

## **Evaluación y aspectos de mejora de los programas de vigilancia ambiental de vertidos de desalinizadoras**

**Autores/Authors:** Iván Sola Macia (Investigador predoctoral, Departamento de Ciencias del Mar y Biología Aplicada, Universidad de Alicante, ivan.sola@ua.es), José Luis Sánchez Lizaso (Catedrático de Universidad, Departamento de Ciencias del Mar y Biología Aplicada, Universidad de Alicante, jl.sanchez@ua.es), Domingo Zarzo Martínez (Director Técnico I+D+i, Valoriza Agua, dzarzo@sacyr.com).

### **Resumen:**

Los impactos medioambientales por vertidos de salmuera pueden ser identificados y mitigados mediante la aplicación de programas de vigilancia ambiental. En este estudio se analizaron 31 programas de vigilancia ambiental de plantas desalinizadoras en España mediante la revisión de las declaraciones de impacto ambiental publicadas en el Boletín Oficial del Estado (BOE) desde el año 1999 hasta el 2018, y una autorización de vertido. El objetivo del presente estudio es evaluar la calidad de los programas de vigilancia ambiental y su margen de mejora para realizar una correcta gestión de los vertidos de salmuera bajo criterios científicos que garanticen una buena protección ambiental. Se analizaron los impactos ambientales potenciales en cada caso y se evaluó la calidad del plan de vigilancia ambiental aprobado.

Los resultados muestran una gran diversidad entre los programas de vigilancia ambiental aprobados. En general no se observa una relación entre el tamaño de la instalación y la calidad de los programas de vigilancia ambiental, sin embargo se observa una mejora de los programas con el paso del tiempo, siendo más completos los más recientes. Por último, cabe destacar que en algunos de los programas de vigilancia ambiental aprobados se incluyen medidas que no contribuyen a una mejora de la protección ambiental y no se basan en los mejores conocimientos científicos. Sería aconsejable una homogeneización de los programas de vigilancia ambiental en función de la experiencia acumulada hasta la fecha.

### **Abstract:**

Environmental impacts of brine discharges could be identified and mitigated with the establishment of environmental management plans. In this study, 31 environmental management plans of desalination plants in Spain were analysed, through the analysis of environmental impact assessments (EIA) published in the Official State Gazette (BOE) from 1999 to 2018, and one brine discharge authorization. This present study aims to evaluate the quality of the environmental management plans and their aspects to be improved in order to manage brine discharges under scientific criteria, to ensure good environmental protection. Potential environmental impacts of each specific case were analyzed, and the quality of the environmental management plan was evaluated.

Results show that there is no relationship between production capacity and the quality of its environmental management plan, however an improvement of environmental protection requirements with time is observed. It also has been observed that some of the environmental management plans of desalination plants in Spain include some irrelevant or useless descriptors that do not contribute to a better environmental protection or that are not based in the best scientific knowledge. Our results indicate that the homogenization of environmental management plans would be desirable.

# 1 INTRODUCCIÓN

En 2010, el 15% del agua potable consumida en el mundo fue producida mediante técnicas de desalación y para el año 2050 se espera un incremento de la demanda de agua en más del 55%. Con el fin de abastecer esta demanda de agua global se espera un aumento del 40% de la producción de agua mediante técnicas de desalación para el año 2030 respecto al año 2016 (Shahzad et al., 2017). En España la desalación representa actualmente un aporte significativo y creciente de agua en determinadas regiones (Hernández-Sánchez et al, 2017).

Las plantas de desalación por ósmosis inversa generan aguas de rechazo con una alta concentración de sales y que pueden tener, además, otros elementos químicos procedentes del pretratamiento y las limpiezas de filtros y membranas, que podrían añadir toxicidad al efluente del vertido (Mezher et al., 2011). Estas características del vertido de salmuera influyen en su dispersión pegada al fondo marino donde puede afectar a comunidades bentónicas como las praderas marinas (*Posidonia oceanica* y *Cymodocea nodosa*), o fauna bentónica (de-la-Ossa-Carretero et al., 2016; Del-Pilar-Ruso et al., 2015, 2007; Petersen et al., 2018; Röthig et al., 2016; Sánchez-Lizaso et al., 2008). Asimismo, recientes estudios resaltan el impacto a corto y largo plazo sobre la actividad bacteriana que habita los fondos bentónicos (Frank et al., 2017; Petersen et al., 2018).

Para que este aumento de la producción de agua desalinizada previsto no genere impactos significativos sobre el medio marino, es necesario que se apliquen programas de vigilancia ambiental bien diseñados para identificar y, en su caso, mitigar los impactos ambientales generados por los vertidos de aguas de rechazo de las plantas de desalinización (Sadhvani Alonso y Melián-Martel, 2018).

## 1.1 Objetivo

El objetivo del presente estudio es evaluar la calidad de los programas de vigilancia ambiental y sus aspectos a mejorar de las plantas desaladoras en España, para ello se analizaron los impactos ambientales de cada caso específico, con el fin de realizar una correcta gestión de los vertidos de salmuera bajo criterios científicos, y garantizar una buena protección ambiental.

# 2 METODOLOGÍA

Se realizó una revisión de las declaraciones de impacto ambiental (DIA) para la construcción de plantas desalinizadoras en España publicadas en el Boletín Oficial del Estado (BOE) desde el año 1998 hasta el año 2017. Se analizaron un total de 31 programas de vigilancia ambiental específicos para el medio marino (tabla 1) procedentes de plantas desalinizadoras en España, que utilizaban todas ellas la técnica de desalación por ósmosis inversa (OI). La capacidad máxima de producción de agua potable total de los proyectos considerados es de 1.716.700 m<sup>3</sup>/día, lo que corresponde a una capacidad máxima de vertido de salmuera de aproximadamente 2.098.189 m<sup>3</sup>/día, asumiendo a una tasa de conversión media de las plantas del 45% en las plantas con captación de agua de mar (Meneses et al., 2010).

**Tabla 1.** Publicaciones de los proyectos de desalinizadoras en el BOE. \*Autorización de vertido de Jávea obtenido de la Dirección General de Calidad Ambiental de la Conserjería de Territorio y Vivienda de la Comunidad Valenciana.

ID	Evaluaciones de proyectos publicados en el Boletín Oficial del Estado (BOE)	Fecha	Producción (m <sup>3</sup> /día)
1	Proyecto de construcción y posterior explotación de la planta desaladora de agua marina del nuevo canal de Cartagena	17/12/1999	65000
2	Planta Desaladora de Agua de Mar de Carboneras, Almería	17/12/1999	120000
3	Desaladora de agua de mar de Telde 2.a fase	16/01/2004	16000
4	Desaladora de Agua de mar y de la red de distribución (sector norte y sector sur) del Campo de Cartagena (zonas regables de Sucina, Los Martínez del Puerto, Alhama y Fuente Álamo)	03/02/2004	160000

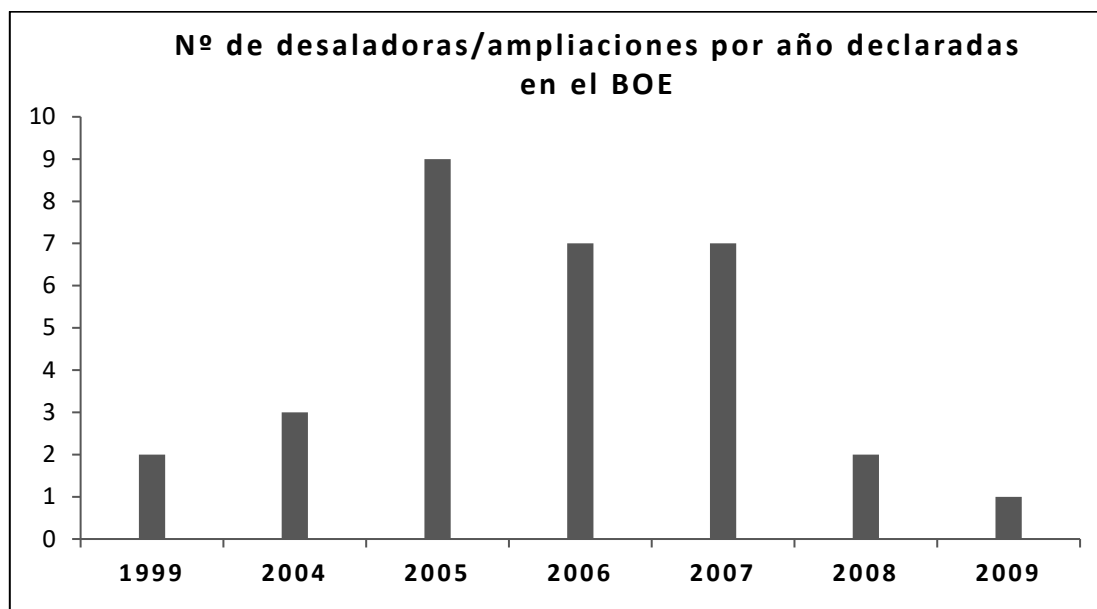
5	Proyecto de modificación número 1, de la instalación desaladora de aguas de Mar de Guía 2.a Fase, término municipal de Santa María de Guía (Las Palmas de Gran Canaria)	21/04/2004	5000
6	Desaladora del área metropolitana de Barcelona	06/06/2005	200000
7	Nueva desaladora del Canal de Alicante	07/06/2005	50000
8	Ampliación de la desaladora de la Tordera. Término municipal de Blanes (Girona)	07/06/2005	28800
9	Construcción de la instalación desaladora de agua marina de la bahía de Alcudia	23/06/2005	14000
10	Construcción de la instalación desaladora de agua marina de Ciutadella (Menorca)	23/06/2005	10000
11	Construcción de la instalación desaladora de agua marina de Santa Eulalia (Ibiza)	23/06/2005	10000
12	Construcción de la instalación desaladora de agua marina de Andratx (Mallorca)	23/06/2005	14000
13	Nueva Desaladora del Nuevo Canal de Cartagena (San Pedro II)	17/10/2005	65000
14	Ampliación de la desaladora del Canal de Alicante	18/10/2005	15000
15	Nueva desaladora del Bajo Almanzora, en Cuevas de Almanzora (Almería)	24/03/2006	60000
16	Planta desaladora para garantizar los regadíos del Trasvase Tajo-Segura	13/04/2006	180000
17	Nueva desaladora de Águilas-Guadalentín. Ampliación de la desaladora de Águilas (planta desaladora para riego de Murcia)	21/04/2006	180000
18	Ampliación de la Estación desaladora de Aguas Salobres de El Mojón y sus colectores (Murcia y Alicante)	08/05/2006	10000
19	Desalación y obras complementarias para el Campo de Dalías (Almería)	22/06/2006	97200
20	Refuerzo del sistema de abastecimiento del área metropolitana de Valencia, desaladora de Sagunto	05/09/2006	22900
21	Desalación y obras complementarias para la Marina Alta, (Denia, Alicante)	24/10/2006	24000
22	Ampliación y adecuación de la instalación desaladora de agua de mar de Ceuta.	16/02/2007	8800
23	Desalación y obras complementarias para la Marina Baja (Alicante)	05/04/2007	80000
24	Autorización de vertido al mar de la planta desaladora de Xàbia*	06/04/2007	28000
25	Desaladora de Oropesa del Mar y obras complementarias (Castellón)	08/06/2007	65000
26	Desarrollos de programas de aguas subterráneas y desalación para abastecimientos y regadíos en Castellón, planta de ósmosis de Moncófar, en Moncófar y otros (Castellón).	31/10/2007	65000
27	Proyecto modificado de la desaladora de Valdelentisco (Sector Norte y Sur del Campo de Cartagena)	26/11/2007	40000
28	Estación desaladora de agua del oeste Santa Cruz de Tenerife, en Guía de Isora (Tenerife)	27/12/2007	14000
29	Proyecto Desalación de La Costa del Sol (Málaga)	25/01/2008	50000
30	Desaladora de agua de mar en Granadilla	28/11/2008	14000
31	Modificación nº 1 de construcción y explotación de la instalación desaladora de agua marina de Santa Eulalia, Ibiza	26/11/2009	5000

De cada DIA se extrajeron los requisitos que debían cumplir los programas de vigilancia ambiental durante la fase de operación. Estos requisitos se evaluaron en función de los que teóricamente debía tener dicho programa de vigilancia ambiental según las características de cada desalinizadora y del medio en el que se realizaba el vertido cada caso específico. También se evaluaron los requisitos innecesarios, entendiendo como tales aquellos que no redundan en un mejor control de vertido y sus efectos sobre el medio ambiente. En la tabla 2, se muestran los parámetros considerados necesarios para un programa de vigilancia ambiental para el vertido de una desalinizadora sobre el medio marino. Entre ellos, uno de los aspectos que se consideran fundamentales es la determinación de la extensión de la pluma salina ya que va a determinar la zona potencialmente afectada por el vertido. Para ello hay que usar un diseño de muestreo adecuado, con la realización de *perfiles de salinidad* que alcancen el fondo en una retícula suficiente de puntos y con una replicación estacional para ver la influencia de diferentes circunstancias oceanográficas (Fernández-Torquemada et al., 2009). Es necesario también el estudio de *especies claves* y especies protegidas, como por ejemplo *Posidonia oceanica* o *Cymodocea nodosa*, si están presentes en el área de vertido para asegurar que no son afectadas. Además es necesaria la definición de umbrales de salinidad para su protección ambiental en base a criterios científicos (Sánchez-Lizaso et al., 2008). En determinados casos, la proximidad

del vertido a comunidades sometidas a umbrales de protección hace necesario la existencia de un *protocolo de actuación* para el control de la salinidad, con medidas de atenuación cuando se superen los dichos umbrales de salinidad o en casos puntales como una posible rotura del emisario que pudiera afectar a dichas comunidades protegidas. Por otra parte es conveniente el análisis de la calidad ecológica y química del *sedimento* para cuantificar el impacto sobre especies de infauna en la zona de vertido (Del-Pilar-Ruso et al., 2015, 2007). Se ha demostrado muy útil el uso de especies sensibles a la salinidad como *especies bioindicadoras* ya que pueden servir como centinelas de alerta temprana ante un posible impacto sobre hábitats bentónicos (de-la-Ossa-Carretero et al., 2016; Fernández-Torquemada et al., 2013) y permitir discriminar entre los efectos de la desalinización y otros impactos que pueden coincidir en el espacio como los vertidos de aguas residuales (de-la-Ossa-Carretero et al., 2016; Del-Pilar-Ruso et al., 2009). La vigilancia estructural del *emisario* submarino para la detección precoz de posibles roturas es necesario en aquellas plantas que disponen de este tipo de vertido, particularmente si atraviesa comunidades de alto valor ambiental. El análisis de la *composición del agua* del efluente y del medio, es aconsejable para el control de sustancias presentes y en particular de aquellas que pueden provenir del pretratamiento o de la limpieza de membranas como coagulantes y antiincrustantes o nutrientes, mediante el análisis de parámetros como el pH, turbidez, fosfatos, oxígeno disuelto, o nitratos (Mezher et al., 2011). El control de trazas de *metales pesados* que pueden contener las aguas de rechazo es más importante en plantas térmicas que en plantas de ósmosis inversa pero, a pesar de ellos, no se ha considerado un parámetro innecesario (Alshahri, 2017; Lin et al., 2013) y algunos autores (Latteman et al, 2008) han detectado trazas de estos metales probablemente provenientes de la corrosión de elementos metálicos (bombas, tuberías, etc.). Se han considerado parámetros innecesarios aquellos que no aportan información relevante sobre los impactos potenciales del vertido como los análisis de bacterias fecales o la medición de las corrientes en continuo.

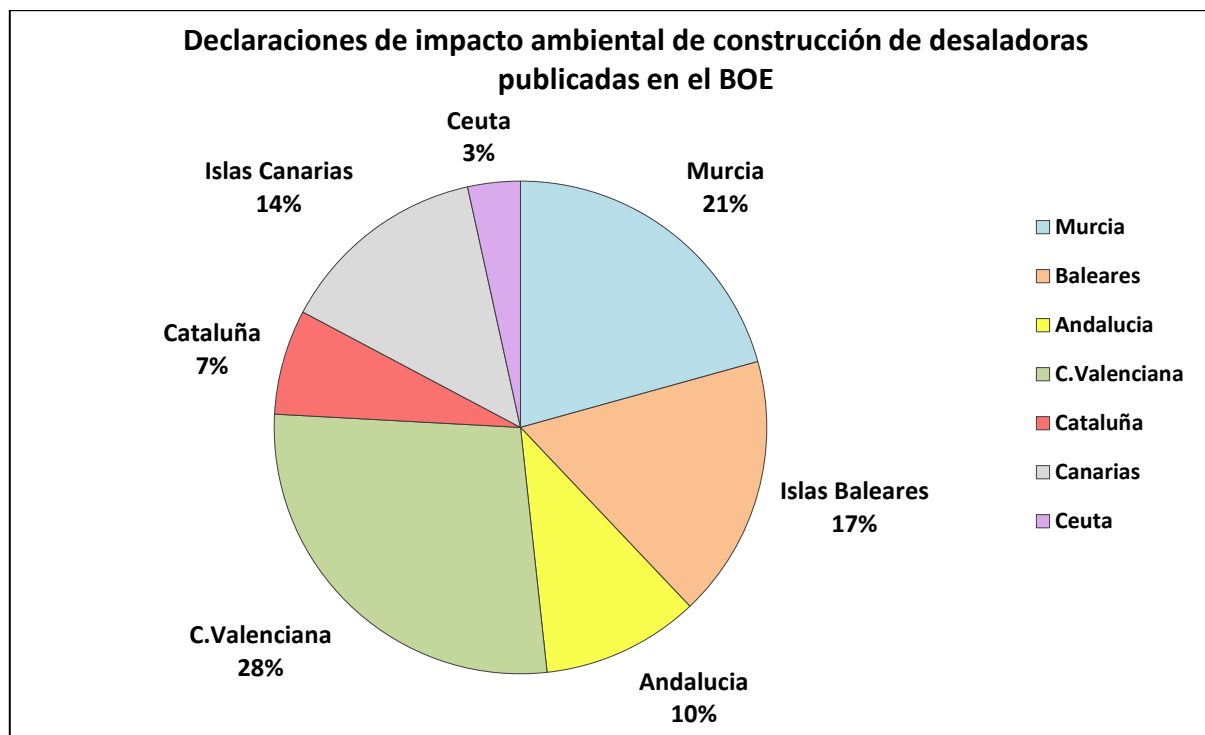
### 3 RESULTADOS

La publicación de Declaraciones de Impacto Ambiental para la construcción y/o ampliación de plantas desalinizadoras entre el período de 1998-2017 se desarrolló principalmente entre los años 2005-2007 representando el 74.2% de los proyectos sometidos a valoración de evaluación de impacto ambiental y publicados en el Boletín Oficial del Estado (BOE) como se observa en la figura 1.



**Figura 1.** Publicación de declaraciones de impacto ambiental de proyectos de construcción y/o ampliación de desalinizadoras declarados en el Boletín Oficial del Estado (BOE) entre el período de 1998 a 2017.

Por otra parte, el mayor número de declaraciones de impacto ambiental publicadas en el BOE con un 28% de los proyectos correspondió a la Comunidad Valenciana, seguida de Murcia con un 21% y las Islas Baleares e Islas Canarias con un 17% y 14% respectivamente. Andalucía, Cataluña y Ceuta que representaron un menor número de proyectos sometidos a declaración de impacto ambiental con un 10%, 7% y 3% respectivamente (figura 2).



**Figura 2.** Porcentajes del número de declaraciones de impacto ambiental de construcción y/o ampliación de desaladoras declaradas en el BOE por Comunidad Autónoma.

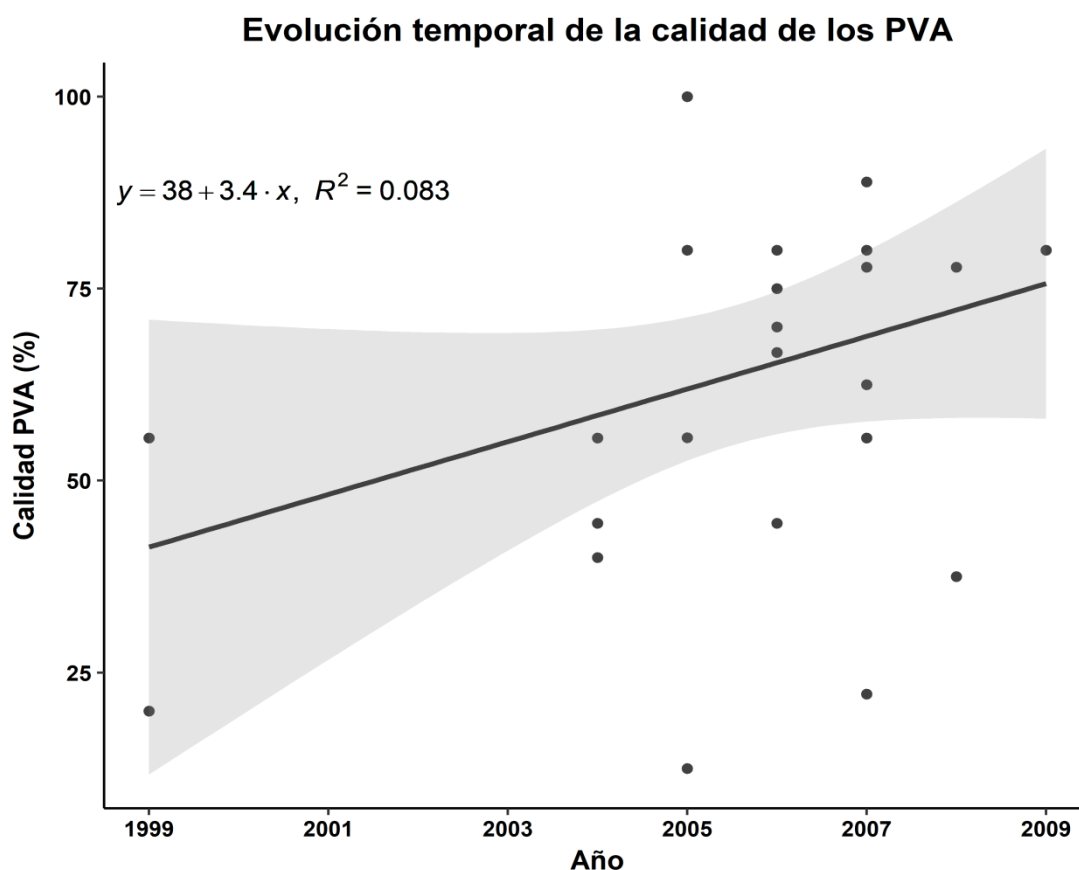
Los resultados muestran que los parámetros que se han incluido con mayor frecuencia en los programas de vigilancia ambiental son la medición de la salinidad del vertido, satisfaciéndose en el 100% de los programas de las plantas desaladoras evaluados, seguido del control de praderas marinas con un total del 86.21% (evaluadas individualmente: control de *Posidonia oceánica* corresponde con un 95%, y *Cymodocea nodosa* un 77.78%), y el control de la calidad del agua con un 80.65%. Del mismo modo, los parámetros menos representados en los programas de vigilancia ambiental correspondieron al control de la calidad ecológica y/o química del sedimento, y el control de trazas de metales pesados con un 29.03% y 16.13% respectivamente (tabla 2).

**Tabla 2.** Evaluación de los 31 programas de vigilancia ambiental (PVA) mediante los parámetros definidos para el correcto control y minimización del impacto de los vertidos de salmuera al medio marino. Se realizó un control del parámetro en el PVA (1); Ausencia de control del parámetro, pero sin presencia de impacto ambiental para su necesario control (0); Ausencia de control del parámetro con necesidad de control, identificado impacto ambiental en el medio marino (-); Control insuficiente o control una parte del parámetro (0.5). \*Control biológico de *Posidonia oceánica* y *Cymodocea nodosa* agrupados.

ID	Protocolo actuación	Medición Salinidad	Perfil Salinidad	Control Praderas*	Calidad agua	Calidad Sedimento	Metales pesados	Bioindicador fauna	Emisario	Calidad PVA (%)
1	-	1	-	1	1	1	-	1	-	55.56
2	-	1	-	-	1	-	-	-	-	20.00

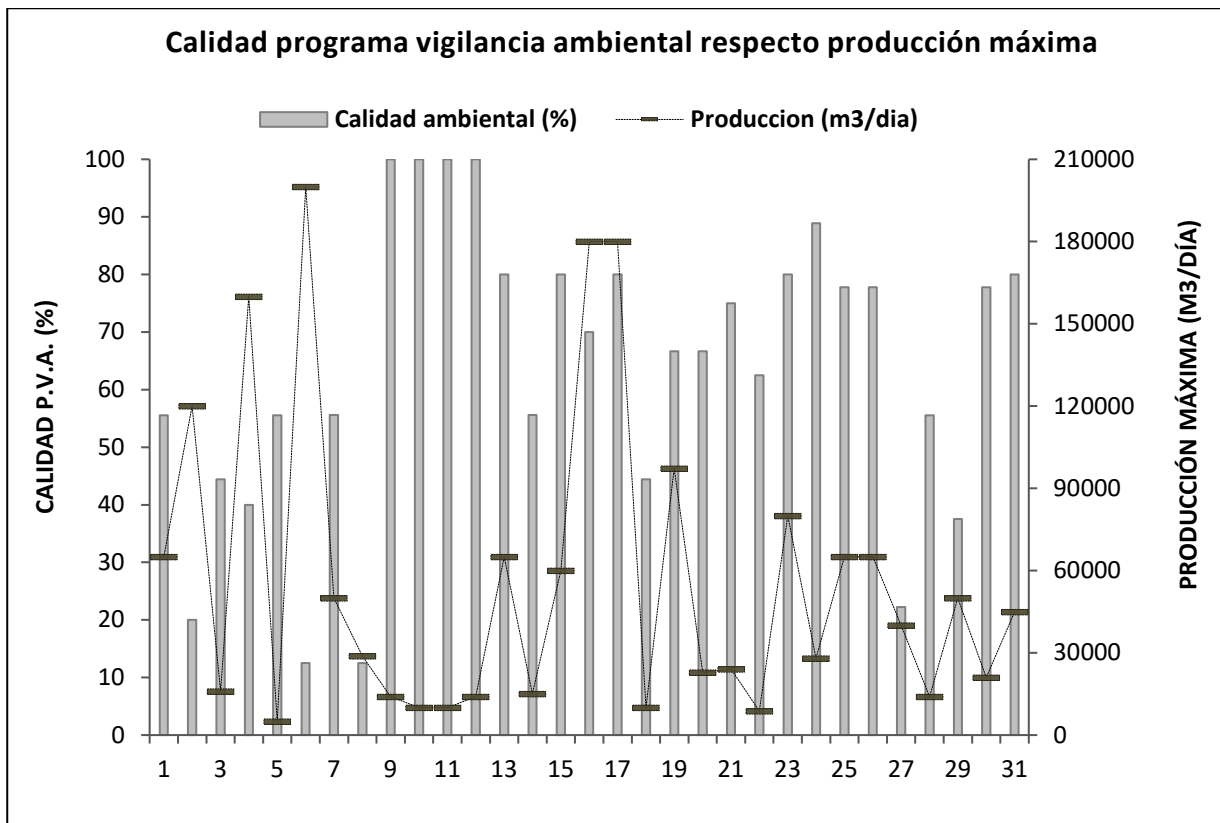
3	-	1	-	1	1	-	-	1	-	44.44
4	-	1	-	0.5	1	-	-	1	-	40.00
5	1	1	-	1	1	-	-	1	-	55.56
6	-	1	-	0	-	-	-	-	-	12.50
7	1	1	-	1	-	-	-	1	0	55.56
8	-	1	-	0	-	-	-	-	-	12.50
9	1	1	1	1	1	1	1	1	1	100.00
10	1	1	1	1	1	1	1	1	1	100.00
11	1	1	1	1	1	1	1	1	1	100.00
12	1	1	1	1	1	1	1	1	1	100.00
13	1	1	1	0.5	1	1	-	1	1	80.00
14	1	1	-	1	-	-	-	1	0	55.56
15	1	1	1	1	1	-	-	1	1	80.00
16	1	1	1	1	1	-	-	1	-	70.00
17	1	1	1	1	1	-	-	1	1	80.00
18	-	1	-	1	1	-	-	-	1	44.44
19	1	1	1	1	1	-	-	-	1	66.67
20	1	1	1	1	1	-	-	-	1	66.67
21	1	1	1	1	1	-	-	1	0	75.00
22	-	1	1	1	1	-	-	1	1	62.50
23	1	1	1	1	1	-	-	1	1	80.00
24	1	1	1	1	1	1	-	1	1	88.89
25	1	1	1	1	1	-	-	1	1	77.78
26	1	1	1	1	1	-	-	1	1	77.78
27	-	1	-	1	-	-	-	-	-	22.22
28	-	1	-	-	1	1	1	-	1	55.56
29	-	1	1	0	-	-	-	-	1	37.50
30	1	1	1	1	1	-	-	1	1	77.78
31	1	1	1	1	1	1	-	-	1	80.00
<b>Media (%)</b>	<b>64.52</b>	<b>100.00</b>	<b>61.29</b>	<b>86.21</b>	<b>80.65</b>	<b>29.03</b>	<b>16.13</b>	<b>67.74</b>	<b>67.86</b>	<b>63.69</b>

Los resultados del presente trabajo muestran un incremento de las exigencias de calidad de los programas de vigilancia ambiental con el paso del tiempo (figura 3). Asimismo, los programas con mayores exigencias de protección del medio marino correspondieron a las declaraciones de las plantas desaladoras de las Islas Baleares en el año 2005 (Alcudia, Andratx, Ciutadella, y Santa Eulalia), con la inclusión del 100% de los criterios considerados. Por otra parte, las menores exigencias de protección ambiental fueron observadas en las plantas: Ampliación de Tordera y Área metropolitana de Barcelona con una calidad del 13% en el año 2005 en las dos plantas, seguido de la planta de Carboneras con un 20% en el año 1999.



**Figura 3.** Evolución temporal de la calidad de los programas de vigilancia ambiental desde el año 1997 hasta el año 2017.

En la figura 4, se muestra la calidad de los programas ambientales evaluados respecto a su capacidad máxima de producción, observándose que no existe una relación entre una mayor la capacidad de las plantas y las exigencias de control medioambiental. Se observan programas de vigilancia ambiental con bajas exigencias de protección del medio marino con un porcentaje de los requisitos considerados inferior al 50% y capacidades de producción altas (como es en el caso de la desaladora de Barcelona con una producción de 200.000 m<sup>3</sup>/día, Campo Cartagena con una producción de 160.000 m<sup>3</sup>/día, o Carboneras con 120.000 m<sup>3</sup>/día). Asimismo, y de forma inversa, se observan plantas con una producción inferior a 25.000 m<sup>3</sup>/día que poseen programas de vigilancia ambiental con mayor protección del medio marino con más del 89% de los criterios considerados (como es el caso de la planta de Jávea, Santa Eulalia (Ibiza), o Andratx).



**Figura 4.** Comparación de la calidad del programa de vigilancia ambiental (PVA) de cada planta desalinizadora (eje y primario) respecto a su producción respectivamente (eje y secundario).

Por otra parte, se han identificado programas de vigilancia ambiental con descriptores que no garantizan una mayor protección ambiental o bien generan costes económicos añadidos. Entre ellos en el presente trabajo se identificaron los siguientes descriptores:

- Exigencia de umbrales de salinidad inferiores a los recomendados desde el punto de vista científico y excesivamente cercanos a los valores de salinidad natural (Sánchez-Lizaso et al., 2008), como ocurre en los programas de vigilancia de las plantas de desaladoras de Islas Baleares (excepto modificación de Santa Eulalia), en Nuevo Canal de Cartagena, en Nuevo Canal de Alicante y Ampliación Canal de Alicante.
- Control de las variables de flujo en intervalos de 3h para determinar anomalías en caudales de toma o rechazo, o el control de corrientes mediante correntímetros instalados en continuo, como por ejemplo se exige en los programas de las plantas de Campo de Dalías, Sagunto, o Granadilla.
- Requerimiento del seguimiento de la dinámica litoral, como por ejemplo se realiza en el monitoreo de la planta de Jávea.
- Informes del estado del mar (oleaje, dirección, etc.) que no proporcionan información relevante, ni una minimización del impacto del vertido sobre el medio marino, como se exige en las plantas: Ampliación de Ceuta, Moncofar o Modificación de Santa Eulalia.
- Requerimiento de descriptores de aguas de vertidos residuales, no acordes a vertidos específicos de salmuera, como ocurre en las plantas desaladoras de nuevo Canal de Cartagena y Campo de Cartagena.

Por último, cabe señalar que lo que se ha evaluado en este artículo son las exigencias establecidas en las DIAs que suponen requisitos mínimos de obligado cumplimiento. Pueden existir requisitos adicionales establecidos en las autorizaciones de vertido que no han sido estudiadas. Tampoco se dispone de información suficiente para evaluar cómo se están llevando a cabo dichos programas en la actualidad. Los programas de vigilancia ambiental que se están ejecutando pueden incluir parámetros adicionales a los establecidos en las DIAs que complementen estas medidas mínimas como de hecho ocurre en ciertos casos. Finalmente hay que señalar que en algunos casos el detalle de las DIAs no es suficiente para valorar si en



diseño de muestreo es adecuado desde el punto de vista estadístico para una correcta valoración de los impactos.

#### **4 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

Se ha observado una heterogeneidad en los requisitos establecidos por las DIAs sobre los programas de vigilancia ambiental de desalinizadoras en España. En general se observa que el número de parámetros de control que se exigen en las DIAs ha aumentado con el tiempo pero no con el tamaño de la planta. Por otra parte, se observa la exigencia de control de descriptores que no garantizan una protección ambiental, generan costes económicos añadidos y no están basados en criterios científicos. Sería conveniente, ya que la ley permite la revisión de las DIAs, que se unificaran los parámetros de seguimiento a nivel nacional incluyendo los descriptores esenciales en aquellos casos en los que estén ausentes y eliminando los parámetros superfluos cuando existan. Esta unificación de criterios basada en el conocimiento científico debería prestar particular atención a las plantas de mayor tamaño.

#### **5 AGRADECIMIENTOS**

Este estudio se ha realizado mediante una ayuda para contratos predoctorales cofinanciada entre la Universidad de Alicante y Valoriza Agua S.L.

#### **6 REFERENCIAS**

- Alshahri, F., 2017. Heavy metal contamination in sand and sediments near to disposal site of reject brine from desalination plant, Arabian Gulf: Assessment of environmental pollution. *Environ. Sci. Pollut. Res.* 24, 1821-1831. <https://doi.org/10.1007/s11356-016-7961-x>
- de-la-Ossa-Carretero, J.A., Del-Pilar-Ruso, Y., Loya-Fernández, A., Ferrero-Vicente, L.M., Marco-Méndez, C., Martínez-García, E., Giménez-Casalduero, F., Sánchez-Lizaso, J.L., 2016. Bioindicators as metrics for environmental monitoring of desalination plant discharges. *Mar. Pollut. Bull.* 103, 313-318. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2015.12.023>
- Del-Pilar-Ruso, Y., Jose Antonio, D. la O.C., Angel, L.F., Luis Miguel, F.V., Francisca, G.C., Jose Luis, S.L., 2009. Assessment of soft-bottom Polychaeta assemblage affected by a spatial confluence of impacts: Sewage and brine discharges. *Mar. Pollut. Bull.* 58, 776-782. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2009.03.002>
- Del-Pilar-Ruso, Y., la Ossa Carretero, J.A. De, Casalduero, F.G., Lizaso, J.L.S., 2007. Spatial and temporal changes in infaunal communities inhabiting soft-bottoms affected by brine discharge. *Mar. Environ. Res.* 64, 492-503. <https://doi.org/10.1016/j.marenvres.2007.04.003>
- Del-Pilar-Ruso, Y., Martínez-García, E., Giménez-Casalduero, F., Loya-Fernández, A., Ferrero-Vicente, L.M., Marco-Méndez, C., de-la-Ossa-Carretero, J.A., Sánchez-Lizaso, J.L., 2015. Benthic community recovery from brine impact after the implementation of mitigation measures. *Water Res.* 70, 325-336. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2014.11.036>
- Fernández-Torquemada, Y., González-Correa, J.M., Loya, A., Ferrero, L.M., Díaz-Valdés, M., Sánchez-Lizaso, J.L., 2009. Dispersion of brine discharge from seawater reverse osmosis desalination plants. *Desalin. Water Treat.* 5, 137-145. <https://doi.org/10.5004/dwt.2009.576>
- Fernández-Torquemada, Y., González-Correa, J.M., Sánchez-Lizaso, J.L., 2013. Echinoderms as indicators of brine discharge impacts. *Desalin. Water Treat.* 51, 567-573. <https://doi.org/10.1080/19443994.2012.716609>
- Frank, H., Rahav, E., Bar-Zeev, E., 2017. Short-term effects of SWRO desalination brine on benthic heterotrophic microbial communities. *Desalination* 417, 52-59. <https://doi.org/10.1016/j.desal.2017.04.031>
- Lattemann, S., Kennedy, M.D., Schippers, J.C., Amy, G., 2008. Sustainable water for the future: water recycling versus desalination. Chapter 2 global desalination situation, *Sustain. Water Future 2*, 7-39
- Lin, Y.C., Chang-Chien, G.P., Chiang, P.C., Chen, W.H., Lin, Y.C., 2013. Potential impacts of discharges from

- seawater reverse osmosis on Taiwan marine environment. *Desalination* 322, 84-93. <https://doi.org/10.1016/j.desal.2013.05.009>
- Meneses, M., Pasqualino, J.C., Céspedes-Sánchez, R., Castells, F., 2010. Alternatives for reducing the environmental impact of the main residue from a desalination plant. *J. Ind. Ecol.* 14, 512-527. <https://doi.org/10.1111/j.1530-9290.2010.00225.x>
- Mezher, T., Fath, H., Abbas, Z., Khaled, A., 2011. Techno-economic assessment and environmental impacts of desalination technologies. *Desalination* 266, 263-273. <https://doi.org/10.1016/j.desal.2010.08.035>
- Petersen, K.L., Frank, H., Paytan, A., Bar-Zeev, E., 2018. Impacts of Seawater Desalination on Coastal Environments, en: *Sustainable Desalination Handbook*. Elsevier, pp. 437-463. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-809240-8.00011-3>
- Röthig, T., Ochsenkühn, M.A., Roik, A., Van Der Merwe, R., Voolstra, C.R., 2016. Long-term salinity tolerance is accompanied by major restructuring of the coral bacterial microbiome. *Mol. Ecol.* 25, 1308-1323. <https://doi.org/10.1111/mec.13567>
- Sadhvani Alonso, J.J., Melián-Martel, N., 2018. Environmental Regulations—Inland and Coastal Desalination Case Studies, en: *Sustainable Desalination Handbook*. Elsevier, pp. 403-435. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-809240-8.00010-1>
- Sánchez-Lizaso, J.L., Romero, J., Ruiz, J., Gacia, E., Buceta, J.L., Invers, O., Fernández Torquemada, Y., Mas, J., Ruiz-Mateo, A., Manzanera, M., 2008. Salinity tolerance of the Mediterranean seagrass *Posidonia oceanica*: recommendations to minimize the impact of brine discharges from desalination plants. *Desalination* 221, 602-607. <https://doi.org/10.1016/j.desal.2007.01.119>
- Shahzad, M.W., Burhan, M., Ang, L., Ng, K.C., 2017. Energy-water-environment nexus underpinning future desalination sustainability. *Desalination* 413, 52-64. <https://doi.org/10.1016/j.desal.2017.03.009>