.599.952	35.475.211	44.075.163	0,6296
Desalinizadora de Moncófar (Castellón)	1.596.678	11.143.772	12.740.449	0,6435
Desalinizadora de Sagunto (Valencia)	748.465	4.615.097	5.363.562	0,6541
Desalinizadora de Mutxamel (Alicante)	1.471.801	9.694.186	11.165.987	0,6381
Desalinizadora de la Costa del Sol (Málaga)	2.687.485	13.684.424	16.371.909	0,7953
	41.288.000	223.085.071	264.373.071	0,6097

Tabla 8. Coste energético en las principales plantas desalinizadoras con producción de energía fotovoltaica en tres plantas. Fuente: elaboración propia a partir de datos reales de consumo de energía correspondientes a 2019 y precios a enero 2023.

Como es lógico, para la aproximación a estas cifras, el potencial de producción energética procedente de las instalaciones de energía solar dependerá de factores no controlables, un funcionamiento continuo sin fallas y unos rendimientos en las redes de transporte cercanos al 100%.

3.4. Costes ambientales

Aunque las instalaciones dedicadas a la desalinización de agua marina pueden proporcionar una fuente alternativa de agua en regiones donde escasea el suministro de agua dulce, también pueden tener algunos costes ambientales asociados.

Además del consumo energético directo, las plantas desaladoras también pueden tener implicaciones en el medio ambiente en términos de emisiones de gases de efecto invernadero y generación de residuos.

Las plantas desaladoras requieren una cantidad significativa de energía para llevar a cabo el proceso de desalinización. Si la planta depende en gran medida de combustibles fósiles para generar esta energía, puede resultar en emisiones de gases de efecto invernadero y contribuir al cambio climático.

La toma de agua de mar necesaria para la desalinización puede tener impactos en los ecosistemas marinos locales. La captación de agua puede dañar o matar organismos marinos pequeños que quedan atrapados en los sistemas de filtración. Además, el rechazo del concentrado salino, un subproducto del proceso de desalinización, puede tener efectos perjudiciales en los organismos marinos si se libera directamente en el océano sin dilución adecuada.

Algunas plantas desaladoras utilizan productos químicos para el proceso de desalinización, como coagulantes y desinfectantes. Si estos productos químicos no se manejan adecuadamente o se liberan al medio ambiente sin el tratamiento adecuado, pueden tener impactos negativos en la calidad del agua y los ecosistemas acuáticos.

NOMBRE ACTUACIÓN	ENERGÍA (kWh/AÑO)	ENERGÍA SOLAR (kWh/AÑO)	ENERGÍA CON EMISIONES (kWh/AÑO)	EMISIONES (t CO ₂)	VALOR EMISIONES CO ₂ (€)
Desalinizadora Torrevieja (Alicante)	408.000.000	87.600.000	320.400.000	87.469	7.073.634
Desalinizadora Bajo Almanzora (Almería)	80.800.000	0	80.800.000	22.058	1.783.863
Desalinizadora de Carboneras (Almería)	192.720.000	0	192.720.000	52.613	4.254.778
Desalinizadora de Valdelelencisco (Murcia)	280.800.000	61.320.000	219.480.000	59.918	4.845.572
Desalinizadora Campo de Dalías (Almería)	141.000.000	0	141.000.000	38.493	3.112.929
Desalinizadora de Oropesa del Mar (Castellón)	47.925.000	0	47.925.000	13.084	1.058.065
Desalinizadora de Águilas (Murcia)	298.900.000	59.860.000	239.040.000	65.258	5.277.408
Desalinizadora de Moncófar (Castellón)	75.438.000	0	75.438.000	20.595	1.665.483
Desalinizadora de Sagunto (Valencia)	31.242.000	0	31.242.000	8.529	689.746
Desalinizadora de Mutxamel (Alicante)	65.625.000	0	65.625.000	17.916	1.448.837
Desalinizadora de la Costa del Sol (Málaga)	92.637.000	0	92.637.000	25.290	2.045.194
TOTAL	1.715.087.000	208.780.000	1.506.307.000	411.222	33.255.508

Tabla 9. Emisiones anuales de CO₂ derivado del consumo energético. Fuente: elaboración propia a partir de datos reales de consumo de energía correspondientes a 2019, el valor medio por tonelada de CO₂ en el mercado de emisiones y el mix de la red eléctrica española publicado por la CNMC. <https://gdo.cnmc.es/CNE/accesoEtiquetado.do>.

Con las anteriores consideraciones, asumiendo la corrección de los posibles efectos externos en la captación y los vertidos de los rechazos de las plantas, nos queda por considerar como coste ambiental el valor de las emisiones de gases de efecto invernadero como consecuencia del consumo de energía en la producción de las plantas desaladoras. De acuerdo al mix de la red eléctrica española publicado por la CNMC en el Acuerdo sobre etiquetaje de la electricidad relativo a la energía producida en el año 2022, las emisiones correspondientes a ese año ascienden a 273 gramos de CO₂ equivalente por cada kWh.

Realizando el balance de emisiones, eliminando el efecto de la energía producida por las instalaciones fotovoltaicas, tenemos una emisión de CO₂ anual, de acuerdo al mix de energía eléctrica, que asciende a 411.222 toneladas.

Por otra parte, teniendo en cuenta que el valor medio por tonelada de CO₂ en el mercado de emisiones correspondiente a 2022 es de unos 80,87 euros. El coste anual por las emisiones producidas por las plantas desalinizadoras asciende a unos 33,26 millones de euros.

También hay que tener en cuenta que la desalinización puede ofrecer beneficios ambientales al aumentar la disponibilidad de agua dulce y reducir la extracción de agua de fuentes naturales. Estos beneficios pueden ser difíciles de cuantificar de manera precisa, en función de los posibles ecosistemas afectados, la conservación de especies en peligro de extinción, o el alcance económico del suministro de agua más confiable y seguro.

3.5. Costes totales desalación

Revisadas las distintas partidas, la integración nos arroja un coste medio por metro cúbico de agua producido en las plantas analizadas de algo más de 1,34 euros. Las diferentes instalaciones presentan valores muy dispares como consecuencia de varios factores relativos a la capacidad (economías de escala), la adopción de medidas de modernización y ahorro energético y el acceso a fuentes energéticas subvencionadas (plantas fotovoltaicas).

El rango en el que tenemos los costes unitarios de producción de las instalaciones arranca desde los 1,06 euros por metro cúbico de la planta de Torre Vieja (la de mayor capacidad) hasta los 1,8749 de la planta de la Costa del Sol. El coste anual equivalente de la inversión representa el 32% del coste total, en cuanto que la energía alcanza hasta el 45% de media en los costes totales.

Si a los importes señalados le incorporamos los costes derivados de las emisiones, calculados en el apartado anterior, habría que sumar casi 0,08 euros adicionales por cada metro cúbico de agua desalinizada, alcanzando un valor medio de 1,42 euros por metro cúbico.

NOMBRE ACTUACIÓN	CAE INVERSIÓN (€)	COSTES OPERATIVOS* (€)	COSTES ENERGÍA (€)	COSTE TOTAL	
				€/AÑO/PLANTA	€/m ³
Desalinizadora Torrevieja (Alicante)	39.679.134	33.422.515	54.449.747	127.551.397	1,0629
Desalinizadora Bajo Almanzora (Almería)	9.343.203	6.838.467	14.308.355	30.490.025	1,5245
Desalinizadora de Carboneras (Almería)	13.541.606	16.711.258	32.500.005	62.752.868	1,4327
Desalinizadora de Valdelentisco (Murcia)	32.122.265	15.017.050	39.308.502	86.447.817	1,2315
Desalinizadora Campo de Dalías (Almería)	17.561.056	11.201.573	24.994.253	53.756.882	1,7919
Desalinizadora de Oropesa del Mar (Castellón)	6.580.950	6.738.921	9.095.139	22.415.010	1,6604
Desalinizadora de Águilas (Murcia)	38.032.524	16.274.786	44.075.163	98.382.473	1,4055
Desalinizadora de Moncófar (Castellón)	4.951.766	4.415.527	12.740.449	22.107.743	1,1166
Desalinizadora de Sagunto (Valencia)	3.606.485	3.900.651	5.363.562	12.870.698	1,5696
Desalinizadora de Muxamel (Alicante)	7.976.200	7.453.198	11.165.987	26.595.385	1,5197
Desalinizadora de la Costa del Sol (Málaga)	13.575.423	8.650.310	16.371.909	38.597.642	1,8749
	186.970.612	130.624.255	264.373.071	581.967.938	1,3422

Tabla 10. Costes de producción de las IDAM. *Sin incluir los costes energéticos.
Fuente: elaboración propia.

Los costes calculados se corresponden con la plena ocupación de la capacidad de producción de las instalaciones. En caso de que estas instalaciones no alcanzaran la plena capacidad de producción los costes se dispararían por el efecto que tienen los costes fijos, llegando hasta duplicarse con una utilización de la capacidad de producción de algo menos del 50% (Villar, 2014).

A los costes de producción de las aguas desalinizadas hay que añadirles los costes de transporte y distribución de estos recursos. Lamentablemente, las IDAM se encuentran localizadas próximas a la costa a nivel del mar. Y, sin embargo, el consumo de agua se realiza en el interior a unas altitudes sensiblemente superiores, lo que hace necesario el empleo de equipos de bombeo con un consumo energético considerable.

La conexión desde la desalinizadora de Torrevieja con el azud de Ojós, inicio de los canales del postravase Tajo Segura, necesita salvar un desnivel superior a los 200 metros de altura que, para un volumen transportado de agua estimado entre 51,266 y 58,436 hectómetros cúbicos anuales consumirá unos 35.595,51- 40.680,59 MWh en la elevación al embalse de la Pedrera, y otros 14.139,67 MWh para el bombeo de unos 27,805 hectómetros cúbicos en Ojós hacia el embalse de Mayés (Confederación Hidrográfica del Segura, 2021). Se estima un consumo de 0,7-1,2 kWh por cada metro cúbico, sólo en la impulsión desde la planta desalinizadora de Torrevieja hasta la cota necesaria para poder suministrar a las zonas regables del ATS.

4. CONCLUSIONES

La desalación juega un papel crucial en la mejora de la seguridad hídrica al proporcionar una fuente alternativa y confiable de agua dulce. Diversificando las fuentes de agua se puede reducir la dependencia de fuentes naturales, como ríos y acuíferos, que pueden estar sujetos a condiciones climáticas variables y la sobreexplotación. Los recursos desalinizados contribuyen a fortalecer la resiliencia y garantizar la disponibilidad de agua en el largo plazo, lo que es fundamental para el desarrollo económico.

Al agregar la desalación a la cartera de recursos hídricos, se puede aumentar la resiliencia ante sequías y fluctuaciones en la disponibilidad de agua dulce. La desalación es una herramienta eficaz frente a las sequías, ya que las plantas desalinizadoras pueden operar independientemente de las precipitaciones y, por lo tanto, proporcionar agua en situaciones de escasez extrema.

La desalación no solo aumenta la cantidad de agua disponible, sino que también mejora la calidad del agua potable especialmente en áreas donde la calidad del agua subterránea o superficial es deficiente o no cumple con los estándares de potabilidad.

En todo caso, en el contexto actual, la desalinización es la única fuente potencial existente para incrementar el volumen de agua disponible.

Sin embargo, no todo son posiciones en el haber para la desalación. El reto fundamental son los costes de esta alternativa. La inversión es considerable y el consumo de energía alto. De hecho, se tienen que aprovechar grandes economías de escala para hacer relativamente asequible esta opción. En este sentido, la planta desalinizadora de mayor volumen (Torrevieja, 120 hectómetros cúbicos al año) es la que presenta menores niveles unitarios de costes de todas las analizadas.

Los indicadores de costes unitarios, a plena capacidad de funcionamiento de las instalaciones, oscilan en un rango comprendido entre 1,0629-1,8749 euros por metro cúbico, siendo el valor medio de 1,3422 euros por metro cúbico de agua desalinizada producida.

Los costes energéticos suponen el 45% del coste total, incluso teniendo en cuenta las tres plantas de energía solar fotovoltaica programadas. Es, sin duda, el principal reto de estos recursos y su principal problema financiero.

Hay dos retos a los que se enfrenta la desalación que todavía no se han resuelto. Por una parte, la gobernanza desempeña un papel esencial en la desalinización de cara a la seguridad hídrica. Un marco normativo sólido, la planificación integrada, la participación pública, la evaluación de impacto ambiental y social, y la cooperación entre actores clave son elementos clave para garantizar una gestión responsable y sostenible de la desalinización, y así asegurar la seguridad hídrica a largo plazo.

Por otro lado, existe un potencial económico importante en el aprovechamiento de los rechazos de las plantas desalinizadoras. Es posible que en el futuro la producción de agua dulce pudiera ser considerada un subproducto (o el residuo) de la extracción de elementos y materiales presentes en el agua salada, dado el elevado valor de estos últimos.

AGRADECIMIENTOS

La investigación ha sido financiada por la Cátedra del Agua Diputación de Alicante-Universidad de Alicante y por el programa Misiones Ciencia e Innovación 2021, Recuperación, Transformación y Plan de Resiliencia, NextGeneration EU, en el marco del proyecto denominado Sostenibilidad, Agua y Agricultura en el siglo XXI, “SOS AGUA-XXI” (MIG-20211026), del Centro para el Desarrollo Tecnológico y la Innovación (CDTI), a través del consorcio de empresas integradas en el proyecto: Sacyr Agua, Bosonit, Valoriza Servicios Medioambientales, Föra Forest Technologies, Regenera Levante, Aqua Advise, y Aeromedia.

REFERENCIAS

- Etxaniz, J. (2005). Curso de Desalación AEDyR.
- Confederación Hidrográfica del Segura, CHS (2021). *Estudio sobre determinación de posibles tarifas y precios del proyecto para la interconexión de desaladoras en la Cuenca del Segura (Parte II)*. <https://www.chsegura.es>
- Confederación Hidrográfica del Segura, CHS (2022). *Plan Hidrológico de la Demarcación Hidrográfica del Segura (revisión de tercer ciclo: 2022-2027)*. <https://www.chsegura.es>
- García, M. (2023). Valoración Económica de los Rechazos de Salmuera de las Plantas Desalinizadoras. En: *XIII Congreso Internacional de AEDyR, 13-15 de junio de 2023*, Granada. <https://aedyr.com/congresos/xiii-congreso-internacional/>
- Ministerio de Hacienda y Función Pública (2006-2023). *Anexo Inversiones Presupuestos Generales del Estado*. <https://www.sepg.pap.hacienda.gob.es/sitios/sepg/es-ES/Presupuestos/PGE/Paginas/PresupuestosGE.aspx>
- Ministerio de Medio Ambiente, Medio Rural y Marino (2007). *Programa AGUA (Actuaciones para la Gestión y la Utilización del Agua)*. Ministerio de Medio Ambiente, Medio Rural y Marino.
- Red Eléctrica de España, REE (2023). *Análisis del comportamiento de la demanda 2022*. <https://www.ree.es/es/sala-de-prensa/actualidad/nota-de-prensa/2023/01/la-demanda-de-energia-electrica-de-Espana-desciende-un-6con7-por-ciento-en-diciembre>
- Rezaei Kalvani, S., and Celico, F. (2023). The Water–Energy–Food Nexus in European Countries: A Review and Future Perspectives. *Sustainability* 15, 4960. <https://doi.org/10.3390/su15064960>
- Torres, M. (2004). Avances tecnológicos y costes de la desalación. En: *actas de las Jornadas Técnicas sobre la desalación en el Programa AGUA* (pp. 23-48). Grupo Recoletos.
- Villar, A. (2014). El coste energético de la desalinización en el Programa AGUA. *Investigaciones Geográficas*, 62, 101-112. <https://doi.org/10.14198/INGEO2014.62.07>
- Zarzo, D. (2020). La Desalación del Agua en España. *Estudios sobre la Economía Española 2020/22*. FEDEA. <https://documentos.fedea.net/pubs/eee/eee2020-22.pdf>