

## ESTUDIO DEL POSIBLE IMPACTO DE LOS CRUCEROS TURÍSTICOS EN LA CALIDAD DEL AGUA DEL PUERTO BUENOS AIRES, ARGENTINA

Study of the possible impact of cruise ships on water quality of the Port Buenos Aires, Argentina

Anabella GIUSTO<sup>1</sup>, Natalia Florencia APRIGLIANO<sup>1</sup>,  
Paula CARAMELLINO<sup>1</sup> y Pablo Sebastián ALMADA<sup>1,2</sup> \*

<sup>1</sup> Departamento Científico Pericial, Dirección de Policía Judicial, Protección Marítima y Puertos, Prefectura Naval Argentina, Benjamín Juan Lavaisse 1058, CP 1107, CABA, Argentina.

<sup>2</sup> Instituto Universitario de Seguridad Marítima, Prefectura Naval Argentina, Corrientes 180, CP B1636GEB, Olivos, Buenos Aires, Argentina.

\*Autor para correspondencia: pabalmada76@yahoo.com

(Recibido: enero 2022; aceptado: octubre 2022)

Palabras clave: aguas residuales, buques de pasajeros, plantas de tratamiento, Anexo IV MARPOL, contaminación del agua.

### RESUMEN

La calidad del agua en los puertos puede verse afectada por contaminación proveniente desde tierra y/o desde el agua. Los cruceros son verdaderas ciudades flotantes, con capacidad para más de 5000 personas, generando gran cantidad de aguas sucias. Los buques poseen plantas de tratamiento reguladas internacionalmente, con distintos estándares de calidad de descarga. El objetivo del trabajo fue evaluar las características de los cruceros, de sus plantas de tratamiento y su posible impacto en la calidad del agua del Puerto Buenos Aires, Argentina. Se realizaron ocho muestreos entre octubre de 2018 y marzo de 2019 en las dársenas A, B y C del puerto y en el Río de la Plata (RDP), además se recopiló información de los cruceros amarrados al momento de los muestreos. Se censaron 21 cruceros, transportando más de 57 000 personas. La dársena B fue la que recibió mayor cantidad de cruceros (11) y personas a bordo (39 562). El 90.5 % de los cruceros cumplió con la normativa MEPC.2 (VI), el 9.5 % con la MEPC.159 (55) y ninguno con la MEPC.227 (64), la más restrictiva. Esto podría estar relacionado con que la flota que opera en esta zona de Sudamérica es más antigua que la que opera en zonas especiales con legislación más estricta. Se observaron diferencias significativas entre la calidad del agua portuaria y la del RDP. Sin embargo, no existe evidencia de un efecto directo por parte de los cruceros. Para futuras investigaciones se recomienda caracterizar los efluentes de las plantas de tratamiento y su posible efecto en el agua del puerto.

Key words: wastewater, passenger ships, treatment plants, MARPOL Annex IV, water pollution.

### ABSTRACT

Water quality in ports can be affected by contamination from land and/or water. Cruise ships are floating cities with capacity for more than 5000 people, generating a large amount of wastewater. Cruise vessels have internationally regulated treatment plants, with different discharge quality standards. The aims of the current study were to

evaluate the characteristics of cruise ships, their treatment plants and their possible impact on the water quality of the Port Buenos Aires, Argentina. Eight samplings were carried out between October 2018 and March 2019 in docks A, B and C, as well as in the Río de la Plata (RDP). In addition, information was collected from the cruise ships moored at the time of the sampling. Twenty-one cruise ships were registered, transporting more than 57 000 people. Dock B was the one that received the largest number of cruise ships (11) and passengers (39 562). The 90.5 % of the cruise ships comply with the MEPC.2 (VI) treatment regulations, 9.5 % with the MEPC.159 (55) and none with the MEPC.227 (64), the most restrictive. This might be related to the fact that the fleet that operates in this zone of South America is older than the one that operates in special zones with stricter legislation. Significant differences were observed between the quality of port water and the RDP, however, there is no evidence of a direct effect from the cruises. For future research, it is recommended to characterize the effluents from the treatment plants and their possible effect on the port water.

## INTRODUCCIÓN

Los puertos y su infraestructura asociada conforman un sistema fundamental para el comercio exterior y para la economía de un país. Desde 1975 a la actualidad el comercio mundial de mercaderías ha ido en constante aumento (UNCTAD 2015), siendo acompañado por el transporte marítimo.

La eficiencia de la operatoria portuaria tiene gran incidencia en el desarrollo de la región donde está ubicada (Benvenuto 2013). Sin embargo, los puertos son sistemas complejos con amplia variedad de actividades que pueden provocar un impacto ambiental negativo en el agua, aire y/o suelo (Trozzi y Vaccaro 2000, Darbra y Casal 2004, Gómez et al. 2015, Valdor et al. 2016, Jahan y Strezov 2017). Si bien los efectos adversos sobre el medio acuático se producen principalmente a partir de actividades antrópicas provenientes de tierra (Escobar 2002, WWF 2015), los buques con prácticas de manejo deficientes pueden contribuir a dicha contaminación. Dentro de la industria naviera, uno de los sectores que se encuentra en constante crecimiento es el de los cruceros turísticos (Butt 2007, Peric et al. 2016, Baloriani 2018). La demanda de este tipo de turismo ha ido en continuo aumento, hasta 2019 el número de pasajeros de cruceros fue de alrededor de 30 millones al año, con una tasa de crecimiento constante del 7 % anual (Peric et al. 2019a). Si bien los buques de pasajeros sólo representan el 1 % de la flota mundial, cuando se trata de contaminación por aguas sucias (grises y negras), su efecto sobre el ambiente suele ser significativo comparado con otros tipos de buques (Butt 2007, Peric et al. 2016, Peric et al. 2019a). La principal diferencia entre los cruceros y todos los demás buques mercantes está en el número de personas que transportan, dado que pueden

trasladar unos 5000 pasajeros, incluyendo más de 1000 tripulantes, lo que los convierte en auténticas ciudades flotantes (Oceana 2004, USEPA 2008, Peric et al. 2016, Baloriani 2018, Peric et al. 2019a). Se estima que la generación de aguas sucias por pasajero y por día es de 20 a 40 litros de aguas negras y de 120 a 300 litros de aguas grises. Las aguas negras contienen aguas fecales, bacterias, patógenos, restos orgánicos, papel y cualquier otro producto tirado a los retretes. En cambio, las aguas grises contienen fosfatos y otros nutrientes de los detergentes y jabones, cloro o flúor de los dentífricos y piscinas, bacterias patógenas, así como cualquier otra sustancia potencialmente dañina utilizada para la higiene personal (Bentley y Ballard 2003, Oceana 2004, Butt 2007, Copeland 2008, USEPA 2008). Existen numerosos estudios que muestran la importancia de la descarga de las aguas provenientes de buques de pasajeros en el ambiente acuático (Caric y Mackelworth 2014, Tamajon 2015, Makajic-Nikolic et al. 2016, Vicente-Cera et al. 2018, Peric et al. 2019b, Vicente-Cera et al. 2019, Vega-Muñoz et al. 2020, Ytreberg et al. 2020). Este problema a nivel mundial ha generado gran preocupación, con el consecuente desarrollo de legislación internacional. La descarga de aguas negras se encuentra regulada por el Anexo IV del Convenio Internacional para Prevenir la Contaminación por los Buques - MARPOL (OMI 2020). Sin embargo, existe un vacío en esta regulación respecto a las aguas grises, ya que no son reconocidas explícitamente como contaminantes (Makajic-Nikolic et al. 2016, Kobojević y Milošević-Pujo 2018, Parks et al. 2019, Peric et al. 2019b, Ytreberg et al. 2020). La Organización Marítima Internacional (OMI), a través del Comité de Protección del Medio Marino (MEPC, sigla en inglés), ha elaborado directrices (MEPC.2 (VI), MEPC.159 (55) y MEPC.227 (64)), sobre la

aplicación de las normas relativas a efluentes y pruebas de rendimiento para las plantas de tratamiento de aguas residuales (OMI 1976, OMI 2006, OMI 2012). Las mismas presentan distintos estándares de calidad de agua, que los buques deben cumplir según el año de instalación de la planta.

Existen dos opciones de sistemas de tratamiento de aguas sucias, los cuales son combinaciones de diferentes procesos. Estos se denominan equipo de saneamiento marino (MSD, sigla en inglés) o sistema avanzado de tratamiento de aguas sucias (AWT, sigla en inglés). Los barcos con el sistema MSD recogen por separado las aguas negras y grises, sólo procesan las aguas negras, mientras que las grises se descargan sin tratar. El sistema AWT maneja usualmente aguas negras y grises en conjunto, por lo que las regulaciones aplicadas a las aguas negras, también se cumplirían para las aguas grises (USEPA 2008, Koboević y Kurtela 2011, Peric et al. 2016). Por lo tanto, dependiendo de la planta de tratamiento que posea el buque, las aguas grises pueden descargarse sin procesar en la mayoría de las zonas marítimas, a pesar de que pueden contener nitrógeno, fósforo, así como contaminantes químicos y microbiológicos, generando un potencial impacto en el ambiente (Koboević y Milošević-Pujo 2018, Ytreberg et al. 2020).

El Puerto Buenos Aires se caracteriza por ser históricamente el operador más importante de Argentina, dedicado a las cargas generales, teniendo un movimiento aproximado de 1200 buques anuales. En este puerto está ubicada la terminal de buques de pasajeros “Quinquela Martín”, siendo la más importante del país (AGP 2021). Hasta inicios del 2020, los cruceros turísticos representaron el 37 % de la flota total de buques que arribaron en época estival al puerto, y el movimiento promedio de los últimos 10 años fue de 120 cruceros y 380 000 personas aproximadamente (AGP 2020). Sin embargo, a pesar de su importancia en la región, no hemos detectado estudios relacionados con la presencia de cruceros y la calidad de sus aguas.

Por lo anterior, el objetivo del trabajo fue evaluar las características de los cruceros turísticos, de sus plantas de tratamiento y su posible impacto en la calidad del agua del Puerto Buenos Aires.

## MATERIALES Y METODOS

### Sitios de muestreo

El Puerto Buenos Aires está ubicado sobre el margen occidental del Río de la Plata, a 34° 36' 45"

de latitud sur y 58° 22' 03" de longitud oeste, en la República Argentina. En su ámbito pueden identificarse dos grandes unidades portuarias, el Puerto Nuevo y el Puerto Sur. En el sector del Puerto Nuevo la configuración portuaria comprende seis dársenas, denominadas de sur a norte con las letras A a la F, las cinco primeras atienden el tráfico de ultramar y la última el de cabotaje. A su vez, en este sector, se encuentra la terminal de cruceros “Quinquela Martín” (AGP 2021).

Se seleccionaron cuatro sitios de muestreo correspondientes a las dársenas A (DA), B (DB), C (DC), y el Río de la Plata (RDP). Las dársenas fueron seleccionadas por ser los principales sitios de amarre de cruceros turísticos y el río como sitio blanco, a 1 km de distancia del ingreso al puerto y por fuera del canal de navegación (**Fig. 1**). Se llevaron a cabo ocho muestreos entre los meses de octubre de 2018 y marzo de 2019, abarcando la totalidad de la temporada de cruceros.

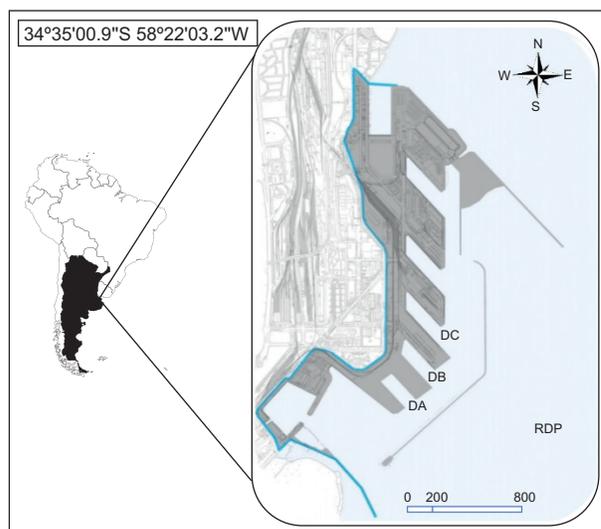


Fig. 1. Puerto Buenos Aires con el detalle del Puerto Nuevo y los puntos de muestreo. Imágenes adaptadas de AGP (2021). DA (dársena A); DB (dársena B); DC (dársena C); RDP (Río de la Plata).

### Análisis de los cruceros

Para la totalidad de los cruceros turísticos amarrados al momento de los muestreos se recopiló documentación que incluyó: la dársena de amarre, las características del barco (capacidad máxima de personas que puede transportar (CMP), cantidad de personas a bordo -arribo, zarpada y tránsito-, capacidad de retención de aguas sucias (CR)), el tipo de

planta de tratamiento instalada a bordo (marca, modelo, características, tipo de desinfectante utilizado, directriz MEPC con la que cumple) y la estadía (h) en el RDP. A su vez, siguiendo la metodología propuesta por Peric et al. (2019b) se estimó el volumen máximo teórico de 1) aguas negras (GBW, sigla en inglés) y 2) aguas grises (GGW, sigla en inglés) generadas por los buques. Los cálculos fueron realizados a partir de la capacidad máxima de personas que puede transportar cada buque y del tiempo promedio de permanencia en aguas del RDP (48 h). Cabe aclarar que los mismos se realizaron considerando los tanques de aguas sucias inicialmente vacíos.

$$GBW = \frac{(K \cdot F_{BW} \cdot t)[m^3]}{1000} \quad (1)$$

$$GGW = \frac{(K \cdot F_{GW} \cdot t)[m^3]}{1000} \quad (2)$$

Donde:

GBW volumen, máximo teórico de aguas negras,  
GGW volumen, máximo teórico de aguas grises,  
K capacidad máxima de personas a bordo,  
 $F_{BW}$  constante para aguas negras 1.325 L/persona/h,  
 $F_{GW}$  constante para aguas grises 10.54 L/persona/h,  
t tiempo promedio en aguas del RDP [48 h].

### Parámetros de calidad del agua

En los sitios seleccionados se realizaron determinaciones in situ de oxígeno disuelto (OD), pH, conductividad eléctrica, temperatura y turbidez, mediante la utilización del equipo portátil multiparamétrico Horiba U-52<sup>TM</sup>. Además, se tomaron muestras de agua subsuperficial (< 0.5 m), en recipientes estériles de 250 mL para análisis microbiológicos y en botellas de vidrio color caramelo de 1 L para la determinación de parámetros químicos. Siguiendo los métodos normalizados para el análisis de aguas potables y residuales (Rice et al. 2017), los parámetros investigados fueron: *Escherichia coli* (*E. coli*) mediante la técnica de número más probable (NMP), método 9221-G modificado; nitrógeno total (NT), método 10071 y fósforo total (PT), métodos 4500-P B E. También se realizó la determinación de cloro libre y cloro total utilizando un kit marca Hach, modelo CN-66. Los recipientes fueron trasladados al laboratorio, refrigerados y almacenados a 4 °C en condiciones de oscuridad. El inicio de los análisis se realizó dentro de las 24 h.

Los valores promedio de los parámetros obtenidos para cada sitio fueron comparados con los propuestos por el Instituto Nacional del Agua (INA) en el

informe INA 02-1090-12, elaborado para la evaluación de la calidad del agua en la franja costera sur del Río de la Plata (INA 2012). Se consideró para la comparación el USO III “agua apta para actividades recreativas sin contacto directo”, que comprende las actividades para las cuales existe un eventual contacto con el agua, pero en donde es improbable que se produzca su ingesta (remo, vadeo, navegación, pesca, entre otras).

### Análisis estadístico

Para el análisis estadístico se utilizó el programa Infostat (Di Rienzo et al. 2020). La comparación de las variables estudiadas entre los sitios de muestreo se realizó por medio de análisis de varianza (ANDEVA) univariados, previa verificación de los supuestos de homocedasticidad y normalidad. Las variables que no se ajustaron a los supuestos, se transformaron logarítmicamente.

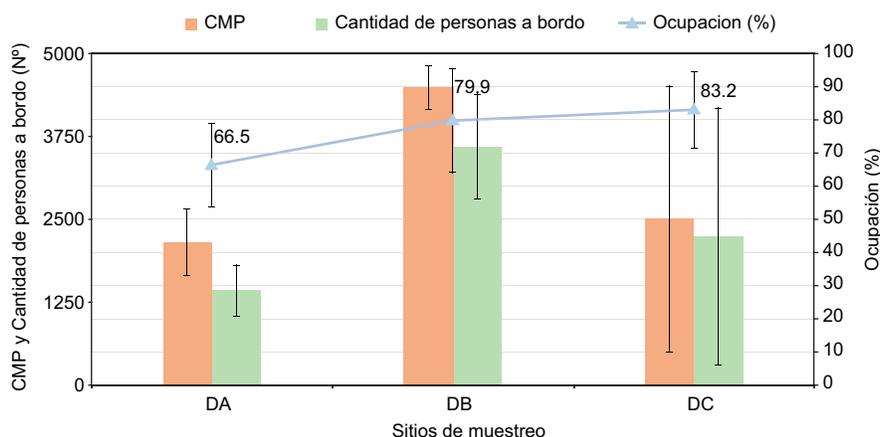
## RESULTADOS

La totalidad de los cruceros turísticos amarrados al momento de los muestreos fue de 21. El 29 % se encontró en la DA, el 52 % en la DB y el 19 % en la DC, con una cantidad total de personas a bordo de 8549 (DA), 39 562 (DB) y 8975 (DC). El porcentaje de ocupación de los cruceros fue aproximadamente de 66 %, 80 % y 83 %, para las dársenas A, B y C, respectivamente (**Fig. 2**).

Los cruceros investigados permanecieron en aguas del RDP entre 16 y 64 h. Los últimos puertos antes de arribar a Buenos Aires fueron Montevideo (Uruguay), Punta del Este (Uruguay) y Santos (Brasil), con viajes como máximo de 48 h de duración.

El 90.5 % de los buques evaluados cumplió con la normativa MEPC.2 (VI), que es la más antigua y menos restrictiva, el 9.5 % cumplió con la normativa MEPC.159 (55) y ninguno con la resolución MEPC.227 (64) que es la más exigente de todas. Los tipos de plantas de tratamiento registrados en la totalidad de los cruceros pertenecieron a la clasificación AWT, y sólo hubo dos que utilizaron algún tipo de desinfección química, siendo en ambos casos la cloración (**Cuadro I**).

El **cuadro II** muestra para cada crucero el cálculo de GBW y de GGW, durante el tiempo estimado de estadía en aguas del RDP. A excepción de dos casos (ID 8 e ID 9), las GBW no superaron la capacidad de retención indicada en los certificados, en tanto que, si se consideran en conjunto con las GGW, los volúmenes estimados igualaron o superaron dichos valores para todos los buques.



**Fig. 2.** Relación entre las dársenas de amarre, la capacidad máxima de personas que puede transportar el buque (CMP), la cantidad de personas a bordo y el porcentaje de ocupación ( $\pm$  desvío estándar). DA (dársena A); DB (dársena B); DC (dársena C).

**CUADRO I.** DETALLE DE LAS PLANTAS DE TRATAMIENTO ESTUDIADAS DURANTE LA TEMPORADA 2018-2019.

DARSENA	ID	NV	Tipo de planta	Clasificación (USEPA 2008)	Año de construcción del buque	Resolución con la que cumple	Usa desinfectante-cuál
DA	1	4	ZX-IMBER-6035-710	AWT	1997	MEPC 2 (VI)	NO
	2	1	Membrane Bio Reactor Treatment Plant		2009	MEPC.159 (55)	NO
	3	1	Membrane Bio Reactor Treatment Plant		2000	MEPC.159 (55)	NO
DB	4	3	Bio unir Model MSP	AWT	2006	MEPC 2 (VI)	SI-CLORO 12
	5	4	Evac Aquamar Bio Unit- Model MSP X		2006		SI-CLORO 12
	6	3	ST60X-3P,2C		2008	NO	
	7	1	ST60X-3P,2C		2008	NO	
DC	5	2	Evac Aquamar Bio Unit- Model MSP X	AWT	2006	MEPC 2 (VI)	SI-CLORO 12
	8	1	MSTP 8 Standard		1999		NO
	9	1	Membrane Bioreactor waste Tratement plant. MBR 140		2008		NO

ID: identificación de los 21 cruceros turísticos muestreados (el mismo número corresponde al mismo buque estudiado en diferentes fechas); NV: (número de veces que ingresó el crucero). DA (DÁRSENA A); DB (DÁRSENA B); DC (DÁRSENA C).

En relación con los parámetros de calidad de agua, para los cuatro sitios la temperatura superficial promedio se mantuvo en los 25 °C, concordante con la época del año, y el pH cercano a 7. Para ambos parámetros no hubo diferencias significativas

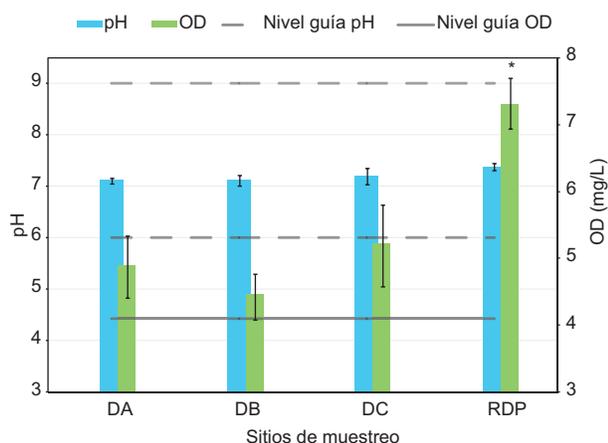
entre los puntos de muestreo (ANDEVA  $p > 0.05$ ) y los valores se encontraron dentro de los rangos de referencia establecidos por el INA. Con respecto a la concentración de OD, hubo una disminución significativa en las tres dársenas en relación con el

**CUADRO II.** VOLUMENES MÁXIMOS TEÓRICOS DE AGUAS NEGRAS (GBW) Y GRISES (GGW) POR CRUCERO.

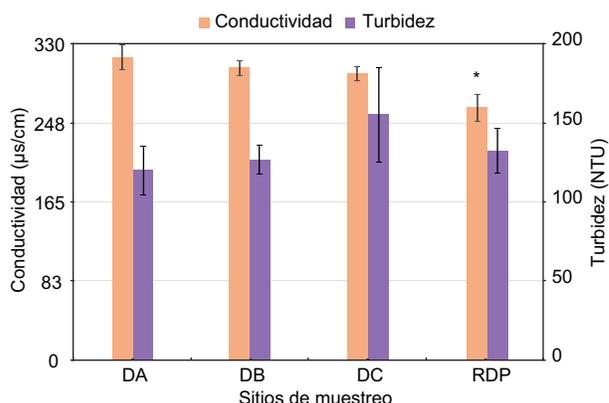
ID	CMP	CR (m <sup>3</sup> )	GBW (m <sup>3</sup> )	GGW (m <sup>3</sup> )
1	2425	840.0	154.2	1226.9
2	2051	291.6	130.4	1037.6
3	1150	86.0	73.1	581.8
4	4250	419.6	270.3	2150.2
5	4250	419.6	270.3	2150.2
6	4910	2608.8	312.3	2484.1
7	4910	2608.8	312.3	2484.1
8	700	28.5	44.5	354.1
9	816	38.5	51.9	412.8

Cálculos realizados según Peric et al. (2019b), a partir de la capacidad máxima de personas que puede transportar el buque (CMP), considerando un tiempo promedio de estadía en aguas del río de la plata de 48 hs. ID (identificación del buque); CR (capacidad de retención del certificado).

RDP (ANDEVA  $p < 0.001$ ), en tanto que los valores promedio determinados (4.4 - 7.3 mg/L) superaron el nivel guía sugerido por el INA (Fig. 3). La conductividad se mantuvo similar en las tres dársenas (299 - 316  $\mu\text{S/cm}$ ), siendo significativamente más baja (ANDEVA  $p < 0.05$ ) en el RDP (263  $\mu\text{S/cm}$ ) en relación con la DA (Fig. 4). En el caso de la turbidez, los valores promedio oscilaron entre 120 y 155 NTU, siendo la DC la que presentó el mayor valor, aunque no se encontraron diferencias significativas entre los



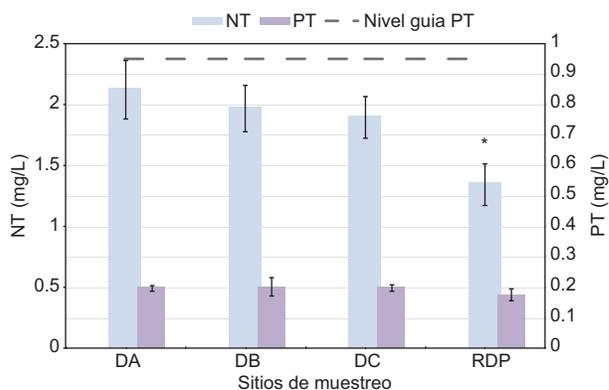
**Fig. 3.** Valores medios ( $\pm$  error estándar) de pH y OD (oxígeno disuelto) obtenidos a lo largo del periodo de muestreo ( $n=8$ ). Con líneas punteadas se indica el rango de valores guía para pH y en línea continua el valor guía de OD. El \* indica diferencias significativas entre el RDP y las dársenas. DA (dársena A); DB (dársena B); DC (dársena C); RDP (Río de la Plata).



**Fig. 4.** Valores medios ( $\pm$  error estándar) de conductividad y turbidez obtenidos a lo largo del periodo de muestreo ( $n=8$ ). El \* indica diferencias significativas entre el RDP y la DA. DA (dársena A); DB (dársena B); DC (dársena C); RDP (Río de la Plata).

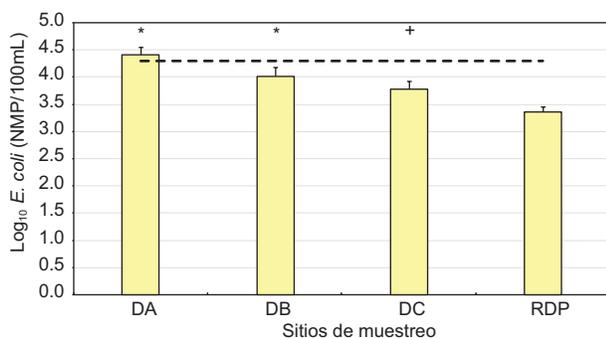
sitios de estudio (Fig. 4). Para el NT se encontraron diferencias significativas entre la DA y el RDP (ANDEVA  $p < 0.05$ ), con valores promedio de 2.1 y 1.3 mg/L, respectivamente (Fig. 5). Con respecto al PT no se encontraron diferencias significativas entre los puntos de muestreo (concentraciones cercanas a 0.2 mg/L), y en todos los casos los valores estuvieron por debajo del nivel guía establecido por el INA (Fig. 5).

Los valores promedio de *E. coli*, expresados como  $\log_{10}$ , variaron entre 3.37 (2330 NMP/100 mL) y 4.42 (26 009 NMP/100 mL), siendo significativamente mayores en la DA y la DB respecto al RDP. A



**Fig. 5.** Concentraciones medias ( $\pm$  error estándar) de nitrógeno total (NT) y fósforo total (PT), obtenidas a lo largo del periodo de muestreo ( $n=8$ ). En líneas punteadas se indica el valor guía para PT. El \* indica diferencias significativas entre el RDP y la DA. DA (dársena A); DB (dársena B); DC (dársena C); RDP (Río de la Plata).

su vez dentro de las dársenas se observó un patrón decreciente de *E. coli* en el siguiente orden DA > DB > DC, siendo los valores determinados significativamente más elevados en la DA con relación a la DC (ANDEVA  $p < 0.001$ ). Asimismo, el valor promedio determinado en la DA superó el nivel guía establecido por el INA (**Fig. 6**).



**Fig. 6.** Concentraciones medias del Log<sub>10</sub> de *E. coli* ( $\pm$  error estándar) obtenidas a lo largo del periodo de muestreo ( $n=8$ ). Los \* indican diferencias significativas con el RDP y el signo + con la DA. En líneas punteadas se indica el valor guía en Log<sub>10</sub>. DA (dársena A); DB (dársena B); DC (dársena C); RDP (Río de la Plata), NMP (número más probable).

En la totalidad de los muestreos los valores de cloro libre y total se encontraron por debajo del límite de cuantificación del método (0.1 mg/L).

Cabe destacar que para conductividad, turbidez, NT y cloro no hay niveles de referencia sugeridos por el INA, considerando el USO III.

## DISCUSIÓN

En virtud del derecho marítimo internacional, las aguas negras están cubiertas por el Anexo IV del MARPOL. Sin embargo, se evalúa a los buques mercantes con más de 15 personas a bordo, de igual modo que a los cruceros, los cuales pueden exceder las 5000 entre pasajeros y tripulantes (Peric et al. 2019b). Por lo tanto, debido a la gran cantidad de personas que transportan, la gestión de las aguas residuales es un reto importante para el sector de los cruceros, que se encuentra en constante y rápido crecimiento (Hall et al. 2017).

A lo largo de los años, las directrices elaboradas por la OMI fueron aumentando el nivel de exigencia en cuanto a la calidad del agua liberada por los buques, e incorporando nuevos parámetros para la evaluación

de plantas de tratamiento de efluentes. Durante el periodo de estudio se encontró que la gran mayoría de los cruceros turísticos cumplió con la normativa MEPC.2 (VI), que es la más antigua y menos restrictiva, contemplando únicamente coliformes fecales, sólidos suspendidos totales y demanda bioquímica de oxígeno (OMI 1976). Solo los buques identificados como ID 2 e ID 3 cumplieron con la MEPC.159 (55), la cual disminuye los límites de descarga permitidos por la MEPC.2 (VI) y adiciona los parámetros pH, cloro libre y demanda química de oxígeno (OMI 2006). Ningún buque censado cumplió con la MEPC.227 (64), que también incorpora los parámetros NT y PT (OMI 2012). Esto podría estar relacionado con que la flota que opera en esta zona de Sudamérica es más antigua que la que opera en zonas especiales con legislación más estricta, coincidiendo con los años de construcción de los cruceros censados (1997 a 2009). En concordancia con lo anterior, es válido destacar que de los dos buques que cumplieron con la MEPC.159 (55), la cual aplica a plantas de tratamiento instaladas a partir del año 2010, el único que cumplió debido a su año de construcción fue el ID 2. El resto de los cruceros evaluados fueron más antiguos y solo el ID 3 se ajustó a esta legislación al actualizar su planta de tratamiento original (**Cuadro I**).

Los cálculos de GBW, en la mayoría de los casos, no superaron la capacidad de retención de los certificados. A excepción de los buques identificados como ID 8 e ID 9 en los cuales se superó en un 56 y 35 %, respectivamente. A su vez, al considerar también la GGW, cuya producción estimada por persona es ocho veces mayor que las aguas negras (Butt 2007, USEPA 2008, Peric et al. 2019b), el volumen generado podría superar hasta catorce veces la capacidad de retención de los cruceros (**Cuadro II**). No obstante, debe tenerse en cuenta que los cálculos se realizaron considerando los tanques de retención de aguas sucias inicialmente vacíos. Sin embargo, si se contempla que los cruceros pueden ingresar en aguas del RDP con los tanques parcialmente cargados, los volúmenes generados podrían superar en todos los casos la capacidad de retención de los certificados. Esto podría provocar la descarga del excedente en instalaciones de recepción en zona portuaria o su liberación (tratada o no) en aguas del RDP. Dicha liberación está prohibida por la legislación nacional vigente (REGINAVE 2019), a menos que los cruceros presenten plantas de tratamiento que cumplan con la resolución MEPC.227 (64), como se indica en la ordenanza N° 3/2014 de la Prefectura Naval Argentina (PNA 2014), situación que no ocurrió con ninguno de los buques.

Sin embargo, cabe destacar que los cruceros censados presentaron sistemas AWT (**Cuadro I**) que usualmente manejan aguas negras y grises conjuntamente, por lo que las regulaciones aplicadas a las aguas negras también se cumplirían para las aguas grises (Bentley y Ballard 2003, USEPA 2008, Peric et al. 2019b) siendo más eficientes y produciendo un efecto adverso menor en el ambiente (Koboević y Kurtela 2011).

En el presente estudio se observó una menor calidad del agua portuaria en relación con el RDP. Las tres dársenas presentaron baja concentración de OD, en tanto que en el RDP los valores se encontraron dentro de los esperados para este ambiente (INA 2012).

La DA fue la que presentó la menor calidad de agua, lo que se evidenció con valores elevados de NT, conductividad y *E. coli*. La evaluación de estos parámetros mostró un patrón decreciente de concentraciones desde la DA a la DC, siendo esa última la que presenta una mayor influencia del agua del sitio blanco (RDP). Sin embargo, el único parámetro que permitió diferenciar las dársenas entre sí fue *E. coli*, con valores promedio entre 26 009 y 61 70 NMP/100 mL (DA - DC). La presencia de este microorganismo indica la existencia de contaminación fecal de origen humano o animal reciente, y constituye un indicador de degradación de los cuerpos de agua (Vergaray et al. 2007, Carrillo-Zapata y Lozano-Caicedo 2008).

La DC fue el sitio con los valores más elevados de turbidez, lo que puede deberse a que fue la única en la que además de cruceros, se identificó la presencia de portacontenedores y remolcadores (20% y 13 % respectivamente del total de buques en la dársena). Algunos autores han reportado que los remolcadores son responsables de la resuspensión de sedimentos en las maniobras de entrada y salida de los grandes buques (Karakı y vanHofen 1975). Es válido resaltar que el RDP también presentó niveles elevados de este parámetro (132 NTU), propio de la dinámica de sus principales tributarios, sobre todo del río Paraná, el cual le aporta 160 millones de toneladas al año de arena fina, limo y arcillas (Fossatia et al. 2014).

A pesar de que la calidad del agua en las dársenas fue menor que en el RDP, los resultados obtenidos no evidenciaron una relación directa con la presencia de los cruceros turísticos en particular. Esto es consecuente con lo observado en la DB, la cual no se diferenció significativamente de las dársenas A y C en ningún parámetro evaluado, a pesar de haber recibido el doble de cruceros y 4.5 veces más personas a bordo. Teniendo en cuenta la prohibición de descargas en zonas portuarias, la menor calidad del

agua en las dársenas podría estar relacionada con efluentes provenientes de tierra. Es válido destacar que los niveles guía para descarga de efluentes terrestres a cuerpos de agua superficiales establecidos por la Autoridad del Agua en la Resolución N° 336/03 (ADA 2003), son similares a los establecidos en la reglamentación internacional MEPC más antigua (OMI 1976). Sin embargo, como indica Lobo (2014) para estudios costeros realizados en el RDP, la presencia de diferentes tipos de descargas directas y difusas sin previo tratamiento (efluentes cloacales, industriales, etc.) afectan la calidad físico-química de sus aguas. Esta situación dificulta establecer una posible relación directa entre la presencia de los cruceros y la baja calidad del agua del puerto. Resultados similares fueron reportados por Disney et al. (2014), Disney y Farrell (2015) y Wolf et al. (2018) en el puerto de Bar Harbor, Estados Unidos. Sin embargo, estudios realizados por Jahan y Strezov (2017) en diferentes puertos de Australia, asociaron la disminución de la calidad del agua a la presencia de buques (cruceros, pesqueros y otras embarcaciones).

La baja calidad del agua informada en el presente trabajo podría asociarse a la presencia de una descarga (red de desagüe del Radio Antiguo) situada en las proximidades de la DA, la cual recoge el excedente pluvial y el vertido cloacal de más de veinte cámaras aliviadoras de toda la Ciudad de Buenos Aires (Domínguez 2016). En monitoreos realizados por la compañía de Aguas y Saneamientos Argentinos (AySA), de las diferentes descargas costeras provenientes del Área Metropolitana de Buenos Aires al Río de la Plata, se destaca el gran aporte contaminante de la red de desagüe del Radio Antiguo donde se han determinado valores de *E. coli* tan elevados como  $1.1 \times 10^8$  NMP/100 mL (APrA 2009). Si bien no detectamos publicaciones referentes a la dinámica hidrológica dentro del Puerto Buenos Aires, en el RDP existe una circulación predominante de la corriente en dirección norte-sur, generada por los principales tributarios. Esta situación puede verse alterada por las mareas y la dirección del viento, produciendo una circulación inversa (FREPLATA 2005), provocando la dispersión de las aguas desde la mencionada descarga pluvio cloacal hacia la DA, y en menor medida, sobre las otras dársenas.

Los resultados obtenidos en el presente trabajo son los primeros informados en relación con la calidad del agua del Puerto Buenos Aires. Es válido resaltar que también se incluye información relevante sobre el manejo de las aguas sucias de los cruceros turísticos que arriban a la Argentina. Si bien no se pudo evidenciar contaminación por aguas sucias

proveniente de cruceros, para futuras investigaciones es necesario profundizar en el origen de la contaminación de las aguas del puerto, las cuales deben incluir tanto la caracterización de los efluentes de las plantas de tratamiento de los cruceros turísticos, como las principales fuentes de contaminantes provenientes de tierra en el área de estudio.

## AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen a la jefatura del Departamento Científico Pericial y al Instituto Universitario de Seguridad Marítima de la Prefectura Naval Argentina, por el apoyo brindado para llevar adelante este proyecto de investigación. Al personal del Laboratorio Químico, por los análisis realizados, sugerencias y colaboración.

## REFERENCIAS

- ADA (2003). Resolución ADA N° 336-03, Anexo II. Autoridad del Agua, Buenos Aires, Argentina [en línea]. <https://normas.gba.gob.ar/documentos/0P3k4eSA.html> 28/10/22
- AGP (2020). Informe estadístico año 2020 Puerto Buenos Aires. Administración General de Puertos [en línea]. [https://www.argentina.gob.ar/sites/default/files/estadistica\\_ano\\_2020.pdf](https://www.argentina.gob.ar/sites/default/files/estadistica_ano_2020.pdf) 28/10/22
- AGP (2021). Administración General de Puertos [en línea]. <https://www.argentina.gob.ar/transporte/administracion-general-puertos-se/el-puerto> 28/10/2022
- APrA (2009). Buenos Aires y el agua. Diagnóstico para una gestión sostenible del recurso hídrico. Agencia de Protección Ambiental. Gobierno de la Ciudad de Buenos Aires [en línea]. [https://fundacionespaciosverdes.weebly.com/uploads/2/0/8/5/20850604/buenos\\_aires\\_y\\_el\\_agua.pdf](https://fundacionespaciosverdes.weebly.com/uploads/2/0/8/5/20850604/buenos_aires_y_el_agua.pdf) 28/10/2022
- Baloriani G. (2018). ¿El turismo de cruceros es una actividad sustentable? Caso de estudio: Ushuaia, Tierra del Fuego. Tesis de Licenciatura. Universidad Nacional de La Plata. La Plata, Argentina, 100 pp.
- Bentley A. y Ballard I. (2003). Black and gray water treatment solutions using membrane bioreactors. The Naval Architect [en línea]. <https://www.dieselduck.info/machine/04%20auxiliary/2007%20MBR.pdf> 28/10/2022
- Benvenuto M. (2013). Los puertos fluvio-marítimos y su impacto al medio ambiente humano y natural [en línea]. <https://programainfraestructura.unr.edu.ar/publicaciones/03-Benvenuto.pdf> 28/10/2022
- Butt N. (2007). The impact of cruise ship generated waste on home ports and ports of call: A study of Southampton. *Marine Policy* 31 (5), 591-598. <https://doi.org/10.1016/j.marpol.2007.03.002>
- Carić H. y Mackelworth P. (2014). Cruise tourism environmental impacts – The perspective from the Adriatic Sea. *Ocean and Coastal Management* 102 (Parte A), 350-363. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ocecoaman.2014.09.008>
- Carrillo-Zapata E.M. y Lozano-Caicedo A.M. (2008). Validación del método de detección de coliformes totales y fecales en agua potable utilizando agar chromocult. Tesis de Licenciatura. Pontificia Universidad Javeriana, Bogotá, Colombia, 82 pp.
- Copeland C. (2008). Cruise ship pollution: Background, laws and regulations, and key issues [en línea]. <https://digital.library.unt.edu/ark:/67531/metadc87283/28/10/2022>
- Darbra R.M. y Casal J. (2004). Historical analysis of accidents in seaports. *Safety Science* 42 (2), 85-98. [https://doi.org/10.1016/S0925-7535\(03\)00002-X](https://doi.org/10.1016/S0925-7535(03)00002-X)
- Di Rienzo J.A., Casanoves F., Balzarini M.G., Gonzalez L., Tablada M. y Robledo C.W. (2020). InfoStat versión 2020. Grupo InfoStat, FCA, Universidad Nacional de Córdoba, Argentina [en línea]. <https://www.infostat.com.ar> 28/10/2022
- Disney J., Charabati J. y Farrell A. (2014). Bar Harbor cruise ship monitoring report 2014 [en línea]. <https://www.barharbormaine.gov/DocumentCenter/View/1450/MDIBL-Cruise-Ship-Monitoring-Report-for-2014?bidId> 28/10/2022
- Disney J. y Farrell A. (2015). Bar Harbor cruise ship monitoring report 2015 [en línea]. <https://www.barharbormaine.gov/DocumentCenter/View/1705> 28/10/2022
- Domínguez A.B. (2016). Agua potable y desagües para la Ciudad de Buenos Aires [en línea]. [http://www.cai.org.ar/wp-content/uploads/actividades/2017/201712\\_Saneamiento.PDF](http://www.cai.org.ar/wp-content/uploads/actividades/2017/201712_Saneamiento.PDF) 28/10/22
- Escobar J. (2002). La contaminación de los ríos y sus efectos en las áreas costeras y el mar [en línea]. <https://repositorio.cepal.org/handle/11362/6411> 28/10/2022
- Fossatia M., Santoroa P., Mosqueraa R., Martíneza C., Ghiardoa F., Ezzattib P., Pedocchia F. y Piedra-Cuevai I. (2014). Dinámica de flujo, del campo salino y de los sedimentos finos en el Río de la Plata. *Ribagua* 1 (1), 48-63. [https://doi.org/10.1016/S2386-3781\(15\)30007-4](https://doi.org/10.1016/S2386-3781(15)30007-4)
- FREPLATA (2005). Análisis diagnóstico transfronterizo del Río de la Plata y su Frente Marítimo. Protección Ambiental del Río de la Plata y su Frente Marítimo: Prevención y Control de la Contaminación y Restauración de Hábitats. Documento técnico, Montevideo, Uruguay, 311 pp.
- Gómez A.G., Ondiviela B., Puente A. y Juanes J.A. (2015). Environmental risk assessment of water quality in

- harbor areas: A new methodology applied to European ports. *Journal of Environmental Management* 155, 77-88. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2015.01.042>
- Hall C.M., Wood H. y Wilson S. (2017). Environmental reporting in the cruise industry. En: *Cruise Ship Tourism*. (R. Dowling y C. Weeden, Eds.). CABI, Wallingford, Reino Unido, pp. 441-464. <https://doi.org/10.1079/9781780646084.0441>
- INA (2012). INA 02-1090-12. Modelación de calidad del agua del Río de la Plata. Análisis de antecedentes. Instituto Nacional del Agua. Informe. Ezeiza, Argentina, 50 pp.
- Jahan S. y Strezov V. (2017). Water quality assessment of Australian ports using water quality evaluation indices. *PloS ONE* 12 (12), e0189284. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0189284>
- Karaki S. y vanHofen J. (1975). Resuspension of bed material and wave effects on the Illinois and Upper Mississippi Rivers caused by boat traffic [en línea]. <https://apps.dtic.mil/sti/citations/ADA122370> 02/11/2022
- Koboević Ž. y Kurtela Ž. (2011). Comparison of marine sewage treatment systems. *Memorias. 14th International Conference on Transport Science-ICTS*. Portorož, Slovenia. 27 de mayo, 2011. 175-184.
- Koboević Ž. y Milošević-Pujo B. (2018). The necessity of adoption of new national regulations to prevent the pollution of Croatian coastal sea by sewage from various vessels. *Transactions on Maritime Science* 1, 76-83. <https://doi.org/10.7225/toms.v07.n01.008>
- Lobo C.C. (2014). Tratamiento biológico de aguas residuales industriales. Tesis de Doctorado. Universidad Nacional de La Plata. La Plata, Argentina, 175 pp.
- Makajic-Nikolic D., Petrovic N., Cirovic M., Vujosevic M. y Presburger-Ulnikovic V. (2016). The model of risk assessment of greywater discharges from the Danube River ships. *Journal of Risk Research* 19 (4), 496-514. <https://doi.org/10.1080/13669877.2014.988286>
- Oceana (2004). Contamination by cruise ships [en línea]. [https://oceana.org/wp-content/uploads/sites/18/cruise\\_ships\\_pollution\\_Jun2004\\_ENG.pdf](https://oceana.org/wp-content/uploads/sites/18/cruise_ships_pollution_Jun2004_ENG.pdf). 28/10/2022
- OMI (1976). MEPC.2 (VI). Recommendation on international effluent standards and guidelines for performance tests for sewage treatment plants. Organización Marítima Internacional. Resolución. Londres, Reino Unido, 7 pp.
- OMI (2006). MEPC.159 (55). Recommendation on standards for the rate of discharge of untreated sewage from ships. Organización Marítima Internacional. Londres, Reino Unido, 13 pp.
- OMI (2012). MEPC.227 (64). Guidelines on implementation of effluent standards and performance tests for sewage treatment plants. Organización Marítima Internacional. Londres, Reino Unido, 18 pp.
- OMI (2020). Organización Marítima Internacional. Prevención de la contaminación por las aguas sucias de los buques [en línea]. <https://www.imo.org/es/OurWork/Environment/Paginas/Sewage-Default.aspx> 28/10/2022
- Parks M., Ahmasuk A., Compagnon B., Norris A. y Rufec R. (2019). Quantifying and mitigating three major vessel waste streams in the northern Bering Sea. *Marine Policy* 106, 103530. <https://doi.org/10.1016/j.marpol.2019.103530>
- Perić T., Komadina P. y Račić N. (2016). Wastewater pollution from cruise ships in the Adriatic Sea. *Promet-Traffic and Transportation* 28 (4), 425-433. <https://hrcak.srce.hr/165543>
- Perić T., Mihanović V. y Golub-Medvešek I. (2019a). Analysis of cruise ship traffic in the Port of Split. *Journal of Applied Engineering Science* 17 (3), 304-310. <https://doi.org/10.5937/jaes17-22822>
- Perić T., Mihanović V. y Račić N. (2019b). Evaluation model of marine pollution by wastewater from cruise ships. *Brodogradnja* 70 (3), 79-92. <https://doi.org/10.21278/brod70305>
- PNA (2014). Ordenanza N° 3-14 (DPAM). Normas para prevenir la contaminación por aguas sucias de los buques. Tomo 6, Régimen para la protección ambiental. Dirección de Protección Ambiental. Prefectura Naval Argentina. Buenos Aires, Argentina, 29 pp.
- REGINAVE (2019). DECTO-2019-770-APN-PTE. Régimen de la navegación marítima, fluvial y lacustre. Decreto 770/2019. Boletín Oficial de la República Argentina. 14 de noviembre de 2019.
- Rice E.W., Baird R.B. y Eaton A.D. (2017). Standard methods for the examination of water and wastewater. 23th ed, American Public Health Association (AWWA), Water Environment Federation, Washington, DC.
- Tamajón L. (2015). Luces y sombras del turismo de cruceros: el caso de Barcelona. *Documents d'anàlisi geogràfica* 61 (3), 563-580.
- Trozzi C. y Vaccaro R. (2000). Environmental impact of port activities. En: *Maritime Engineering and Ports II*. (C.A. Brebbia y J. Olivella, Eds.). WIT Press, Southampton, Reino Unido, pp. 151-161.
- UNCTAD (2015). UNCTAD/RMT/2015. Informe sobre el transporte marítimo. Conferencia de las Naciones Unidas sobre Comercio y Desarrollo, Naciones Unidas. Ginebra, Suiza 127 pp.
- USEPA (2008). EPA842-R-07-005. Cruise ship discharge assessment report. Oceans and Coastal Protection Division Office of Wetlands, Oceans, and Watersheds. Office of Water Unites Stated Environmental Protection Agency. Reporte. Washington, D.C., EUA, 162 pp.
- Valdor P.F., Gómez A.G., Ondiviela B., Puente A. y Juanes J.A. (2016). Prioritization maps: The integration of

- environmental risks to manage water quality in harbor areas. *Marine Pollution Bulletin* 111 (1-2), 57-67. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2016.07.028>
- Vega-Muñoz A., Arjona-Fuentes J.M., Ariza-Montes A., Han H. y Law R. (2020). In search of 'a research front' in cruise tourism studies. *International Journal of Hospitality Management* 85, 102353. <https://doi.org/10.1016/j.ijhm.2019.102353>
- Vergaray G., Méndez C., Morante H., Heredia V. y Béjar V. (2007). *Enterococcus* y *Escherichia coli* como indicadores de contaminación fecal en playas costeras de Lima. *Revista del Instituto de Investigación de la Facultad de Ingeniería Geológica, Minera, Metalúrgica y Geográfica* 10 (20), 82-86.
- Vicente-Cera I., Acevedo-Merino A., López-Ramírez J.A. y Nebot E. (2018). Emisiones y residuos producidos por el tráfico de la flota de buques cruceros en el estrecho de Gibraltar. *Almoraima. Revista de Estudios Campogibaltareños* 49, 75-85.
- Vicente-Cera I., Moreno-Andrés J., Amaya-Vías D., Biel-Maeso M., Pintado-Herrera M.G., Lara-Martín P.A., Acevedo-Merino A., López-Ramírez J.A. y Nebot E. (2019). Chemical and microbiological characterization of cruise vessel wastewater discharges under repair conditions. *Ecotoxicology and Environmental Safety* 169, 68-75. <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2018.11.008>
- Wolf A., Farrell A., Taylor A. y Disney J. (2018). Bar Harbor cruise ship monitoring report 2018 [en línea]. <https://www.barharbormaine.gov/DocumentCenter/View/3042/Cruise-Ship-Monitoring-Report-2018-28/10/2022>
- WWF (2015). Living blue planet report. Species, habitats and human well-being. World Wildlife Fund. Gland, Switzerland, 68 pp.
- Ytreberg E., Eriksson M., Maljutenko I., Jalkanen J.P., Johansson L., Hassellöv I.M. y Granhag L. (2020). Environmental impacts of grey water discharge from ships in the Baltic Sea. *Marine Pollution Bulletin* 152, 110891. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2020.110891>