



NACIONES
UNIDAS

EP

UNEP(DEPI)/MED IG.23/16



**PROGRAMA DE LAS NACIONES UNIDAS
PARA EL MEDIO AMBIENTE
PLAN DE ACCIÓN PARA EL MEDITERRÁNEO**

17 de octubre de 2017
Español
Original: inglés

20.^a reunión ordinaria de las Partes Contratantes del
Convenio para la Protección del Medio Marino
y de la Región Costera del Mediterráneo y sus Protocolos

Tirana (Albania), 17 a 20 de diciembre de 2017

Tema 3 del programa: Decisiones temáticas

Proyecto de decisión IG.23/13: Directrices actualizadas sobre la gestión de las actividades de desalinización

Por motivos ambientales y de ahorro, la tirada del presente documento es limitada. Se ruega a las delegaciones que lleven sus ejemplares a las reuniones y no soliciten copias adicionales.

Nota de la Secretaría

A tenor de lo dispuesto en el artículo 7 del Protocolo para la Protección del Mar Mediterráneo frente a la Contaminación

procedente de Fuentes Terrestres y Actividades Realizadas en Tierra y cumpliendo el mandato que le confirieron las Partes Contratantes en su decisión IG.22/20 sobre el programa de trabajo y el presupuesto 2016-2017, adoptada en la 19.^a reunión de las Partes Contratantes del Convenio para la Protección del Medio Marino y de la Región Costera del Mediterráneo y sus Protocolos (COP 19), la secretaría elaboró las Directrices actualizadas sobre la gestión de las actividades de desalinización, que actualizan las directrices incluidas en el informe técnico núm. 139 del Plan de Acción para el Mediterráneo (PAM) de 2003.

Las directrices actualizadas tienen por objeto brindar a las Partes Contratantes orientaciones técnicas apropiadas para reducir al mínimo posible todos los impactos ambientales de las actividades de desalinización.

Los cambios acaecidos desde el informe técnico del PAM elaborado en 2003, como el notable aumento de las actividades de desalinización a nivel global y en el Mediterráneo como consecuencia del incremento de la demanda de agua dulce, ponen de relieve la necesidad de contar con unas directrices actualizadas. Dicha actualización está impulsada asimismo por la necesidad de mejorar las tecnologías existentes, redoblar la viabilidad económica y reducir las repercusiones que tienen las actividades de desalinización en los ecosistemas marinos y costeros.

Las directrices actualizadas toman en consideración los logros realizados y las lecciones aprendidas al poner en práctica las directrices, así como los avances más recientes en pos de la gestión de las actividades de desalinización a nivel regional y global. Del mismo modo, un aspecto importante de esta actualización consiste en procurar que se tengan en cuenta las metas relativas al buen estado medioambiental relevantes, incluido su componente de integración.

Las directrices establecen una sinopsis actualizada de los métodos de desalinización de agua marinas existentes, prestando especial atención a los futuros avances tecnológicos, las tecnologías emergentes y el uso de energías renovables. También exponen las condiciones y tendencias actuales de la desalinización de agua de mar en la región del Mediterráneo.

Las directrices actualizadas pretenden establecer orientaciones actualizadas para identificar, evaluar y controlar los posibles efectos en el entorno marino y costero. Además, contemplan los principales impactos ambientales que tiene la desalinización del agua de mar, en especial en lo que respecta a la toma de agua de mar y la descarga de salmuera, al tiempo que determinan cuáles son los principales contaminantes emergentes. Incluyen además disposiciones actualizadas acerca de la evaluación del impacto ambiental, las mejores técnicas disponibles y las mejores prácticas ambientales. Por último, las directrices contienen una nueva sección en la que se proporciona información detallada para la vigilancia del medio ambiente, tanto durante la fase de construcción como tras el inicio de las operaciones, teniendo en cuenta el Programa de Evaluación y Vigilancia Integradas (IMAP). Las directrices incluyen igualmente un apéndice que establece los requisitos de vigilancia y la recopilación de datos.

La secretaría redactó la primera versión de las directrices actualizadas, que fueron examinadas en profundidad y revisadas por una reunión de expertos regionales que tuvo lugar en Loutraki (Grecia) del 4 al 6 de abril de 2017. La reunión de los puntos focales del Programa Coordinado de Vigilancia e Investigación de la Contaminación en el Mediterráneo (MED POL), celebrada en Roma (Italia) del 29 al 31 de mayo de 2017, revisó esta versión y aprobó la versión final para transmitírsela a la reunión de los puntos focales del PAM, la cual tuvo lugar en Atenas (Grecia) del 12 al 15 de septiembre de 2017.

La puesta en práctica de esta decisión está asociada al producto 2.5.1 del programa de trabajo propuesto. Tiene implicaciones presupuestarias para el Fondo Fiduciario del Mediterráneo y los recursos externos, que quedan patentes en el presupuesto propuesto. Se hará todo lo posible por establecer alianzas con las Partes Contratantes que tengan experiencia en este ámbito y en los proyectos Gestión Integrada y Sostenible del Agua (SWIM) y Horizonte 2020: Programa Marco de

Investigación e Innovación (H2020) a fin de facilitar su implementación. La secretaría diseñó asimismo varias actividades dentro del producto 2.5.1 del programa de trabajo para 2018-2019.

En la reunión de los puntos focales del PAM (Atenas (Grecia), 12 a 15 de septiembre de 2017) se revisó el proyecto de decisión y se aprobó para que las Partes Contratantes lo examinen en su 20.^a reunión.

Proyecto de decisión IG.23/13

Directrices actualizadas sobre la gestión de las actividades de desalinización

La 20.ª reunión de las Partes Contratantes del Convenio para la Protección del Medio Marino y de la Región Costera del Mediterráneo y sus Protocolos,

Teniendo presente el Protocolo para la Protección del Mar Mediterráneo frente a la Contaminación procedente de Fuentes Terrestres y Actividades Realizadas en Tierra de 1996, y en particular el artículo 7 de este, que establecía la necesidad de formular y adoptar directrices, estándares y criterios comunes para abordar las especificaciones técnicas precisas para luchar contra la contaminación provocada por fuentes terrestres y actividades realizadas en tierra,

Recordando las Directrices sobre la ordenación ambientalmente racional de las plantas de desalinización del agua marina en el Mediterráneo de 2003, y reconociendo los progresos realizados y las lecciones aprendidas en su ejecución,

Recordando igualmente la decisión IG.22 aprobada por las Partes Contratantes en su 19.ª reunión, por la que ordenaban la actualización de las directrices de 2003,

Observando que las actividades de desalinización están aumentando de forma exponencial en la región del Mediterráneo como consecuencia del incremento de la demanda de agua dulce y la mejora de la tecnología y la viabilidad económica,

Observando igualmente las repercusiones conexas que tienen las actividades de desalinización en los ecosistemas marinos y costeros,

Decidida a simplificar aún más los objetivos ecológicos del Plan de Acción para el Mediterráneo, en especial los relacionados con la contaminación, la biodiversidad y las metas relativas a la costa, la hidrografía y el buen estado medioambiental, con miras a garantizar que se logre o mantenga un buen estado medioambiental en los sitios,

Habiendo examinado el informe de la reunión de los puntos focales del Programa Coordinado de Vigilancia e Investigación de la Contaminación en el Mediterráneo celebrada en mayo de 2017,

1. *Aprueba* las Directrices actualizadas sobre la gestión de las actividades de desalinización, expuestas en el anexo de la presente decisión, que sustituyen a las directrices de 2003;
2. *Solicita* a las Partes Contratantes que hagan todo lo que esté en sus manos para garantizar su implantación efectiva en la zona del Mediterráneo;
3. *Exhorta* a las Partes Contratantes a velar por que se contemple la posibilidad de utilizar fuentes de agua y medidas alternativas (como la conservación de agua, la depuración de agua y la reutilización y prevención de las aguas residuales debidas a infraestructuras defectuosas, entre otras) antes de recurrir a la desalinización e indica que en las fases de planificación se debería fomentar y abordar el uso de tecnologías de desalinización que minimicen el consumo de energía, se sirvan de energías renovables, reduzcan las emisiones de gases de efecto invernadero, la evacuación de salmuera y el uso de productos químicos, y empleen materiales ecológicos;
4. *Exhorta asimismo* a las Partes Contratantes a que conciban y adopten criterios y estándares para la toma y la descarga de salmuera y a que procuren que las autoridades regulatorias nacionales los pongan en práctica, teniendo presente que los efectos acumulativos que tiene la desalinización en la región del Mediterráneo deben evaluarse empleando el enfoque ecosistémico y herramientas de modelización;
5. *Exhorta* además a las Partes Contratantes a que identifiquen, promuevan y fortalezcan las sinergias y los mecanismos de cooperación con el sector de la desalinización y otras partes interesadas de relevancia, a fin de garantizar que la desalinización se gestione de forma sostenible e integrada en la región del Mediterráneo;
6. *Solicita* a la secretaría que facilite la labor de las Partes Contratantes en lo que respecta a la aplicación de las Directrices actualizadas sobre la gestión de las actividades de desalinización, solicitando para ello cooperación y reforzando las sinergias en esa esfera con los

componentes del Plan de Acción para el Mediterráneo y en colaboración con el programa regional de la Unión Europea Horizonte 2020;

7. *Solicita igualmente* a la secretaría que forje alianzas estratégicas con el sector de la desalinización y otras partes interesadas relevantes, con miras a facilitar el acceso a datos y el intercambio de conocimientos acerca de las mejores técnicas disponibles y las mejores prácticas ecológicas para las actividades de desalinización en la región del Mediterráneo.

ANEXO

Directrices actualizadas sobre la gestión de las actividades de desalinización

Índice

| | |
|---|----|
| 1. Introducción | 1 |
| 2. Desalinización de agua de mar | 1 |
| 2.1. La necesidad de desalar agua de mar | 1 |
| 2.2. Breve descripción de los métodos de desalinización de agua de mar (comprobados) empleados en la actualidad..... | 2 |
| 2.3. Futuro de la tecnología de desalinización de agua de mar: tecnologías emergentes, mejora de los procesos y uso de energía renovable..... | 3 |
| 3. Situación y tendencias de la desalinización de agua de mar en la región del Mediterráneo ... | 4 |
| 3.1. Evolución de la desalinización del agua de mar en los países mediterráneos de 1999 a 2013.. | 5 |
| 3.2. Capacidad instalada para desalar agua de mar en el Mediterráneo y producción real | 6 |
| 4. Efectos ambientales de la desalinización de agua de mar, haciendo especial hincapié en el medio marino | 7 |
| 4.1. Toma de agua de mar | 7 |
| 4.2. Descarga de salmuera..... | 7 |
| 4.2.1. <i>Dispersión de la salmuera (efectos abióticos)</i> | 7 |
| 4.2.2. <i>Efectos de la salmuera (salinidad y temperatura) en la biota</i> | 8 |
| 4.2.3. <i>Efecto de los productos químicos empleados en el proceso de desalinización y descargados junto a la salmuera</i> | 9 |
| 4.3. Contaminantes emergentes..... | 10 |
| 5. Aspectos jurídicos de la eliminación de la salmuera, en relación con el Protocolo para la Protección del Mar Mediterráneo contra la Contaminación de Origen Terrestre, y determinación de lograr un buen estado medioambiental a partir del enfoque ecosistémico. | 11 |
| 5.1. El Protocolo para la Protección del Mar Mediterráneo contra la Contaminación de Origen Terrestre enmendado y la desalinización de agua de mar | 11 |
| 6. Evaluación del impacto ambiental (EIA) | 13 |
| 6.1. Descripción del proyecto..... | 14 |
| 6.2. La selección de tecnología y las características de las descargas..... | 14 |
| 6.3. Modelo de dispersión de la salmuera | 15 |
| 6.4. Descripción del entorno ambiental (terrestre y marino)..... | 15 |
| 6.4.1 <i>Descripción del medio terrestre</i> | 15 |
| 6.5. Evaluación de los posibles efectos | 16 |
| 6.5.1 <i>Posibles efectos durante la fase de construcción</i> | 16 |
| 6.5.2 <i>Posibles efectos tras el inicio de las operaciones</i> | 17 |
| 6.6. Mitigación de los efectos..... | 17 |
| 6.6.1 Mitigación de los efectos durante la construcción | 17 |
| 6.6.2 <i>Mitigación de los efectos tras el inicio de las operaciones</i> | 18 |
| 6.7. Mejores tecnologías disponibles y mejores prácticas ecológicas | 19 |

| | |
|--|-----------|
| 6.8. Sostenibilidad..... | 19 |
| 7. Vigilancia ambiental..... | 20 |
| 7.1. Vigilancia durante la fase de construcción..... | 21 |
| 7.2. Vigilancia a largo plazo tras el inicio de las operaciones..... | 21 |
| 7.2.1. Toma de muestras marinas | 22 |
| 7.2.2. Informe de la vigilancia..... | 23 |
| 7.2.3. Vigilancia en la planta..... | 23 |
| Cuestionario | 25 |
| Situación de la desalinización de agua de mar en la región del Mediterráneo | 25 |
| Cuestionario | 1 |
| Situación de la desalinización de agua de mar en la región del Mediterráneo | 1 |
| 1. Preguntas generales – Solo para plantas situadas a lo largo de la costa mediterránea o cerca de ella..... | 1 |
| 2. Información detallada para plantas de gran tamaño (>10.000 m³/día, producción de 3,65 millones m³/año) situadas a lo largo de la costa del Mediterráneo. (Copie la tabla si desea añadir columnas adicionales). | 2 |

Siglas y abreviaturas

| | |
|----------------------|--|
| CDI | Desionización capacitiva |
| CFC | Clorofluorocarbonos |
| PC | Partes Contratantes |
| COP | Conferencia de las Partes |
| AEMA | Agencia Europea de Medio Ambiente |
| EIA | Evaluación del impacto ambiental |
| UE | Unión Europea |
| FAO | Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura |
| GWI | Global Water Intelligence |
| OIEA | Organismo Internacional de Energía Atómica |
| IDA | International Desalination Association |
| IMAP | Programa de Evaluación y Vigilancia Integrada |
| IPCC | Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático |
| PAM | Plan de Acción para el Mediterráneo |
| MED POL | Programa Coordinado de Vigilancia e Investigación de la Contaminación en el Mediterráneo |
| MSF | Destilación instantánea por multietapa |
| Programa SWIM | Programa para la Gestión Integrada y Sostenible del Agua |
| PNUMA | Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente |
| PNUMA/PAM | Plan de Acción para el Mediterráneo del Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente |

1. Introducción

1. El Programa Coordinado de Vigilancia e Investigación de la Contaminación en el Mediterráneo (MED POL) del Plan de Acción para el Mediterráneo del Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA/PAM) se aprobó en la reunión de los puntos focales del MED POL y fue publicado en 2003 en el informe técnico núm. 139 del PAM, titulado "Sea Water Desalination in the Mediterranean. Assessment and Guidelines". En aquel momento, las directrices, ampliamente empleadas por las Partes Contratantes, se encontraban al día y estipulaban la necesidad de desalar agua del mar, las tecnologías básicas y la situación y las tendencias de la desalinización de agua marina en la región del Mediterráneo, hablando asimismo sobre las repercusiones ambientales y los aspectos jurídicos de la eliminación de la salmuera.

2. Desde 2003, las actividades de desalinización han aumentado exponencialmente en todo el mundo debido al incremento de la demanda de agua dulce y a la mejora de las tecnologías y la viabilidad económica. La región del Mediterráneo siguió la tendencia global y la capacidad de desalinización instalada subió de alrededor de 4 millones de m³/día en 2003 a 12 millones de m³/día en 2013. Las tecnologías también cambiaron, y aumentó la conciencia acerca de los posibles efectos ambientales, en especial en el medio marino. Además, el marco jurídico para la regulación de la eliminación de desechos en el Mediterráneo y los planes regionales en materia de contaminación (en el marco de los protocolos relativos a las fuentes terrestres y el vertimiento y el Programa de Acción Estratégico sobre la Lucha contra la Contaminación Causada por Actividades Situadas en Tierra (SAP/MED)) evolucionó para integrar los elementos del enfoque ecosistémico a fin de lograr y preservar un buen estado medioambiental.

3. Por este motivo, el MED POL está revisando y actualizando el informe técnico del PAM núm. 139 de 2003, en un intento por describir mejor las labores de desalinización en el Mediterráneo y evaluar sus impactos en el entorno costero y marino. Las nuevas directrices pretenden proporcionar a las Partes Contratantes orientaciones sobre cómo desalar de forma sostenible y sobre cómo vigilar el medio ambiente. Las nuevas directrices toman como fundamento publicaciones anteriores como el informe técnico núm. 139 del PAM (UNEP/MAP/MEDPOL 2003), el informe SWIM (Khordagui 2013), publicaciones del PNUMA y el Consejo Nacional de Investigaciones (NRC 2008, PNUMA 2008), entre otros, así como las publicaciones que se citan a lo largo del presente informe.

2. Desalinización de agua de mar

4. La desalinización de agua de mar representa alrededor del 60% de las actividades mundiales de desalinización y más del 80% de las realizadas en el Mediterráneo. Debido a la alta concentración salina del agua de alimentación, es también el tipo de desalinización que más energía consume. Por ello, las directrices actualizadas tratan la desalinización refiriéndose a la desalinización de agua de mar, pues entienden que la desalinización de agua salobre es frecuente en muchas partes del mundo, pero no en el Mediterráneo (Khordagui 2013, Lior 2017).

5. Otro aspecto que debe tenerse en cuenta es la diferencia entre la capacidad de desalinización instalada y la producción real de agua desalada. La mayoría de las estadísticas relativas a la desalinización (extraídas principalmente de informes de la International Desalination Association (IDA) y Global Water Intelligence (GWI)) se refieren a la capacidad de desalinización instalada. Sin embargo, la capacidad de desalinización instalada puede ser superior a la producción si las necesidades de desalinización cambian, normalmente como consecuencia de la variabilidad climática (años de sequía o lluviosos), la disponibilidad de agua natural o reutilizada y los costos financieros.

2.1. La necesidad de desalar agua de mar

6. En el último siglo, el consumo mundial de agua ha crecido más del doble de rápido que la población (FAO 2012). Este hecho, unido a la mayor frecuencia de las sequías y los cambios en la distribución de las precipitaciones a causa del cambio climático, ha hecho que disminuya el agua dulce

disponible. Si los patrones de consumo mundial actuales continúan, es posible que en 2025 dos tercios de la población mundial viva en situaciones de escasez de agua¹.

7. La crisis del agua, la disponibilidad cada vez menor de agua potable en muchas regiones y la mejora constante de las tecnologías de desalinización favorecieron el aumento de la desalinización en todo el mundo, en especial de la desalinización de agua de mar. Históricamente, la desalinización a escala comercial comenzó en torno a 1965. La capacidad global en 1970 rondaba los 8.000 m³/día, y alcanzó los 86,6 millones de m³/día a finales de 2015². Entre 1997 y 2008 la tasa compuesta de crecimiento anual de la desalinización fue del 17%. De 2007 a 2012 la desalinización creció de manera exponencial al 14% anual, mientras que entre 2012 y 2015 disminuyó un 3% al año (Gude 2016, Lior 2017). Se empezó a construir plantas de gran tamaño, que se volvieron viables desde el punto de vista económico. La desalinización en los países del Mediterráneo, de la que se hablará en la sección 3, fue un reflejo de la progresión mundial.

2.2. Breve descripción de los métodos de desalinización de agua de mar (comprobados) empleados en la actualidad

8. Las tecnologías de desalinización pueden dividirse en dos procesos fundamentales:

- a) el proceso de membrana (proceso no gradual), en el que se utilizan membranas semipermeables para separar el agua de las sales disueltas, y
- b) el proceso térmico (fase gradual), en el que se hierve el agua de alimentación (bajo temperaturas y presiones de funcionamiento adecuadas) y se obtiene agua potable al condensar el vapor resultante.
- c) Se están empezando a emplear asimismo tecnologías híbridas que engloban ambos procesos, como la destilación por membrana (véase a continuación).

9. Los procesos térmicos predominaron en el sector de la desalinización hasta 2003-2005, cuando fueron sobrepasados por la tecnología de membranas y, en especial, la ósmosis inversa (Gude 2016). A continuación se presenta una breve descripción de los métodos de desalinización (comprobados) en vigor según el tipo de tecnología.

2.2.1. Procesos de membrana

10. La ósmosis inversa se sirve de la presión para obligar a las moléculas de agua a pasar de la solución de alimentación a través de membranas semipermeables que retienen las sales y filtran las partículas, generando agua potable y salmuera. La eficiencia del proceso es del 0,45 en el caso del agua de mar y del 0,75 en el caso del agua salobre (Banco Mundial 2012). La salmuera obtenida con la ósmosis inversa del agua de mar tiene el doble de sal que dicha agua.

11. En las distintas etapas del proceso se pueden añadir productos químicos que se desechan posteriormente junto a la salmuera en el mar o la tierra, entre otros: coagulantes en la etapa previa al tratamiento (sales de hierro o aluminio, polímeros); biocidas (como cloro) y neutralizantes (sulfito sódico); inhibidores de la incrustación para impedir que las membranas se ensucien (como polifosfatos, polifosfonatos, ácido poliacrílico o ácido polimaleico); soluciones de limpieza para las membranas de la ósmosis inversa (soluciones ácidas y alcalinas y detergentes); y reguladores del pH y la dureza para el agua resultante (caliza).

12. Las siguientes fases, el empleo de productos químicos, la recuperación de energía y el aumento de la eficiencia se describieron en detalle (Fritzmann *et al.* 2007, Greenlee *et al.* 2009, Elimelech y Phillip 2011, Ghaffour *et al.* 2013). Con los últimos adelantos, las plantas de

¹<http://www.who.int/heli/risks/water/water/en/> (consultado el 6 de febrero de 2017).

²<http://www.iwa-network.org/desalination-past-present-future/>

desalinización de agua de mar mediante ósmosis inversa consumen de 3-4 kWh/m³ y emiten 1,4-1,8 kg CO₂/m³, produciendo un total de 10-100 g NO_x/m³ de agua desalada (Lior 2017).

13. La electrodiálisis es un proceso de separación electroquímica en el que, con una corriente continua, se transfieren iones a través de membranas intercambiadoras de iones, quedando el agua desalada como producto (NRC 2008). La electrodiálisis inversa, un tipo de electrodiálisis, puede emplearse con aguas de alimentación muy turbias.

2.2.2. *Procesos térmicos*

14. La destilación instantánea por multietapa se sirve de varias etapas, cada una de las cuales tiene una temperatura y presión sucesivamente menores, para vaporizar rápidamente el agua de la carga líquida. A continuación, los tubos del agua de alimentación entrante condensan el vapor, recuperando así la energía emitida por el calor de condensación (NRC 2008). La eficiencia es de 0,25 y la salmuera obtenida al desalar el agua de mar tiene una salinidad equivalente a 1,5 veces la del agua de mar y una temperatura en torno a 5 grados superior.

15. En las distintas etapas del proceso se pueden añadir productos químicos que se desechan posteriormente junto a la salmuera en el mar o la tierra: agentes antiespumantes, inhibidores de la corrosión, biocidas (como cloro) y neutralizantes (sulfito sódico), inhibidores de la incrustación para prevenir la suciedad (como polifosfatos, polifosfonatos, ácido poliacrílico o ácido polimaleico), soluciones de limpieza, y reguladores del pH y la dureza para el agua desalada (caliza). Las plantas de desalinización térmica están sujetas a la corrosión y la posterior descarga de metales (como el cobre) junto a la salmuera.

16. La destilación multiefecto es un método basado en la evaporación de películas delgadas en el que el vapor producido por una cámara (o "efecto") se condensa en la siguiente, en la que temperatura y la presión son menores, con lo que la vaporización recibe más calor. El proceso tiene una eficiencia de 0,34. En comparación con la destilación instantánea por multietapa, consume menos energía porque no se necesita tanto bombeo (NRC 2008). Las plantas de destilación multiefecto de gran tamaño incorporan la compresión térmica del vapor en los procesos en que se utiliza la presión del vapor (además del calor) para redoblar la eficiencia (NRC 2008).

2.3. Futuro de la tecnología de desalinización de agua de mar: tecnologías emergentes, mejora de los procesos y uso de energía renovable.

17. El sector de la desalinización, que crece constantemente, promovió la investigación y el diseño a fin de idear nuevas tecnologías, tecnologías híbridas, y rediseñar los componentes de los sistemas existentes para mejorar la eficiencia, reducir el consumo de energía y productos químicos, y disminuir la descarga de residuos y salmueras. A continuación se expone brevemente el futuro de la desalinización.

18. Ósmosis forzada. El proceso de la ósmosis forzada se basa en el principio de que, por el proceso osmótico natural, el agua (disolvente) se dispersa a través de una membrana semipermeable desde una región de concentración reducida a otra de concentración elevada. Entre la solución de alimentación de baja concentración y la solución final de alta concentración se coloca una membrana semipermeable. La posible diferencia química entre las dos soluciones hace pasar a las moléculas de agua por la membrana, desde la solución de alimentación hasta la final, reteniendo los solutos. A continuación se separa el agua y la solución final se reutiliza. Dependiendo de las características de la solución final, el proceso de separación puede ser costoso (Gude 2016, Straub *et al.* 2016, Amy *et al.* 2017).

19. La destilación por membrana es un proceso térmico que utiliza una membrana hidrofóbica microporosa como contactor para lograr la separación gracias al equilibrio entre líquido y vapor. La fuerza motriz de la destilación por membrana es la diferencia parcial de la presión del vapor mantenida

en las dos interfaces de la membrana (alimentación caliente y permeado frío). La solución de alimentación caliente entra en contacto con la membrana, que solo permite que el vapor pase a través de sus poros secos para que se condense en la parte refrigerante. El proceso requiere unas temperaturas y presiones inferiores a las de los procesos térmicos y de membranas ya explicados y puede lograr una recuperación del 90% (Banco Mundial 2012, OIEA 2015, Kim *et al.* 2016, Amy *et al.* 2017).

20. La desalinización por adsorción es un proceso cíclico de adsorción/desorción. En este proceso se introduce agua de mar sin tratar en un evaporador a su temperatura ambiente y se emplea un adsorbente para adsorber el vapor generado a una presión y temperatura muy bajas, en un entorno de presión reducida. Cuando el adsorbente se satura, se calienta para que libere el vapor (proceso de desorción) y a continuación se condensa en el interior de un condensador externo. Al contrario que en otros procesos térmicos, aquí no es necesario calentar el agua de alimentación (Kim *et al.* 2016).

21. Entre los procesos y tecnologías emergentes figuran la ósmosis por presión retardada (OPR), la electrodiálisis inversa, la destilación a baja temperatura y la desionización capacitiva (CDI). La mayoría de estas tecnologías no están comprobadas ni se utilizan en desalinizadoras a gran escala. La ósmosis inversa en circuito cerrado está cobrando peso en el ámbito comercial. La ósmosis forzada y la destilación por membrana se emplean en ámbitos muy concretos (Amy 2017).

22. Avances de las tecnologías actuales: El campo de la desalinización cambia y avanza constantemente, sobre todo en lo que respecta a la mejora del rendimiento, la reducción del consumo de energía y productos químicos y la descarga de salmuera. Algunos ejemplos son:

- a) La cero descarga de líquidos es un proceso que recupera el agua de los concentrados para acabar con los residuos líquidos. En teoría, los planes de cero descarga de líquidos pueden recurrir a la mayoría de las tecnologías emergentes. Este proceso es especialmente importante en la desalinización de agua salobre (Gude 2016, Tong y Elimelech 2016) y puede ser viable en pequeñas desalinizadoras de agua de mar;
- b) Constantemente se introducen mejoras en las membranas convencionales y se diseñan otras nuevas (membranología) para redoblar el rendimiento y disminuir el consumo de energía y las emisiones de gases de efecto invernadero conexas. Entre ellas se encuentran las membranas biomiméticas, que se basan en las acuaporinas (una proteína que transporta el agua), el agua sintética y los canales iónicos, el grafeno;
- c) Energías renovables. Cuando sea económicamente viable, la energía renovable solar (energía solar concentrada, fotovoltaica), geotérmica, eólica y marina (olas, mareas y corrientes) acabará sustituyendo a la energía convencional en los procesos de desalinización (Gude 2016, Amy *et al.* 2017). No obstante, el OIEA (OIEA 2015) prevé que en 2030 la desalinización impulsada por energías renovables solo bastará para cubrir el abastecimiento de agua a los hogares, pero que crecerá para satisfacer las necesidades industriales en 2050.
- d) Mejora de la tecnología difusora para reforzar los procesos de dilución cuando se descargue la salmuera en el mar (Portillo *et al.* 2013, Vila *et al.* 2011).

3. Situación y tendencias de la desalinización de agua de mar en la región del Mediterráneo

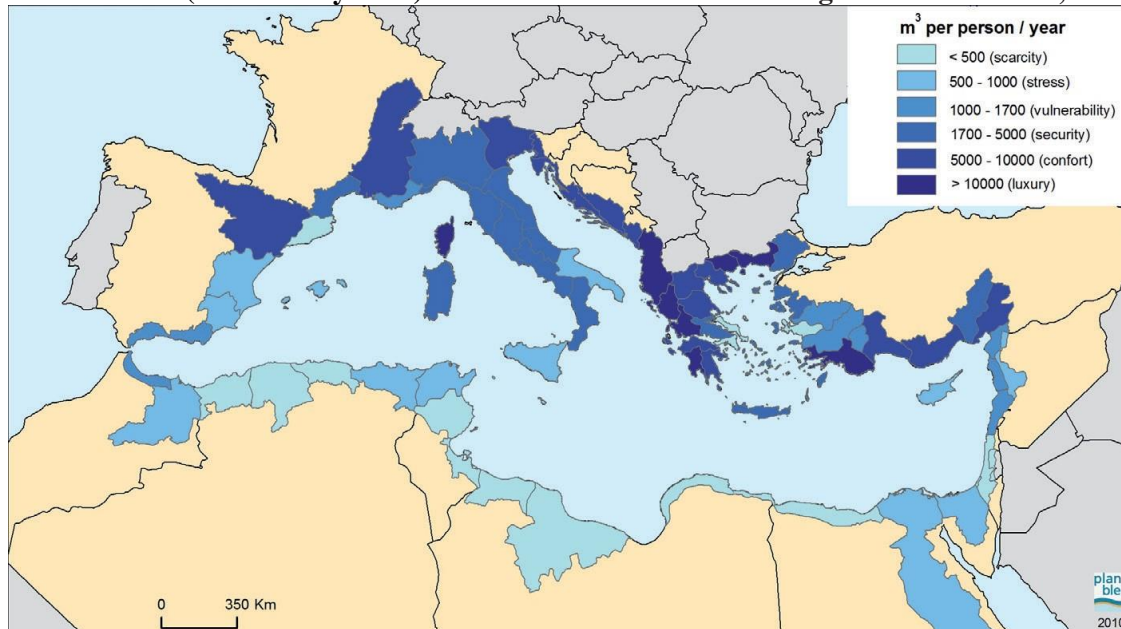
23. En los países que rodean el mar Mediterráneo, la distribución de los recursos hídricos naturales renovables por habitante oscila entre la escasez (<500 m³/persona/año) hasta la comodidad y el lujo (>5000 m³/persona/año) (AQUASTAT³, Plan Bleu, 2010).

24. Existe un desequilibrio entre las costas norte y sur del Mediterráneo, y se considera que esta última es una de las regiones con mayor escasez de agua del mundo. En consecuencia, la mayoría de las actividades de desalinización del Mediterráneo se concentran en las costas meridional y oriental, así como en España. En 2013 se habían instalado alrededor del mar Mediterráneo más de 1.532 desalinizadoras, con una capacidad instalada acumulativa de unos 12 millones de m³/día. La

³ http://www.fao.org/nr/water/aquastat/water_res/index.stm

desalinización de agua de mar por ósmosis inversa constituía cerca del 80% de la producción. La práctica totalidad del agua desalada producida se consume en los municipios como agua potable (Khordagui 2013).

Figura 1. Recursos hídricos naturales renovables por habitante en las distintas cuencas básicas del Mediterráneo (entre 1995 y 2005). Fuentes: Varios autores/Cartografía de Plan Bleu, 2010



25. En 2014, la Agencia Europea de Medio Ambiente y el PNUMA/PAM publicaron un informe que recogía los niveles de contaminación de la región y, en particular, los principales impulsores de los cambios ambientales y sus implicaciones para la protección del medio marino, obviando la desalinización (EEA-UNEP/MAP 2014). No obstante, en el informe del PNUMA/PAM de 2012 relativo a la situación del Mediterráneo se mencionó que la desalinización constituía un nuevo elemento de presión y un sector clave que afectaba al medio marino y costero del Mediterráneo (PNUMA/PAM 2012).

3.1. Evolución de la desalinización del agua de mar en los países mediterráneos de 1999 a 2013

26. En 1970 la capacidad total de desalinización en la región del Mediterráneo era de 0,025 millones m³/día.

27. A finales de 1999 había aumentado en casi dos órdenes de magnitud hasta una capacidad total de cerca de 2 millones m³/día, de los que el 41% se producía mediante la ósmosis inversa (PNUMA/PAM/MED POL 2003). España, donde se concentraba el 33% de la capacidad total, fue el mayor productor de agua desalada, obtenida en su mayor parte mediante la ósmosis inversa. Libia ocupó el segundo lugar al producir el 30% de la capacidad total, principalmente mediante el proceso de destilación instantánea por multietapa. Italia, Malta, Argelia y Chipre produjeron el 18%, 6%, 5% y 2% de la capacidad total, respectivamente (PNUMA/PAM/MED POL 2003).

28. En 2007 la capacidad de desalinización total en el Mediterráneo equivalía a 4 millones m³/día (el 14% de la capacidad total mundial). España, con el 35% de la capacidad total del Mediterráneo, fue el productor principal, seguido de Libia, con el 20%. Por su parte, Argelia, Israel, Italia, Malta y Chipre produjeron el 19%, 10%, 7%, 5% y 4% de la capacidad total, respectivamente (Lattemann *et al.* 2010a, Lattemann *et al.* 2010b). La ósmosis inversa fue el principal proceso empleado.

29. En 2011 la capacidad en los países del Mediterráneo aumentó hasta los 11,6 millones m³/día, aunque esta estimación podría englobar la desalinización en el Atlántico y el mar Rojo. España fue el principal productor (el 41% de la capacidad total del Mediterráneo), seguido de Argelia e Israel con el 15% y el 10%, respectivamente. Libia representó el 7% de la producción total e Italia y Egipto, el 6% cada uno (Cuenca 2013).

30. En el marco de la actividad 1.3.2.1 del Programa para la Gestión Integrada y Sostenible del Agua (SWIM) de la UE se evaluaron los posibles impactos ambientales de la desalinización en el entorno del mar Mediterráneo (Khordagui 2013) y la capacidad instalada. En 2013 la capacidad acumulativa de desalinización instalada era de 12 millones m³/día, lo que implica que de 2000 a 2013 la capacidad instalada creció en un 560% (un 40% anual). La ósmosis inversa fue la tecnología de desalinización utilizada con más frecuencia en la zona (alrededor del 82%), seguida de la destilación instantánea por multietapa (11%) y de la destilación multiefecto (6,5%). En 2013 España fue el productor principal (31% de la capacidad total), seguido de Argelia, Israel y Libia con el 20%, el 18% y el 11%, respectivamente.

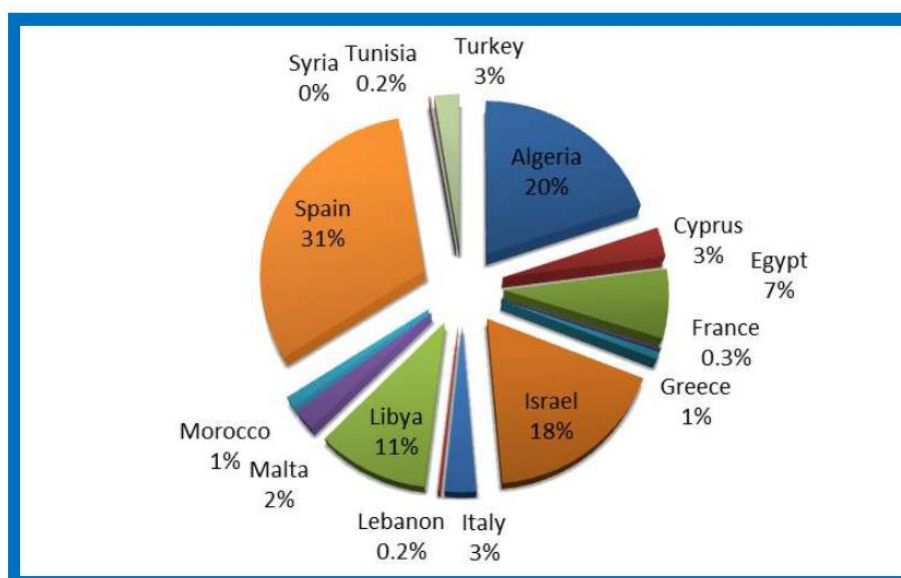


Figura 2. Contribución relativa de cada país mediterráneo a la capacidad de desalinización total de 12 millones m³/día en 2013. Figura extraída de Khordagui (2013) elaborada con datos de GWI Desal Data.

3.2. Capacidad instalada para desalar agua de mar en el Mediterráneo y producción real

31. El informe relativo a la SWIM (Khordagui 2013) es el informe colectivo más reciente acerca del estado de la desalinización en la región del Mediterráneo. Con el propósito de revisar y modificar los conocimientos actuales en la materia, se enviaron cuestionarios parcialmente cumplimentados a las Partes Contratantes, a las que se pidió que colaboraran rellenándolos. El cuestionario incluye preguntas generales (capacidad de desalinización instalada, producción real, contribución de la desalinización de agua de mar a la producción real y planes para el futuro) y específicas (número de plantas que desalan más de 10.000 m³/día, su ubicación, los procesos empleados, detalles sobre el uso de productos químicos y descargas al medio ambiente). El apéndice 1 de las directrices actualizadas contiene un modelo de cuestionario para recopilar información y datos en relación con las actividades de desalinización que puede emplearse con fines de evaluación.

4. Efectos ambientales de la desalinización de agua de mar, haciendo especial hincapié en el medio marino

32. La presente sección se ocupa de los efectos que tiene la desalinización de agua de mar en el medio marino tras la puesta en funcionamiento de las plantas, para lo cual se basa en Kress y Galil (2015) y en otros informes publicados y artículos revisados por pares citados en el texto. Las secciones 5 y 6 exponen los efectos ambientales que pueden producirse en las fases de construcción y funcionamiento. Las principales repercusiones que tiene la desalinización de agua de mar en el medio marino tienen que ver con dos componentes: la toma de agua de mar (agua de alimentación) en la planta desalinizadora y la descarga de salmuera. Sin embargo, existen pocos artículos que detallen los efectos cuantitativos *in situ* o en experimentos de laboratorio y los que hay tienen un alcance limitado (Roberts *et al.* 2010), aunque su número ha ido en aumento en los últimos años. Dichos artículos sugieren que los efluentes de la desalinización afectan a la biota marina situada en las proximidades del desagüe, pero sus conclusiones no son definitivas porque se contradicen entre sí. Las conclusiones se refieren a lugares concretos; dependen de la sensibilidad del entorno receptor, el proceso de desalinización empleado, el tamaño de la planta y la composición de la descarga; y cuentan con la dificultad de que no existen estudios a largo plazo. Las emisiones de gases de efecto invernadero también pueden afectar al medio marino como consecuencia de la acidificación de los océanos, pero no se hablará de ellas en esta sección.

4.1. Toma de agua de mar

33. El arrastre y la colisión de organismos marinos son los principales efectos asociados a la extracción del agua sin tratar (agua de mar) (NRC 2008, PNUMA 2008). También son los efectos menos estudiados y conocidos, en especial en lo que se refiere a la población.

34. El arrastre consiste en el transporte a la planta desalinizadora de pequeños organismos planctónicos dentro del flujo de agua de mar. Por lo general se considera que la flora y la fauna arrastradas que entran en la planta de desalinización perecerán durante las distintas etapas del proceso de desalinización, que incluye la aplicación de biocidas. Estos datos contrastan con los de las aguas refrigerantes de las centrales eléctricas, donde se ha observado una mortalidad menor (Mayhew *et al.* 2000, Barnhouse 2013). El arrastre puede paliarse realizando las extracciones lejos de zonas productivas desde el punto de vista biológico, como por ejemplo en aguas más profundas alejadas de la costa, o utilizando pozos subterráneos en las playas, si bien esta última solución es más difícil de aplicar en las plantas de desalinización a gran escala (NRC 2008, Elimelech y Phillip 2011).

35. La colisión tiene lugar en tomas abiertas, cuando organismos lo suficientemente grandes como para evitar pasar por las rejillas de toma instaladas se quedan atrapados contra ellas a causa de la fuerza generada por el flujo de agua de mar al entrar en la planta desalinizadora. Se tiene constancia de que la colisión de medusas en la fase de toma puede bloquear la toma y repercutir negativamente en la producción⁴. La colisión puede atajarse instalando rejillas adecuadas y aminorando la velocidad de toma. La Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos de América considera que una velocidad de toma de 0,152 m/seg constituye la mejor técnica disponible para reducir las colisiones. El proyecto ProDes, financiado por la UE, propuso una velocidad de toma máxima de 0,1 m/seg⁵.

4.2. Descarga de salmuera

4.2.1. *Dispersión de la salmuera (efectos abióticos)*

36. Se denomina aquí "salmuera" a la descarga hipersalina procedente de una planta de membranas y a la descarga hipersalina y tibia de una planta de desalinización térmica, sin los químicos empleados en el proceso. La dispersión de la salmuera puede variar considerablemente en función de

⁴ <http://gulfnews.com/news/uae/general/jellyfish-choke-oman-desalination-plants-1.355525>

⁵ http://www.prodes-project.org/fileadmin/Files/D6_2_Legislation_Guidelines.pdf

las características del emplazamiento, el volumen de efluentes, el método de descarga y las condiciones hidrográficas fundamentales. No obstante, la salinidad y la temperatura son superiores a las de referencia en los lugares de descarga aunque, como se ha mencionado, la zona afectada puede variar enormemente (Fernández-Torquemada *et al.* 2009, Holloway 2009, McConnell 2009, Drami *et al.* 2011, Kress y Galil 2012). Estudios sobre el efecto de la desalinización térmica en el golfo cerrado mostraron que afecta a la temperatura y la salinidad del agua y que aumentaba la salinidad de la región (Purnama *et al.* 2005, Lattemann y Hopner 2008, Uddin *et al.* 2011).

37. La descarga de salmuera puede incrementar la estratificación del agua, lo que, junto con el aumento de la salinidad y la temperatura, puede disminuir los niveles de oxígeno del agua. Durante la EIA de la ósmosis inversa de agua de mar llevada a cabo en Perth (Australia) se planteó esta cuestión. Sin embargo, aunque las observaciones mostraron una ligera estratificación del agua en la zona próxima al difusor, no se determinó que influyera de forma significativa en las concentraciones de oxígeno disuelto (Holloway 2009).

38. La descarga de salmuera puede tener otro efecto abiótico de carácter estético debido a la descarga de salmuera turbia. Este efecto se percibió en la ósmosis inversa de agua de mar de Ashkelon (Israel) donde, hasta 2010, la salmuera se descargó en corrientes que contenían hidróxido de hierro, el cual se usaba como coagulante en la fase previa al tratamiento y formaba una evidente "columna roja" (Safrai y Zask 2008, PNUMA 2008, Drami *et al.* 2011).

4.2.2. Efectos de la salmuera (salinidad y temperatura) en la biota

39. Desde hace tiempo se considera que la salinidad y la temperatura constituyen factores ambientales inhibidores para la supervivencia y el desarrollo de la biota marina (Murray y Wingard 2006, Wiltshire *et al.* 2010), por lo que se espera que ambos afecten a la biota próxima a las zonas de descarga de la salmuera de la desalinización.

i. Estudios de laboratorio y de mesocosmos

40. Los experimentos realizados en laboratorio y mesocosmos con la *Posidonia oceanica*, una especie de alga endémica del mar Mediterráneo de especial importancia para los hábitats incluida en el anexo II del Protocolo relativo a Zonas Especialmente Protegidas del Mediterráneo, han mostrado que, bajo determinadas condiciones, el aumento de la salinidad afecta a su función fisiológica, el crecimiento de sus hojas y su tasa de supervivencia (Fernández-Torquemada *et al.* 2005, Ruiz *et al.* 2009, Sandoval-Gil *et al.* 2012, Marín-Guirao *et al.* 2013).

41. Se demostró que otras dos algas mediterráneas (*Cymodocea nodosa* y *Zostera noltii*), incluidas también en el anexo II de dicho Protocolo, eran sensibles al incremento de la salinidad (Fernández-Torquemada y Sánchez-Lizaso 2011), mientras que otras especies de algas presentaban distintos grados de tolerancia al estrés derivado de la hipersalinidad (Walker y McComb 1990, Koch *et al.* 2007, Sandoval-Gil *et al.* 2012) (Walker *et al.* 1988, Koch *et al.* 2007, Sandoval-Gil *et al.* 2012a, Sandoval-Gil *et al.* 2012b).

42. Las combinaciones estresantes de temperatura y salinidad reducían sustancialmente el rendimiento de las larvas y el crecimiento del percebe *Amphibalanus improvisus* (Nasrolahi *et al.* 2012), mientras que se observó que la salinidad afecta a la estructura de silicio de las diatomeas (Vars *et al.* 2013).

43. La hipersalinidad mermaba la supervivencia embrionaria de la sepia gigante australiana (*Sepia apama*) y reducía su peso medio y la longitud de su manto (Dupavillon y Gillanders 2009). Todas las pruebas de la toxicidad de los efluentes llevadas a cabo con especies de importancia local como parte de la EIA de la desalinizadora por ósmosis inversa de Olympic Dam (Australia) atribuyeron la toxicidad a la mayor salinidad (Hobbs *et al.* 2008). Por otro lado, en una EIA integral efectuada en la

planta de desalinización por ósmosis inversa de Carlsbad (sur de California) con 18 especies comunes no se encontraron efectos dignos de mención (Le Page 2005).

44. Recientemente, un experimento de mesocosmos relativo al impacto de las salinidades elevadas (un 5% y un 15% por encima de la salinidad ambiental) en las poblaciones microbianas costeras del Mediterráneo oriental determinó que, tras unos 12 días de exposición, la clorofila y la productividad primaria aumentaban y la población microbiana cambiaba. Esto último dependía de la población inicial, la temporada y la intensidad del enriquecimiento salino (Belkin *et al.* 2015).

ii. Estudios *in situ*

45. Una investigación sobre el terreno de una pradera de *P. oceanica* situada a poca profundidad en España mostró que había sufrido daños tras seis años expuesta a la salmuera resultante de la ósmosis inversa (Sánchez-Lizaso *et al.* 2008), conclusión que coincidió con los estudios de laboratorio realizados. En España (costa sureste del Mediterráneo) se demostró también que la descarga de salmuera había alterado la comunidad bentónica (Del Pilar Ruso *et al.* 2007, Del Pilar -Ruso *et al.* 2008, de-la-Ossa-Carretero *et al.* 2016). Los equinodermos desaparecieron de la zona cercana al desagüe de la desalinizadora de agua de mar por ósmosis inversa de Dhekelia (Chipre) (Argyrou 1999). Sin embargo, no se percibió que la descarga de salmuera hubiera tenido efecto alguno en el noroeste del Mediterráneo (Raventos *et al.* 2006) ni en el suroeste de Florida (Hammond *et al.* 1998). Además, en algunos casos la vigilancia de la comunidad bentónica obtuvo resultados inconcluyentes debido al cambio en el tamaño de las partículas de los sedimentos, el cual puede modificar la composición de la comunidad (Shute 2009, Riera *et al.* 2011, Riera *et al.* 2012).

46. En estudios *in situ* se detectaron cambios en la composición y el funcionamiento de las comunidades microbianas del Mediterráneo y el mar Rojo (Drami *et al.* 2011, van der Merwe *et al.* 2014a, Belkin *et al.* 2017). Los cambios rápidos y prolongados de la salinidad no influyeron en la fotofisiología del simbiote algal del coral *Fungia granulosa*, que sí que varió al cambiar las condiciones de luz (van der Merwe *et al.* 2014b).

4.2.3. *Efecto de los productos químicos empleados en el proceso de desalinización y descargados junto a la salmuera*

47. Apenas se tiene conocimiento del impacto que tienen sobre el medio marino los productos químicos descargados junto a la salmuera. La aparición conjunta de factores estresantes como la salinidad, la temperatura, productos químicos y efluentes residuales descargados junto a la salmuera (como las aguas refrigerantes de las centrales eléctricas) impiden también analizar los resultados de los pocos estudios existentes, por lo que no es posible establecer una relación de acción-reacción.

48. El cloro se usa tanto en las desalinizadoras como en las centrales eléctricas para evitar la incrustación. En las plantas de ósmosis inversa, el cloro residual se oxida para evitar que dañe las membranas, mientras que en las plantas de desalinización térmica y en las centrales eléctricas puede descargarse junto a la salmuera. El cloro residual reacciona rápidamente con el agua de mar y forma complejos tóxicos como el bromoformo (Taylor 2006) que, según se ha podido constatar, se acumula en el hígado de la lubina (*Dicentrarchus labrax*). En ese mismo estudio no fue posible separar los efectos que tienen el bromoformo y la temperatura en la *Mytilus edulis*.

49. Se demostró que los productos corrosivos (metales) de las plantas de desalinización térmica, en especial el cobre —un material común en los intercambiadores de calor—, tendían a acumularse cerca de los desagües. Muchos de los estudios afirman que la presencia de cobre no supone un efecto adverso, ya que el cobre es un elemento que se encuentra en la naturaleza (Lattemann y Hopner 2008). No obstante, algunos estudios anteriores descubrieron que el cobre tenía repercusiones negativas para los equinodermos, los tunicados, y las praderas marinas y los microorganismos de Florida (Chesher 1971, Brand *et al.* 1986). Recientemente se ha tenido constancia de que en la zona de descarga de

salmuera de dos desalinizadoras de agua de mar por ósmosis inversa de Taiwán los sedimentos y bivalvos presentaban unas concentraciones de cobre y zinc superiores a las naturales (Lin *et al.* 2013).

50.El metabisulfito sódico ($\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_5$) se utiliza con frecuencia para limpiar las membranas empleadas en la ósmosis inversa. Las descargas en corrientes a corto plazo al medio marino pueden provocar su acidificación e hipoxia. Los bioanálisis de la toxicidad realizados en el lagarto capitán (*Synodus synodus*) de las islas Canarias revelaron que era muy sensible a la exposición a corto plazo a bajas concentraciones y que la mortalidad total se producía en concentraciones mayores (Portillo *et al.* 2013).

51.La toxicidad hallada al efectuar pruebas de la toxicidad de los efluentes en la diatomea *Nitzschia closterium* se atribuyó a la salinidad (70% de los efectos tóxicos), mientras que el 30% restante se asoció a los polifosfonatos inhibidores de la incrustación (Hobbs *et al.* 2008). En un estudio del mesocosmos llevado a cabo recientemente en el Mediterráneo oriental, la adición de fosfonato liberó de inmediato a la comunidad microbiana del estrés causado por el fósforo y en diez días redujo la diversidad bacteriana e incrementó la diversidad eucariótica (Belkin *et al.* 2017).

52.En estudios *in situ* se determinó que las sales de hierro empleadas como coagulantes en la fase previa al tratamiento en la desalinizadora de agua de mar por ósmosis inversa de Ashkelon (Israel) y descargadas en corrientes al mar menoscababan la eficiencia del crecimiento del fitoplancton en la zona del desagüe. Sin embargo, en un experimento de mesocosmos la adición de hierro alteró de inmediato la composición de la comunidad microbiana, fomentó la producción de bacterias y la eficiencia de estas y redujo la producción primaria. Diez días después, la biomasa autótrofa y el número de asimilación disminuyeron en comparación con la referencia (Drami *et al.* 2011, Belkin *et al.* 2017).

4.3. Contaminantes emergentes

53.Como ya se ha indicado, el sector de la desalinización es muy dinámico y se esfuerza por mejorar el rendimiento, reducir la cantidad de productos químicos empleados en el proceso y descargados con la salmuera, y utilizar menos sustancias nocivas (ingeniería verde). Por consiguiente, resulta difícil seguir el ritmo de los cambios y, por este motivo, los científicos ambientales deberían colaborar estrechamente con los operadores de las plantas de desalinización para que los asesoren sobre las modificaciones introducidas en el proceso. Por ejemplo, en la actualidad la desalinizadora de Hadera (Israel) recurre a la biofloculación en lugar de a la coagulación con sales de hierro en la fase previa al tratamiento, por lo que ya no se descarga hierro junto a la salmuera.

54.Otra dificultad radica en que muchos de los productos químicos (principalmente coagulantes e inhibidores de la incrustación) están protegidos con patentes, por lo que la composición exacta suele estar registrada y no puede divulgarse. En ese caso, es preciso identificar el compuesto activo e inventarlo junto a sus propiedades toxicológicas. Cabe mencionar que los contaminantes de los que se tiene conocimiento se utilizan también en el proceso, entre ellos ácidos, bases, soluciones de limpieza, sales metálicas y productos corrosivos (metales) conocidos.

55.Según un examen de las tecnologías existentes y de la situación actual, las tecnologías de desalinización generan los siguientes contaminantes:

| Contaminantes | Utilizados/producidos en el proceso de desalinización | |
|---|---|---------------|
| | Membrana | Térmica |
| Sales de Fe, sales de Al, polímeros orgánicos | Coagulantes | No utilizados |

| Contaminantes | Utilizados/producidos en el proceso de desalinización | |
|---|--|---|
| | Membrana | Térmica |
| Metales pesados (Fe, Ni, Cr, Mo) | Acero inoxidable Corrosión | Acero inoxidable Corrosión |
| Metales pesados (Cu, Ni, Ti) | Irrelevante | Corrosión por el calor |
| Cloro, otros oxidantes | Biocida, Utilizado pero neutralizado con bisulfito antes de su eliminación | Biocida Cloro residual |
| Bisulfito | Neutralizador biocida | No utilizado |
| Poliglicol, detergentes | No utilizados | Agente antiespumante |
| Detergente, oxidantes, agentes complejantes | Limpieza de membranas | No utilizados |
| Polifosfato, polifosfonato, polímeros orgánicos (ácidos polimaleicos y poliacrílicos) | Inhibidor de la incrustación | Inhibidor de la incrustación |
| Nutrientes (fósforo, nitrógeno, carbono) | Inhibidor de la incrustación | Inhibidor de la incrustación |
| Soluciones alcalinas | Limpieza (neutralizadas antes de su descarga) | No utilizadas |
| Soluciones ácidas | Limpieza (neutralizadas antes de su descarga) | Limpieza |
| | No utilizados | Inhibidores de la corrosión |
| Caliza (CaCO ₃) | Regulador del pH y la dureza del agua producida | Regulador del pH y la dureza del agua producida |
| Sal | Salmuera | Salmuera |
| Temperatura | Irrelevante | Salmuera |

5. Aspectos jurídicos de la eliminación de la salmuera, en relación con el Protocolo para la Protección del Mar Mediterráneo contra la Contaminación de Origen Terrestre, y determinación de lograr un buen estado medioambiental a partir del enfoque ecosistémico.

5.1. El Protocolo para la Protección del Mar Mediterráneo contra la Contaminación de Origen Terrestre enmendado y la desalinización de agua de mar

56. El Protocolo para la Protección del Mar Mediterráneo contra la Contaminación de Origen Terrestre enmendado estipula que las descargas desde fuentes puntuales al medio marino deben estar autorizadas o reguladas y que es preciso establecer un sistema de inspección y vigilancia. Contiene cuatro anexos y, aunque no alude a la desalinización como uno de los sectores de actividad que deben tenerse en cuenta a la hora de determinar las prioridades para la elaboración de planes de acción, los principios que en ellos se exponen pueden aplicarse al sector de la desalinización.

- i. El anexo I enumera 19 categorías de sustancias y fuentes de contaminación que deben tenerse en cuenta a la hora de redactar planes de acción, en su mayoría pertinentes para la desalinización, como los compuestos organohalogenados, nitrogenados y fosforosos, los metales pesados, los detergentes no biodegradables, las descargas térmicas o sustancias que no son tóxicas pero pueden afectar negativamente a la concentración de oxígeno o a las características físicas y químicas del agua de mar.
- ii. El anexo II describe qué elementos deben tenerse en cuenta al autorizar la descarga de residuos y proporciona una lista de comprobación que puede usarse durante el procedimiento de la evaluación del impacto ambiental (EIA, véase el capítulo 6).
- iii. El anexo III, sobre la descarga atmosférica, habla sobre el sector de la desalinización únicamente en el contexto del consumo de energía y las emisiones de gases de efecto invernadero.
- iv. El anexo IV especifica qué criterios deben seguirse para determinar cuáles son la mejor tecnología disponible y las mejores prácticas ecológicas (véase el capítulo 6).

57. Implementación del enfoque ecosistémico para lograr y mantener un buen estado medioambiental

58. El término "enfoque ecosistémico" se empleó por primera vez en un contexto normativo en la Cumbre para la Tierra de Río de Janeiro de 1992, donde se adoptó como concepto subyacente al Convenio sobre la Diversidad Biológica (CDB) (Beaumont *et al.* 2007, PNUMA/PAM 2016) y se definió como "una estrategia para la gestión integrada de la tierra, el agua y los recursos vivos que promueve la conservación y el uso sostenible de la diversidad biológica en forma equitativa". Basándose en el marco conceptual FPEIR (fuerzas motrices-presiones-estados-impactos-respuestas), el enfoque ecosistémico precisa diversos elementos (Farmer *et al.* 2012, Borja *et al.* 2016a, Borja *et al.* 2016B), a saber:

- i. la determinación de la fuente de las presiones derivadas de las actividades;
- ii. la disposición de un marco para la evaluación y gestión de los riesgos de cada peligro;
- iii. la integración vertical de las estructuras de gobernanza, desde el nivel local al global;
- iv. el establecimiento de un marco para la colaboración de las partes interesadas; y
- v. la prestación de servicios derivados de los ecosistemas y de beneficios sociales (Elliott 2014).

59. Exige igualmente que se realice una gestión adaptativa para lidiar con la naturaleza compleja y cambiante de los ecosistemas y afrontar el hecho de que no se entiende ni conoce por completo su funcionamiento.

60. El enfoque ecosistémico es el principio general del PNUMA/PAM, cuyo objetivo último es lograr y mantener el buen estado medioambiental del mar Mediterráneo y su costa (PNUMA/PAM 2012, 2014a, b, 2016). Este principio se incorporó a la labor del PNUMA/PAM mediante una serie de decisiones convenidas en reuniones de la Conferencia de las Partes (COP) del Convenio de Barcelona

61. La decisión IG.17/6 describía la visión ecológica para el Mediterráneo del siguiente modo: "Un Mediterráneo con ecosistemas marinos y costeros productivos y biológicamente diversos para beneficio de las generaciones presentes y futuras". Asimismo, esbozaba una hoja de ruta para la aplicación del enfoque ecosistémico compuesta por siete pasos, tales como la definición de la visión y los objetivos, el establecimiento de 11 objetivos ecológicos, objetivos operacionales y sus respectivos indicadores, el desarrollo de elementos descriptores del buen estado medioambiental y metas al respecto, el seguimiento de los programas y las medidas necesarias para lograr el buen estado medioambiental. La decisión IG.20/4 validaba el trabajo realizado en relación con los 11 objetivos ecológicos y los objetivos e indicadores operacionales para el Mediterráneo. En la decisión IG.21/3, relativa al enfoque desde el punto de vista de los ecosistemas, se adoptaron definiciones del buen estado medioambiental y se acordaron metas e indicadores comunes para la región. La adopción del Programa de Evaluación y Vigilancia Integradas del Mar Mediterráneo y sus Costas y Criterios de Evaluación Relacionados (IMAP) por parte de la 19.^a reunión de las Partes Contratantes del Convenio

para la Protección del Medio Marino y de la Región Costera del Mediterráneo y sus Protocolos (COP 19) constituye el último avance en lo que respecta a la aplicación del enfoque ecosistémico en el Mediterráneo (decisión IG. 22/7).

62. Los 11 objetivos ecológicos son⁶:

- i. Se mantiene o incrementa la biodiversidad.
- ii. Las especies no autóctonas no afectan de forma adversa al ecosistema.
- iii. Las poblaciones de peces y mariscos explotados con fines comerciales están dentro de los límites biológicamente seguros.
- iv. Las alteraciones de los componentes de las redes alimentarias marinas no tienen efectos adversos a largo plazo.
- v. Se impide la eutrofización provocada por el ser humano.
- vi. Se preserva la integridad del fondo marino.
- vii. La alteración de las condiciones hidrográficas no afecta negativamente a los ecosistemas costeros y marinos.
- viii. Se mantienen las dinámicas naturales de las zonas costeras y se preservan los ecosistemas y paisajes costeros.
- ix. Los contaminantes no tienen grandes repercusiones en los ecosistemas costeros y marinos ni en la salud humana.
- x. La basura costera y marina no perjudica a los ecosistemas costeros y marinos.
- xi. El ruido ocasionado por las actividades humanas no provoca grandes daños a los ecosistemas marinos y costeros.

63. La mayoría de los objetivos ecológicos y operacionales son aplicables al sector de la desalinización, tanto en los lugares de toma como en los de descarga (véase el capítulo 4). Por consiguiente, cuando se examine y vigile el lugar de eliminación es necesario velar por que se añadan los parámetros que ayudarán a definir la situación ambiental antes de empezar a funcionar y a seguir tendencias a largo plazo.

6. Evaluación del impacto ambiental (EIA)

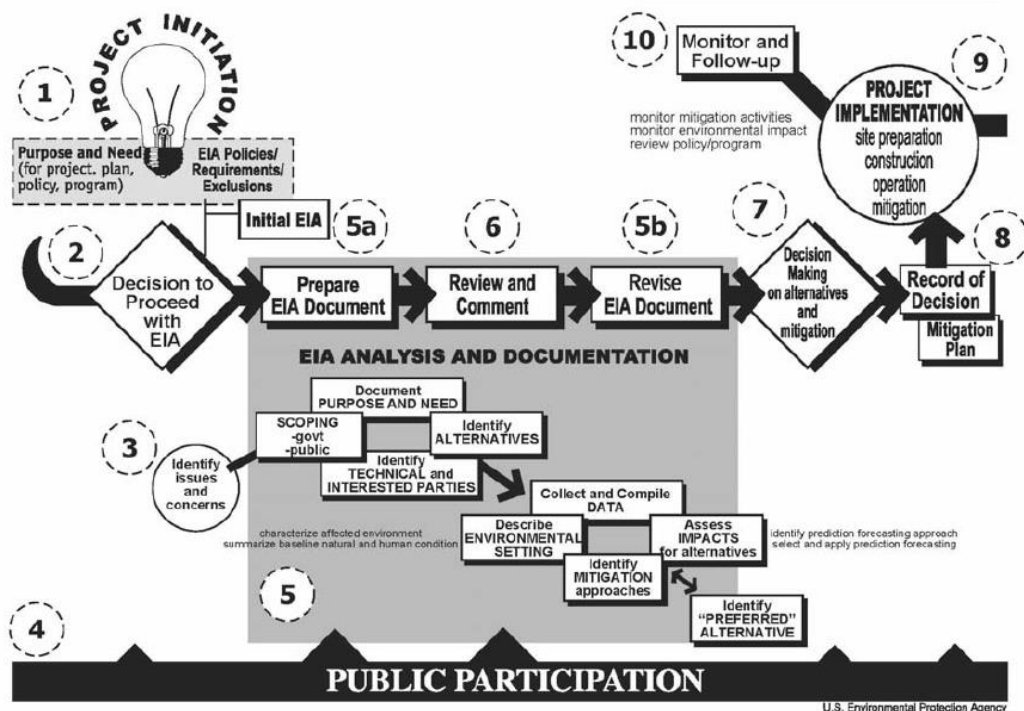
64. La evaluación del impacto ambiental (EIA) es el proceso con el que, en las fases de diseño y planificación, se identifican las repercusiones que se prevé que un avance o proyecto concretos tendrán en el medio ambiente. Si las repercusiones probables son inaceptables, se pueden adoptar las medidas de diseño o de mitigación que corresponda para mitigarlas o evitarlas. La EIA deben elaborarla profesionales y especialistas de un modo multidisciplinar, aunando a ingenieros, especialistas en el medio ambiente y diseñadores, y debe llevarse a cabo dentro del marco regulatorio nacional y junto a los encargados de la toma de decisiones. Se debe animar a las partes interesadas a que realicen aportaciones. El manual del PNUMA publicado en 2008 describe de forma pormenorizada el procedimiento de la EIA (PNUMA 2008). El siguiente diagrama ofrece un resumen sucinto de la EIA⁷.

⁶<http://web.unep.org/unepmap/who-we-are/ecosystem-approach>

⁷

<https://nepis.epa.gov/Exe/ZyNET.exe/5000016K.txt?ZyActionD=ZyDocument&Client=EPA&Index=1995%20T>

THE ENVIRONMENTAL IMPACT ASSESSMENT PROCESS



65. A continuación se describen las medidas propuestas, haciendo hincapié en el proceso de la EIA aplicable al sector de la desalinización. Se trata de orientaciones generales, no inclusivas, y deberían adaptarse en función de las características concretas del proyecto y de la ubicación de la planta de desalinización.

6.1. Descripción del proyecto

66. Al comienzo del documento del EIA se debe dar una descripción general del objetivo y de la necesidad del proyecto. Esta debe incluir los siguientes datos:

- La ubicación propuesta para la planta desalinizadora
- La ubicación conjunta con otras industrias (como centrales eléctricas)
- Los componentes de la planta situados en la costa y en alta mar (edificios, bombas, conductos, desagüe de salmuera), las actividades de construcción planificadas y los plazos
- La conexión con la red de abastecimiento de agua

6.2. La selección de tecnología y las características de las descargas

hru%201999&Docs=&Query=&Time=&EndTime=&SearchMethod=1&TocRestrict=n&Toc=&TocEntry=&QField=&QFieldYear=&QFieldMonth=&QFieldDay=&UseQField=&IntQFieldOp=0&ExtQFieldOp=0&XmlQuery=&File=D%3A%5CZYFILES%5CINDEX%20DATA%5C95THRU99%5CTXT%5C0000013%5C50000I6K.txt&User=anonymous&Password=anonymous&SortMethod=h%7C-&MaximumDocuments=1&FuzzyDegree=0&ImageQuality=r75g8/r75g8/x150y150g16/i425&Display=hpfr&DefSeekPage=x&SearchBack=ZyActionL&Back=ZyActionS&BackDesc=Results%20page&MaximumPages=1&ZyEntry=1&slide

67. La EIA debe contener una descripción tecnológica detallada del proceso de desalinización seleccionado, así como la justificación del proceso elegido. Esta debe incluir los siguientes datos:

- La tecnología de desalinización seleccionada y los detalles técnicos
- La capacidad de desalinización de la planta y los planes de expansión para el futuro
- El consumo de energía y el origen de esta
- La zona y el método para la toma de agua (toma abierta, pozo)
- Los pasos del tratamiento del agua durante el proceso de desalinización (entre otros, la fase previa al tratamiento, la aplicación de biocidas, las medidas contra las incrustaciones, las fases de limpieza, el tratamiento del agua desalada)
- El tipo de descargas y emisiones (marinas, terrestres y atmosféricas)
- El volumen total de las descargas y emisiones (diarias, anuales)
- La zona y el método de descarga de salmuera (descarga abierta, codescarga, desagüe marino con o sin difusores)
- Los patrones de la descarga de salmuera (continua, intermitente, variable)
- Las características fisicoquímicas de la salmuera (salinidad, temperatura, etc.)
- Las concentraciones y cargas de las sustancias descargadas y sus características ambientales (p. ej., persistencia, toxicidad, bioacumulación)

6.3. Modelo de dispersión de la salmuera

68. El proceso de EIA destinado a seleccionar el lugar y la metodología de eliminación debe ir acompañado de la elaboración de un modelo de la dispersión de la salmuera. Algunos de ellos son los modelos numéricos de campo cercano y campo lejano, modelos de circulación y modelos ecosistémicos (Brenner 2003, Christensen y Walters 2004, Botelho *et al.* 2013, Purnama y Shao 2015, Abualtayef *et al.* 2016).

6.4. Descripción del entorno ambiental (terrestre y marino)

69. Es preciso compilar y analizar de forma crítica los datos existentes relativos a los hábitats terrestres y marinos presentes en el emplazamiento propuesto para la planta de desalinización planificada, así como en las zonas de toma y descarga. Cuando no se disponga de datos o cuando estos sean parciales o estén obsoletos, se deberán realizar estudios antes de la construcción. El número de estudios y el momento en que se realicen (es decir, su estacionalidad) dependerá del emplazamiento elegido. Esta información (compilada o nueva) también proporcionará una valiosa referencia (línea de base) para la vigilancia ambiental que se llevará a cabo una vez que empiecen las operaciones (véase la sección 7). Es importante documentar qué metodología se emplea en las investigaciones de referencia, de modo que los resultados de la vigilancia posterior puedan asociarse a ella.

6.4.1 Descripción del medio terrestre

- Características físicas del paisaje (suelo, hábitat, geología)
- Usos actuales
- Valor arqueológico y cultural

- Valor ambiental
- Proximidad a zonas protegidas, presencia de especies protegidas en el área

6.4.2 Descripción del medio marino

- Condiciones oceanográficas y calidad del agua en la zona
- Usos actuales
- Composición y batimetría de los sedimentos
 - Biota en el agua y los compartimentos bentónicos, incluidas especies en peligro y exóticas, proximidad a zonas protegidas

6.5. Evaluación de los posibles efectos

70. La evaluación de los posibles efectos debe llevarse a cabo tomando en cuenta la documentación existente y, cuando sea preciso, complementarse con estudios de laboratorio, como una prueba de la toxicidad y todos los efluentes, y experimentos de mesocosmos. Como se ha señalado en la sección 4, no se dispone de documentación suficiente sobre los efectos que tiene la desalinización de agua de mar en el medio marino, si bien en los últimos años ha aumentado el número de publicaciones y la concienciación al respecto. Los efectos surgen durante las actividades de construcción en la tierra (construcción de la desalinizadora, las estaciones de bombeo y los conductos y su conexión con la infraestructura), durante las labores de construcción en el mar (instalación de la toma y el desagüe) y durante la fase operativa (toma de agua de mar y descarga de salmuera).

6.5.1 Posibles efectos durante la fase de construcción

71. En la fase de construcción, los posibles efectos derivan de las actividades de construcción llevadas a cabo en la tierra (construcción de la desalinizadora, las estaciones de bombeo y los conductos y su conexión con la infraestructura) y en el mar (instalación de la toma y el desagüe). La mayoría de los impactos son localizados y, aunque pueden cesar tras la fase de construcción, pueden ser importantes durante ella (PNUMA 2008, Lokiec 2013).

Terrestres

- Alteración del terreno natural
- Impacto en la flora y la fauna
- Efectos de los residuos de la construcción y del suelo sobrante
- Contaminación del suelo y de las aguas subterráneas (hidrocarburos, petróleo)
- Contaminación del aire (emisión de polvo)
- Emisión de ruido durante las obras de construcción
- Daños a elementos de valor arqueológico y a reservas naturales

Marinos

- Alteración del fondo marino (composición y batimetría)
- Resuspensión de los sedimentos durante las obras marinas (mayor turbiedad)
- Liberación de nutrientes y contaminantes (si los hubiera) con la resuspensión de los sedimentos

- Repercusiones para la biota bentónica debidas a la alteración del suelo marino y para la biota bentónica y pelágica debidas al aumento de la turbiedad y la mayor presencia de contaminantes
- Efectos en la vida marina sensible causados por el ruido, las vibraciones y la luz
- Contaminación por hidrocarburos procedentes de los buques implicados en las labores de construcción

6.5.2 Posibles efectos tras el inicio de las operaciones

72. Una vez que comienzan las operaciones, pueden aparecer los siguientes efectos:

Terrestres

- Alteración permanente del medio ambiente de los hábitats costeros
- Impactos estéticos causados por la estructura de la planta, y obstrucción del libre paso a lo largo de la costa como consecuencia de la ubicación de la planta, los conductos en la orilla y la estación de bombeado
- Emisión de gases de efecto invernadero y contaminantes del aire en el caso de que la electricidad se genere *in situ*
- Contaminación acústica y lumínica
- Vertido accidental o fuga de productos químicos
- Residuos sólidos y aguas residuales sanitarias

Marinos

- Alteración permanente de los hábitats marinos
- Cambios en la hidrografía y transporte de sedimentos
- Colisión y arrastre de la biota marina
- Deterioro de la calidad del agua y efectos biológicos debidos a la descarga de salmuera y de los productos químicos empleados en el proceso de desalinización
- Facilitación de la entrada de especies exóticas a causa del cambio de los hábitats y, en particular, del aumento de la salinidad y la temperatura
- Contaminación acústica y lumínica

6.6. Mitigación de los efectos

73. La EIA debería incluir una relación de las medidas que se adoptarán para evitar y mitigar los probables efectos perjudiciales que tendrá la planta de desalinización en el medio marino y costero. A continuación se presenta una lista de los pasos que deben tenerse en cuenta en este sentido, tanto en la fase de construcción como una vez que empiecen a funcionar las instalaciones.

6.6.1 Mitigación de los efectos durante la construcción

74. En la fase de construcción deben tenerse en cuenta los siguientes elementos a fin de mitigar los posibles efectos de la desalinizadora:

- Uso de métodos de construcción ecológicos, tales como la excavación horizontal en lugar de la utilización de zanjas para instalar los conductos
- Rehabilitación de zonas afectadas durante la construcción
- Diseño que garantice una alteración mínima del medio natural
- Reciclaje de los residuos de la construcción
- Uso de cuencas de contención para los tanques de combustible y petróleo
- Humidificación de la superficie para evitar la contaminación del aire causada por el polvo
- En el mar, uso de la excavación horizontal (lo más lejos posible de la orilla) y dragado controlado más allá de la técnica de microtunelización
- Cobertura de la zanja después de haber instalado los conductos y restauración de la batimetría original

6.6.2 Mitigación de los efectos tras el inicio de las operaciones

Terrestres

- Consumo de energía mínimo (estación eléctrica alimentada por gas natural o energías renovables)
- Aislamiento acústico y alumbrado externo mínimo
- Uso mínimo de productos químicos en el proceso; medidas de seguridad para el transporte, el almacenamiento y la administración; contenedores para los residuos sólidos; y descarga autorizada en la tierra
- Instalación subterránea de los conductos

Marinos

- Instalación de los conductos de toma y desagüe bajo el fondo marino para alterar el hábitat marino lo menos posible
- Velocidad de succión lenta para impedir las colisiones (o perforación de pozos)
- Rejilla móvil con autolimpieza para recoger los residuos del sistema de toma y eliminarlos en lugares autorizados para ello
- Dosificación del cloro (tratamiento de choque) en la toma en dirección a la planta para evitar su descarga al mar
- Sistema difusor en el desagüe para incrementar la disolución inicial y reducir la salinidad y la temperatura o, en la descarga abierta, disolución con los elementos que acompañan a la salmuera (por ejemplo, el agua refrigerante de la central eléctrica)
- Reducción de la descarga de salmuera y aumento de la recuperación

- Menor uso de productos químicos en el proceso
- Tratamiento en tierra de las corrientes
- Uso de productos químicos ecológicos
- Tratamiento de los reactores de caliza limpiándolos con las corrientes
- Neutralización de la solución inorgánica destinada a limpiar la membrana antes de la descarga

6.7. Mejores tecnologías disponibles y mejores prácticas ecológicas

75. Según el anexo IV del Protocolo para la Protección del Mar Mediterráneo contra la Contaminación de Origen Terrestre enmendado, "mejor tecnología disponible" se refiere a la última fase del desarrollo (moderno) de los procesos, instalaciones o métodos de funcionamiento que indican que una medida concreta es adecuada desde el punto de vista práctico para limitar las descargas, las emisiones y los residuos. Por otro lado, el mismo anexo define las mejores prácticas ecológicas como la aplicación de la combinación más adecuada de medidas y estrategias de control ambiental.

76. La directiva del IPCC volvió a abordar estas definiciones para explicar que "disponibles" se refiere a aquellas técnicas concebidas a una escala tal que hace posible aplicarlas en el sector industrial pertinente, bajo condiciones económicas y técnicas viables y tomando en cuenta los costos y las ventajas, mientras que "mejores" significa que son las más efectivas para alcanzar un nivel general de protección del medio ambiente elevado en su conjunto.

77. Se reconoce que las mejores tecnologías disponibles y las mejores prácticas ecológicas evolucionan con el tiempo en línea con los avances tecnológicos y científicos y con el cambio de los factores económicos y sociales. Así ocurre, especialmente, en el sector de la desalinización, que mejora y cambia con rapidez gracias a las innumerables investigaciones y a las labores de ingeniería introducidas en el desarrollo tecnológico. Por este motivo, los procesos de las mejores tecnologías disponibles y de las mejores prácticas ecológicas deberían seguir muy de cerca estos avances para:

- Multiplicar las tasas de recuperación (eficiencia de la desalinización)
- Minimizar el consumo de energía y productos químicos
- Sustituir los productos químicos, con los coagulantes de sales de hierro o los inhibidores de la incrustación, por sustancias más ecológicas o por procesos que no requieran el uso de dichos productos
- Disminuir las descargas o aumentar la disolución en el campo cercano
- Reutilizar la salmuera en nuevas tecnologías de desalinización para incrementar aún más el rendimiento del agua dulce
- Promover una producción más limpia

6.8. Sostenibilidad

78. La sostenibilidad integra la evaluación de los impactos económicos, ambientales y sociales en proyectos de gran tamaño, entre ellos la desalinización de agua de mar. Los impactos están firmemente interrelacionados y deben evaluarse de forma integrada. Los objetivos principales son el ahorro de materiales y recursos energéticos y la reducción de los residuos. En las fases de planificación y diseño de su proyecto, antes de su construcción y puesta en funcionamiento, se deben efectuar análisis de la sostenibilidad (Gude 2016, Lior 2017).

79. La evaluación de la sostenibilidad define indicadores que miden los impactos económicos, ambientales y sociales, su importancia relativa (o peso) y, cuando es posible, calcula un índice único

de la sostenibilidad de los compuestos al que agrega los indicadores y su importancia relativa. Aunque en el pasado la viabilidad de la desalinización solía valorarse en función de su fiabilidad económica y productiva, ahora también abarca aspectos ambientales y sociales.

80. Estos son algunos de los indicadores y factores que deben tenerse en cuenta al realizar un estudio de la sostenibilidad:

i. Económicos

- Consumo y demanda de agua
- Costo de las fuentes de agua alternativas (conservación de los recursos naturales, recogida de lluvia, tratamiento y reutilización del agua y prevención del desperdicio de agua debido a fugas y tuberías defectuosas, entre otros)
- Costo total del agua desalada, sin subsidios
- Fuente de energía y tecnología del proceso
- Costo de funcionamiento y mantenimiento

ii. Ambientales

- Enfoques de la EIA y de las mejores tecnologías disponibles
- Efectos en el agua sin tratar y su entorno (toma y descarga de salmuera)
- Agotamiento de los recursos (desalinización de agua salobre)
- Emisiones de gases de efecto invernadero
- Transporte transfronterizo contaminante (descarga de salmuera)

iii. Sociales

- Repercusiones para la salud humana (calidad del agua desalada)
- Uso de la tierra y rápido crecimiento local no planificado, sin infraestructura conexa
- Aceptación social, confianza en el abastecimiento de agua desalada
- Efectos en sectores que consumen agua, como la agricultura
- Efectos en actividades recreativas u otros usos legítimos del mar y la costa

7. Vigilancia ambiental

81. La vigilancia ambiental constituye un requisito legal al que se hace referencia en el Protocolo para la Protección del Mar Mediterráneo contra la Contaminación de Origen Terrestre enmendado (artículo 8), además de un requisito científico para hacer un seguimiento de los efectos que puede tener la desalinización del agua de mar en el medio marino. La vigilancia ambiental debe seguir el estudio de referencia que se efectúe durante la EIA (véase el párrafo 68), que no debería limitarlo. Durante la fase de construcción, la vigilancia no será igual que la vigilancia ambiental a largo plazo necesaria cuando la planta esté en funcionamiento. Ciertas publicaciones hablan de la vigilancia ambiental en las plantas desalinizadoras (NRC 2008, PNUMA 2008, Lattemann y Amy 2012). Es recomendable avisar lo antes posible a las autoridades nacionales pertinentes si durante el estudio de vigilancia se observan desviaciones respecto de las condiciones ideales.

7.1. Vigilancia durante la fase de construcción

82.La vigilancia durante la fase de construcción debe planificarse en función de las consecuencias que pueden tener las actividades de construcción en la tierra y el mar (apartado 6.5). Su objetivo es determinar si los impactos de una actividad son aceptables y, de no ser así, introducir medidas de mitigación lo antes posible.

83.La vigilancia terrestre durante la construcción debe englobar las siguientes acciones:

- i. Vigilar la eliminación *in situ* de los residuos derivados de la construcción para evitar que dañen la tierra externa a la zona en que se lleva a cabo
- ii. Vigilar la descarga accidental de combustible, petróleo, otras sustancias y polvo a fin de prevenir la contaminación de los suelos, la tierra y la atmósfera
- iii. Vigilar los niveles de ruido y luz y, si es necesario, limitar las horas operativas
- iv. Cuando termine la construcción es preciso inspeccionar el área para comprobar que se aplicaron medidas para rehabilitar la zona, que no se dejaron zanjas abiertas, que todas las construcciones temporales fueron retiradas, etc.

84.La vigilancia marina durante la construcción debe englobar las siguientes acciones:

- i. Vigilar los niveles de turbiedad del agua y, si se encuentran por encima de un valor predeterminado, regular las operaciones de dragado
- ii. En zonas sensibles en las que se sospeche que los sedimentos están contaminados, hacer un seguimiento de la liberación de contaminantes a la columna de agua
- iii. Vigilar los niveles de ruido, vibración y luz que puedan suponer una perturbación para los mamíferos marinos y otra vida marina sensible
- iv. Vigilar la calidad de los sedimentos empleados para cubrir los conductos, si no proceden de la fuente local
- v. Cuando termine la construcción es preciso incluir todas las instalaciones marinas en un mapa batimétrico actualizado
- vi. Se debería vigilar a las praderas marinas y los lechos de macroalgas para comprobar su recuperación

7.2. Vigilancia a largo plazo tras el inicio de las operaciones

85.La vigilancia periódica del medio marino tras la puesta en funcionamiento de la planta debería constituir un compromiso a largo plazo que se prolongue durante toda la vida de la planta desalinizadora y años posteriores, de acuerdo con las condiciones ideales. A fin de no sacar conclusiones erróneas sobre los efectos ambientales de la desalinización de agua de mar, resulta esencial normalizar estas series de datos a largo plazo sometidas a los controles adecuados.

86.El plan de vigilancia debe tener como fundamento el documento de la EIA y otros documentos de gestión ambiental elaborados antes de la construcción de planta con arreglo a las condiciones ideales. Los datos resultantes de la vigilancia deben analizarse de manera periódica y crítica, de modo que sea posible modificar el diseño de la vigilancia cuando sea necesario, aplicar los requisitos ideales para la obtención de licencias y exigir medidas de mitigación cuando se considere que los efectos son excesivos. Los datos deben publicarse y difundirse a la comunidad de modo que pueda transmitir sus observaciones a las autoridades reguladoras y los científicos que efectúen la vigilancia.

87.A continuación figuran los componentes generales recomendados para un estudio de vigilancia. La vigilancia específica debe adaptarse en función del contexto ambiental y la sensibilidad de este y de la tecnología de desalinización empleada, incluidos los métodos de toma y descarga de salmuera, y en cumplimiento de las leyes y los requisitos internacionales y nacionales. Las

autoridades reguladoras nacionales deben aprobar el programa de vigilancia antes de su puesta en práctica.

7.2.1. Toma de muestras marinas

88. La frecuencia de la toma de muestras y los métodos empleados para ella deben decidirse en función de las características de cada lugar. Es recomendable que, al principio, la vigilancia se realice al menos dos veces al año en las estaciones pertinentes (es decir, en invierno y verano o en primavera y otoño). Se recomienda igualmente incluir otros estudios durante las operaciones de limpieza de la planta.

89. Estaciones de muestreo. El diseño inicial de las estaciones de muestreo debe basarse en el patrón de dispersión de la salmuera observado al elaborar los modelos. Se precisan dos redes de muestreo: una amplia red de estaciones para seguir y delimitar la dispersión y extensión de la columna de salmuera en el momento de llevar a cabo el estudio (en adelante, estaciones de dispersión), y una red más pequeña de estaciones para tomar muestras de agua, sedimentos y biota con vistas a evaluar los efectos de la descarga de salmuera (en adelante, estaciones de muestreo). La ubicación de las estaciones de dispersión debe ser flexible y actualizarse *in situ* según la dispersión real de la salmuera (que se determinará midiendo la temperatura y la salinidad del agua de mar durante el estudio) o siguiendo el examen de los datos de vigilancia⁸. Las estaciones de muestreo deben situarse en tres zonas generales: zonas impactadas (en la zona de mezcla, donde la salinidad y la temperatura están al máximo nivel), zonas afectadas (fuera de la zona de mezcla, pero aún bajo la influencia de la salmuera) y zonas de referencia (donde no haya llegado la salmuera). Es recomendable que se obtengan muestras de tres o cuatro estaciones en cada zona.

90. Las embarcaciones de muestreo deben estar equipadas con un sistema de posicionamiento global adecuado y tener capacidad para albergar los instrumentos científicos y el personal necesarios. Durante la toma de muestras es preciso mantener un registro detallado que incluya la fecha del estudio, el nombre de los participantes, las condiciones meteorológicas y el estado del mar (temperatura del aire, vientos, corrientes y olas), la posición exacta de cada estación (latitud, longitud, profundidad), la hora en que se ocupó la estación y las muestras que se tomaron, y cualquier suceso extraño que se produzca durante la toma de muestras o en el mar.

91. Parámetros que deben medirse. En general, para decidir qué parámetros deben medirse se deben tener en cuenta las descargas que se prevé que realizará la planta de desalinización, estipuladas en la EIA, los objetivos ecológicos y operacionales, y la definición del buen estado medioambiental.

92. Es preciso que en las estaciones de dispersión se midan perfiles de temperatura, salinidad, oxígeno, fluorescencia y turbiedad a una profundidad constante.

93. En las estaciones de muestro se tomarán muestras de tres compartimentos: agua de mar, sedimentos y biota.

- i. Agua de mar: Algunos de los parámetros básicos son los perfiles a profundidad constante, como en las estaciones de dispersión; la concentración de partículas suspendidas; los nutrientes (nitratos, nitritos, amonio, nitrógeno total, fosfato, fósforo total, ácido silícico); los metales; la clorofila; y las sustancias descargadas en el mar descritas en la EIA. Los siguientes parámetros de la biota marina son opcionales y deben tenerse en cuenta dependiendo de las características de la

⁸ Debe valorarse la posibilidad de establecer estaciones de vigilancia *in situ* con instrumentos que registren la temperatura, la salinidad, el nivel de oxígeno disuelto y la fluorescencia. Sin embargo, es cierto que puede ser difícil montar estas estaciones por el elevado costo del instrumento y su mantenimiento.

- zona: población microbiana (cantidad de fitoplancton y bacterias) y composición, tasas de producción primaria y bacteriana, población de zooplancton (cantidad y composición)⁹.
- ii. Sedimentos. Algunos de los parámetros básicos son la distribución del tamaño de los sedimentos (granulometría), la concentración de metales pesados (como mercurio, cadmio, cobre, zinc, hierro y aluminio) y carbón orgánico, y la estructura de la comunidad de la fauna (número de especímenes y definición taxonómica a nivel de especie, de ser posible)¹⁰. Si la zona de descarga es rocosa, es preciso definir y evaluar a la población sésil. En el caso de que la zona de descarga se encuentre junto a praderas marinas y lechos de macroalgas, también se deben definir y evaluar estos elementos.
 - iii. Biota. Además de los parámetros mencionados en relación con las muestras de agua de mar y sedimentos, también se debe vigilar a las especies en peligro y las especies invasivas definidas en la EIA.

94. Los métodos de muestreo deben facilitar la recopilación de muestras representativas. Los instrumentos de medición *in situ* deben calibrarse siguiendo las especificaciones del fabricante.

95. Recopilación de muestras. Es preciso marcar las muestras y asignarles identificadores únicos. En un programa de vigilancia a largo plazo se ocupará la misma estación en repetidas ocasiones, por lo que, a fin de evitar confusiones, uno de los identificadores debe ser la fecha. Las muestras deben conservarse de manera apropiada después de tomarlas, durante el transporte y hasta la fase de medición en el laboratorio.

96. Métodos analíticos. De las mediciones analíticas deben encargarse, preferiblemente, laboratorios acreditados o, de no ser posible, laboratorios con metodologías de control/garantía de calidad. A fin de poder evaluar el impacto de la salmuera y hacer un seguimiento de los cambios a lo largo del tiempo, el método analítico que se elija debe ser riguroso y preciso.

7.2.2. Informe de la vigilancia

97. El informe de la vigilancia debe incluir:

- i. Una introducción en la que se describa la tecnología de la planta desalinizadora, la producción mensual, la toma y la descarga de salmuera (volumen y composición) y cualquier fallo que pueda haber afectado al medio marino (como la descarga imprevista de material sólido)
- ii. Una descripción detallada del estudio de vigilancia en el que figuren las fechas, el estado del mar, la ubicación de las estaciones de muestreo, las características de las muestras tomadas en cada estación, los métodos de muestreo, los métodos de preservación de las muestras y los métodos analíticos empleados
- iii. Los resultados, con cuadros de todos los datos recopilados *in situ* y en el laboratorio
- iv. Un análisis que incluya mapas de la dispersión de la salmuera y una evaluación de los impactos basada en la EIA y la documentación científica disponible
- v. Conclusiones
- vi. Recomendaciones para continuar la vigilancia, como cambios en el número y la ubicación de las estaciones, en los parámetros medidos y en la frecuencia de la toma de muestras

7.2.3. Vigilancia en la planta

98. La vigilancia en la planta debe tener en cuenta, entre otros factores, la calidad del agua sin tratar (toma de agua de mar) y el volumen y la composición de la salmuera.

⁹ Se considera que las herramientas genómicas son una vía prometedora y emergente para mejorar la vigilancia de los ecosistemas, ya que estos enfoques tienen el potencial de aportar nuevas medidas más precisas y eficaces en función del costo. Los metacódigos de barras constituyen la herramienta más prometedora.

¹⁰ Se considera que las herramientas genómicas son una vía prometedora y emergente para mejorar la vigilancia de los ecosistemas, ya que estos enfoques tienen el potencial de aportar nuevas medidas más precisas y eficaces en función del costo. Los metacódigos de barras constituyen la herramienta más prometedora.

- i. Toma de agua de mar: Concentrarse en parámetros que puedan afectar al proceso de desalinización y a la calidad del agua desalada.
- ii. Salmuera antes de su eliminación: Volumen de descarga, temperatura, salinidad, concentración de los productos químicos usados en el proceso de desalinización y descargados junto con la salmuera.

Apéndice 1
Cuestionario

Situación de la desalinización de agua de mar en la región del Mediterráneo

Cuestionario**Situación de la desalinización de agua de mar en la región del Mediterráneo****1. Preguntas generales – Solo para plantas situadas a lo largo de la costa mediterránea o cerca de ella**

1.1. País: _____

1.2. ¿Cuántas plantas de desalinización están en funcionamiento en su país a lo largo de la costa mediterránea o cerca de ella? _____

1.2.1. ¿Cuántas plantas desalan agua de mar? _____1.2.2. ¿Cuántas plantas desalan agua salobre? _____1.2.3. ¿Cuántas plantas tienen una capacidad productiva de $>50.000 \text{ m}^3/\text{día}$? _____

1.3. ¿Cuál es la producción anual total de agua desalada? _____

1.3.1. ¿Cuál es la producción anual total de agua desalada? _____1.3.2. ¿Cuál es la producción total anual real obtenida con la desalinización de agua de mar?

1.4. ¿Hay más plantas desaladoras en fase de planificación/construcción a lo largo de la costa del Mediterráneo? _____

1.4.1. ¿Cuántas? _____

1.4.2. Producción de desalinización total prevista _____

1.4.3. Año previsto para que comience la producción _____

2. Información detallada para plantas de gran tamaño (>10.000 m³/día, producción de 3,65 millones m³/año) situadas a lo largo de la costa del Mediterráneo. (Copie la tabla si desea añadir columnas adicionales).

| | Nombre de la planta | Nombre de la planta | Nombre de la planta | Nombre de la planta | Nombre de la planta | Nombre de la planta |
|--|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|
| Nombre | | | | | | |
| Año de inicio de la actividad | | | | | | |
| Ubicación¹ | | | | | | |
| Tecnología de desalinización² | | | | | | |
| Producción, m³/día | | | | | | |
| Método de descarga de la salmuera³ | | | | | | |
| Descargas unidas a la salmuera⁴ | | | | | | |
| Productos químicos usados en el proceso de desalinización⁵ | | | | | | |
| Coagulantes | | | | | | |
| Inhibidores de la incrustación | | | | | | |
| Biocidas | | | | | | |
| Endurecedor del agua | | | | | | |
| Otros | | | | | | |
| Productos químicos descargados junto a la salmuera⁶ | | | | | | |
| | | | | | | |
| ¿Cuenta con un programa de vigilancia marina en vigor? | | | | | | |

¹Ubicación: ciudad, zona

²Tecnología de desalinización: **OI**-Ósmosis inversa, **DIM**-Destilación instantánea por multietapa, **DME**-Destilación multiefecto, **Otra** – Por favor, indique la tecnología empleada

³Método de descarga de la salmuera: **DA**-Descarga abierta, **DM**-Desagüe marino, **Otros**-Indique detalles

⁴Descargas unidas a la salmuera: Otras descargas, por ejemplo, aguas refrigerantes de las centrales eléctricas

⁵Indique el nombre de los productos químicos del siguiente modo: Coagulantes - sales de hierro; inhibidor de las incrustaciones - polifosfonatos. **Si desconoce de qué producto químico se trata, escriba "Sí" o "No"**.

⁶Indique qué productos químicos se descargan junto a la salmuera.

Apéndice 2
Referencias

Referencias

- Abualtayef, M., H. Al-Najjar, Y. Mogheir, y A. K. Seif. 2016. "Numerical modeling of brine disposal from Gaza central seawater desalination plant". *Arabian Journal of Geosciences* 9:572.
- Amy, G., N. Ghaffour, Z. Li, L. Francis, R. V. Linares, T. Missimer, y S. Lattemann. 2017. "Membrane-based seawater desalination: Present and future prospects". *Desalination* 401:16-21.
- Argyrou, M. 1999. "Impact of desalination plant on marine macrobenthos in the coastal waters of Dhekelia Bay, Cyprus". Departamento de Pesca, Ministerio de Agricultura, Recursos Naturales y Medio Ambiente, Chipre.
- Barnhouse, L. W. 2013. "Impacts of entrainment and impingement on fish populations: A review of the scientific evidence". *Environmental Science & Policy* 31:149 a 156.
- Beaumont, N. J., M. C. Austen, J. P. Atkins, D. Burdon, S. Degraer, T. P. Dentinho, S. Deros, P. Holm, T. Horton, E. van Ierland, A. H. Marboe, D. J. Starkey, M. Townsend, y T. Zarzycki. 2007. "Identification, definition and quantification of goods and services provided by marine biodiversity: Implications for the ecosystem approach". *Marine Pollution Bulletin* 54:253 a 265.
- Belkin, N., E. Rahav, H. Elifantz, N. Kress, y I. Berman-Frank. 2017. "The effect of coagulants and antiscalants discharged with seawater desalination brines on coastal microbial communities: A laboratory and in situ study from the southeastern Mediterranean". *Water Research* 110:321 a 331.
- Belkin, N., E. Rahav, H. Elifantz, N. Kress, e I. Berman-Frank. 2015. "Enhanced salinities, as a proxy of seawater desalination discharges, impact coastal microbial communities of the eastern Mediterranean Sea". *Environmental Microbiology* 17:4105 a 4120.
- Borja, A., M. Elliott, J. H. Andersen, T. Berg, J. Carstensen, B. S. Halpern, A.-S. Heiskanen, S. Korpinen, J. S. S. Lowndes, y G. Martin. 2016a. "Overview of Integrative Assessment of Marine Systems: The Ecosystem Approach in Practice". *Frontiers in Marine Science* 3:20.
- Borja, A., M. Elliott, J. H. Andersen, A. C. Cardoso, J. Carstensen, J. G. Ferreira, A.-S. Heiskanen, J. C. Marques, J. M. Neto, H. Teixeira, L. Uusitalo, M. C. Uyarra, y N. Zampoukas. 2013. "Good Environmental Status of marine ecosystems: What is it and how do we know when we have attained it?". *Marine Pollution Bulletin* 76:16 a 27.
- Borja, Á., B. S. Halpern, y P. Archambault. 2016b. "Assessing marine ecosystems health, in an integrative way". *Continental Shelf Research* 121:1 y 2.
- Botelho, D., M. Barry, G. Collecutt, J. Brook, y D. Wiltshire. 2013. "Linking near-and far-field hydrodynamic models for simulation of desalination plant brine discharges". *Water Science and Technology* 67:1194 a 1207.
- Brand, L. E., W. G. Sunda, y R. R. L. Guillard. 1986. "Reduction of marine phytoplankton reproduction rates by copper and cadmium". *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology* 96:225 a 250.
- Brenner, S. 2003. "High-resolution nested model simulations of the climatological circulation in the southeastern Mediterranean Sea". Páginas 267 a 280 de *Annales Geophysicae*.
- Chesher, R. 1971. "Biological impact of a large-scale desalination plant at Key West, Florida". *Elsevier Oceanography Series* 2:99 a 164.
- Christensen, V., y C. J. Walters. 2004. "Ecopath with Ecosim: methods, capabilities and limitations". *Ecological Modelling* 172:109 a 139.
- Cuenca, J. C. 2013. "Report on water desalination status in the Mediterranean countries". IMIDA, España.
- de-la-Ossa-Carretero, J. A., Y. Del-Pilar-Ruso, A. Loya-Fernández, L. M. Ferrero-Vicente, C. Marco-Méndez, E. Martínez-García, y J. L. Sánchez-Lizaso. 2016. "Response of amphipod assemblages to desalination brine discharge: Impact and recovery". *Estuarine, Coastal and Shelf Science* 172:13 a 23.

- Del Pilar -Ruso, Y., J. A. De-la-Ossa-Carretero, F. Giménez-Casalduero, y J. L. Sánchez-Lizaso. 2008. "Effects of a brine discharge over soft bottom Polychaeta assemblage". *Environmental Pollution* 156:240 a 250.
- Del Pilar Ruso, Y., J. A. D. la Ossa Carretero, F. G. Casalduero, y J. L. S. Lizaso. 2007. "Spatial and temporal changes in infaunal communities inhabiting soft-bottoms affected by brine discharge". *Marine Environmental Research* 64:492 a 503.
- Drami, D., Y. Z. Yacobi, N. Stambler, y N. Kress. 2011. "Seawater quality and microbial communities at a desalination plant marine outfall. A field study at the Israeli Mediterranean coast". *Water Research* 45:5449 a 5462.
- Dupavillon, J. L., y B. M. Gillanders. 2009. "Impacts of seawater desalination on the giant Australian cuttlefish *Sepia apama* in the upper Spencer Gulf, South Australia". *Marine Environmental Research* 67:207 a 218.
- AEMA-PNUMA/PAM. 2014. "Horizon 2020 Mediterranean Report". Informe técnico de la AEMA núm. 6.
- Elimelech, M., y W. A. Phillip. 2011. "The future of seawater desalination: Energy, technology, and the environment". *Science* 333:712 a 717.
- Elliott, M. 2014. "Integrated marine science and management: Wading through the morass". *Marine Pollution Bulletin* 86:1 a 4.
- FAO. 2012. "Coping with water scarcity. An action framework for agriculture and food security". *FAO Water Report* 38.
- Farmer, A., L. Mee, O. Langmead, P. Cooper, A. Kannen, P. Kershaw, y V. Cherrier. 2012. "The ecosystem approach in marine management". Policy Brief.
- Fernández-Torquemada, Y., J. M. González-Correa, A. Loya, L. M. Ferrero, M. Díaz-Valdés, y J. L. Sánchez-Lizaso. 2009. "Dispersion of brine discharge from seawater reverse osmosis desalination plants". *Desalination and Water Treatment* 5:137 a 145.
- Fernández-Torquemada, Y., y J. Sánchez-Lizaso. 2011. "Responses of two Mediterranean seagrasses to experimental changes in salinity". *Hydrobiologia* 669:21 a 33.
- Fernández-Torquemada, Y., J. L. Sánchez-Lizaso, y J. M. González-Correa. 2005. "Preliminary results of the monitoring of the brine discharge produced by the SWRO desalination plant of Alicante (SE Spain)". *Desalination* 182:395 a 402.
- Fritzmann, C., J. Löwenberg, T. Wintgens, y T. Melin. 2007. "State-of-the-art of reverse osmosis desalination". *Desalination* 216:1 a 76.
- Ghaffour, N., T. M. Missimer, y G. L. Amy. 2013. "Technical review and evaluation of the economics of water desalination: Current and future challenges for better water supply sustainability". *Desalination* 309:197 a 207.
- Greenlee, L. F., D. F. Lawler, B. D. Freeman, B. Marrot, y P. Moulin. 2009. "Reverse osmosis desalination: Water sources, technology, and today's challenges". *Water Research* 43:2317 a 2348.
- Gude, V. G. 2016. "Desalination and sustainability – An appraisal and current perspective". *Water Research* 89:87 a 106.
- Hammond, M., N. Blake, P. Hallock-Muller, M. Luther, D. Tomasko, y G. Vargo. 1998. "Effects of disposal of seawater desalination discharges on Near Shore Benthic Communities. Report of Southwest Florida Water Management District and University of South Florida".
- Hobbs, D., J. Stauber, A. Kumar, y R. Smith. 2008. "Ecotoxicity of effluent from the proposed Olympic Dam Desalination Plant". Informe final. Hydrobiology Pty Ltd. Aquatic Environmental Services.
- Holloway, K. 2009. "Perth Seawater Desalination Plant Water Quality Monitoring Programme". Informe resumido del programa final 2005-2008. Informe núm. 445_001/3. Elaborado por Oceanica Consulting Pty LTD para la Water Corporation de Western Australia.
- OIEA. 2015. "New technologies for seawater desalination using nuclear energy". Organismo Internacional de Energía Atómica. . Serie *IAEA-TECDOC* núm. 1753.

- Khordagui, H. 2013. "Assessment of potential cumulative environmental impacts of desalination plants around the Mediterranean Sea". Informe final de SWIM, actividad 1.3.2.1.
- Kim, Y.-D., K. Thu, K. C. Ng, G. L. Amy, y N. Ghaffour. 2016. "A novel integrated thermal-/membrane-based solar energy-driven hybrid desalination system: Concept description and simulation results". *Water Research* 100:7 a 19.
- Koch, M. S., S. A. Schopmeyer, C. Kyhn-Hansen, C. J. Madden, y J. S. Peters. 2007. "Tropical seagrass species tolerance to hypersalinity stress". *Aquatic Botany* 86:14 a 24.
- Kress, N., y B. Galil. 2015. "Impact of seawater desalination by reverse osmosis on the marine environment". Páginas 177 a 202 de S. Burn y S. Gray, editores. "Efficient desalination by reverse osmosis". IWA, Londres.
- Kress, N., y B. S. Galil. 2012. "Seawater desalination in Israel and its environmental impact". *Desalination and Water Reuse February-March 2012*:26 a 29.
- Lattemann, S., y G. Amy. 2012. "Marine monitoring surveys for desalination plants—a critical review". *Desalination and Water Treatment* 51:233 a 245.
- Lattemann, S., y T. Hopner. 2008. "Impacts of seawater desalination plants on the marine environment of the Gulf". *Protecting the Gulf's Marine Ecosystems from Pollution*. Ed A.H. Abuzinada, H.J. Barth, F. Krupp, B. Böer y T.Z. Al Abdessalaam Birkhäuser Verlag/Suiza:191 a 205.
- Lattemann, S., M. D. Kennedy, J. C. Schippers, y G. Amy. 2010a. Capítulo 2, "Global Desalination Situation". Páginas 7 a 39 de C. E. Isabel y I. S. Andrea, editores. *Sustainability Science and Engineering*. Elsevier.
- Lattemann, S., K. Mancy, B. Damitz, H. Khordagui, y G. Leslie. 2010b. "Environmental Impact Assessment of Desalination Projects". Páginas 153 a 177 *Desalination Technology*. CRC Press.
- Le Page, S. 2005. "Salinity Tolerance Investigations: A Supplemental report for the Carlsbad, CA Desalination project". Informe presentado a Poseidon Resources.
- Lin, Y.-C., G.-P. Chang-Chien, P.-C. Chiang, W.-H. Chen, y Y.-C. Lin. 2013. "Potential impacts of discharges from seawater reverse osmosis on Taiwan marine environment". *Desalination* 322:84 a 93.
- Lior, N. 2017. "Sustainability as the quantitative norm for water desalination impacts". *Desalination* 401:99 a 111.
- Lokiec, F. 2013. "Sustainable desalination: environmental approaches" en *Sustainable desalination: environmental approaches*. Congreso Mundial sobre Desalinización y Reutilización del Agua de la International Desalination Association, Tianjin (China).
- Marín-Guirao, L., J. M. Sandoval-Gil, J. Bernardeau-Esteller, J. M. Ruíz, y J. L. Sánchez-Lizaso. 2013. "Responses of the Mediterranean seagrass *Posidonia oceanica* to hypersaline stress duration and recovery". *Marine Environmental Research* 84:60 a 75.
- Mayhew, D. A., L. D. Jensen, D. F. Hanson, y P. H. Muessig. 2000. "A comparative review of entrainment survival studies at power plants in estuarine environments". *Environmental Science & Policy* 3, Suplemento 1:295 a 301.
- McConnell, R. 2009. "Tampa Bay Seawater Desalination Facility – Environmental Impact Monitoring". Actas de la Conferencia Anual sobre la Reutilización de Agua de 2009, Seattle.
- Murray, J. B., y G. L. Wingard. 2006 "Salinity and temperature tolerance experiments on selected Florida Bay mollusks". *U.S. Geological Survey Open-File Report* 1026:59 págs.
- Nasrolahi, A., C. Pansch, M. Lenz, y M. Wahl. 2012. "Being young in a changing world: how temperature and salinity changes interactively modify the performance of larval stages of the barnacle *Amphibalanus improvisus*". *Marine Biology* 159:331 a 340.
- NRC. 2008. "Desalination, a national perspective National Research Council of the National Academies". The National Academies press, Washington, D.C.

- Portillo, E., G. Louzara, M. Ruiz de la Rosa, J. Quesada, J. C. González, F. Roque, M. Antequera, y H. Mendoza. 2013. "Venturi diffusers as enhancing devices for the dilution process in desalination plant brine discharges". *Desalination and Water Treatment* 51: 525 a 542.
- Purnama, A., H. H. Al-Barwani, y R. Smith. 2005. "Calculating the environmental cost of seawater desalination in the Arabian marginal seas". *Desalination* 185:79 a 86.
- Purnama, A., y D. Shao. 2015. "Modeling brine discharge dispersion from two adjacent desalination outfalls in coastal waters". *Desalination* 362:68 a 73.
- Raventos, N., E. Macpherson, y A. García-Rubiés. 2006. "Effect of brine discharge from a desalination plant on macrobenthic communities in the NW Mediterranean". *Marine Environmental Research* 62:1 a 14.
- Riera, R., F. Tuya, E. Ramos, M. Rodríguez, y Ó. Monterroso. 2012. "Variability of macrofaunal assemblages on the surroundings of a brine disposal". *Desalination* 291:94 a 100.
- Riera, R., F. Tuya, A. Sacramento, E. Ramos, M. Rodríguez, y O. Monterroso. 2011. "The effects of brine disposal on a subtidal meiofauna community". *Estuarine, Coastal and Shelf Science* 93:359 a 365.
- Ruiz, J. M., L. Marin-Guirao, y J. M. Sandoval-Gil. 2009. "Responses of the Mediterranean seagrass *Posidonia oceanica* to in situ simulated salinity increase". *Botanica Marina* 52:459 a 470.
- Safrai, I., y A. Zask. 2008. "Reverse osmosis desalination plants -- marine environmentalist regulator point of view". *Desalination* 220:72 a 84.
- Sánchez-Lizaso, J. L., J. Romero, J. Ruiz, E. Gacia, J. L. Buceta, O. Invers, Y. Fernández Torquemada, J. Mas, A. Ruiz-Mateo, y M. Manzanera. 2008. "Salinity tolerance of the Mediterranean seagrass *Posidonia oceanica*: recommendations to minimize the impact of brine discharges from desalination plants". *Desalination* 221:602 a 607.
- Sandoval-Gil, J. M., L. Marin-Guirao, y J. M. Ruiz. 2012. "Tolerance of Mediterranean seagrasses (*Posidonia oceanica* and *Cymodocea nodosa*) to hypersaline stress: water relations and osmolyte concentrations". *Marine Biology* 159:1129 a 1141.
- Shute, S. 2009. "Perth Desalination Plant- Cockburn Sound benthic macrofauna community and sediment habitaat, Repeat Macro-benthic survey". Oceanica Consulting. Informe núm. 604-011/1:202 págs.
- Straub, A. P., A. Deshmukh, y M. Elimelech. 2016. "Pressure-retarded osmosis for power generation from salinity gradients: is it viable?". *Energy & Environmental Science* 9:31 a 48.
- Taylor, C. J. L. 2006. "The effects of biological fouling control at coastal and estuarine power stations". *Marine Pollution Bulletin* 53:30 a 48.
- Tong, T., y M. Elimelech. 2016. "The Global Rise of Zero Liquid Discharge for Wastewater Management: Drivers, Technologies, and Future Directions". *Environmental Science & Technology* 50:6846 a 6855.
- Uddin, S., A. N. Al Ghadban, y A. Khabbaz. 2011. "Localized hyper saline waters in Arabian Gulf from desalination activity-an example from South Kuwait". *Environmental Monitoring and Assessment* 181:587 a 594.
- PNUMA. 2008. "Desalination Resource and Guidance Manual for Environmental Impact Assessments". Oficina Regional para Asia Occidental del Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (Manama) y Oficina Regional de la Organización Mundial de la Salud para el Mediterráneo Oriental, Cairo Ed. S. Lattemann: 168 págs.
- PNUMA/PAM. 2012. "State of the Mediterranean Marine and Coastal Environment", PNUMA/PAM – Convenio de Barcelona, Atenas.
- PNUMA/PAM. 2012. UNEP(DEC)/MED WG.372/3. "Approaches for definition of GES and setting targets for the pollution related ecological objectives in the framework of the ecosystem approach. (EO5:eutrophication, EP:9 contaminants, EP10: marine litter, EO11: noise)". Sarajevo (Bosnia y Herzegovina).

- PNUMA/PAM. 2014a. "Monitoring Guidance on Ecological Objective 5: Eutrophication". UNEP(DEPI)/MED WG.394/4.
- PNUMA/PAM. 2014b. UNEP(DEPI)/MED WG.401/3. "Draft monitoring and assessment methodological guidance". Atenas (Grecia).
- PNUMA/PAM. 2016. "Report of the Meeting of the Ecosystem Approach Correspondence Group on Pollution Monitoring for Contaminants and Eutrophication". UNEP(DEPI)/MED WG.427/9.
- PNUMA/PAM/MEDPOL. 2003. "Sea Water Desalination in the Mediterranean: Assessment and Guidelines". *MAP Technical Reports Series* núm. 139 PNUMA/PAM, Atenas.
- van der Merwe, R., F. Hammes, S. Lattemann, y G. Amy. 2014a. "Flow cytometric assessment of microbial abundance in the near-field area of seawater reverse osmosis concentrate discharge". *Desalination* 343:208 a 216.
- van der Merwe, R., T. Röthig, C. R. Voolstra, M. A. Ochsenkühn, S. Lattemann, y G. L. Amy. 2014b. "High salinity tolerance of the Red Sea coral *Fungia granulosa* under desalination concentrate discharge conditions: An in situ photophysiology experiment". *Frontiers in Marine Science* 1.
- Vars, S., M. Johnston, J. Hayles, J. Gascooke, M. Brown, S. Leterme, y A. Ellis. 2013. "²⁹Si{1H} CP-MAS NMR comparison and ATR-FTIR spectroscopic analysis of the diatoms *Chaetoceros muelleri* and *Thalassiosira pseudonana* grown at different salinities". *Analytical and Bioanalytical Chemistry* 405:3359 a 3365.
- Vila, F., Ruiz-Mateo, A., Rodrigo, M., Álvarez, A., Antequera, M., y Lloret, A. (2011). "3D physical modelling in a wave flume of brine discharges on a beach". *Desalination and Water Treatment*, 31(1-3), 235 a 256.
- Walker, D. I., y A. J. McComb. 1990. "Salinity response of the seagrass *Amphibolis antarctica* (Labill.) Sonder et Aschers.: an experimental validation of field results". *Aquatic Botany* 36:359 a 366.
- Wiltshire, K., A. Kraberg, I. Bartsch, M. Boersma, H.-D. Franke, J. Freund, C. Gebühr, G. Gerdt, K. Stockmann, y A. Wichels. 2010. "Helgoland Roads, North Sea: 45 Years of Change". *Estuaries and Coasts* 33:295 a 310.
- Banco Mundial. 2012. "Renewable Energy Desalination: An Emerging Solution to Close the Water Gap in the Middle East and North Africa". . Washington D.C.