

## NIVELES DE PLOMO Y CADMIO EN TEJIDO HEPÁTICO DE AVES MARINAS AFECTADAS POR EL ACCIDENTE DEL “PRESTIGE” EN GALICIA

María Esperanza GALLEGO RODRÍGUEZ\*, David HERNÁNDEZ MORENO\*, Luis Eusebio FIDALGO ÁLVAREZ\*\*, Lucas RIGUEIRO\*\*, Ana LÓPEZ BECEIRO\*\*, Francisco SOLER RODRÍGUEZ\* y Marcos PÉREZ LÓPEZ\*<sup>1</sup>

**SUMMARY.**—*Lead and cadmium levels in liver of seabirds affected by the “Prestige” accident in Galicia (NW Spain).*

**Aims:** Seabirds are important bioindicator species for contamination assessment in marine environments because they are situated as top consumers in marine foodchains. At the present work, two heavy metal (lead and cadmium) contents in liver of two different seabird species (shag and gannet) affected by the “Prestige” oil spill in November 2002 have been analyzed, by using collected animals which died along the Galician coast.

**Methods:** The results were compared to those obtained when analyzing other animals of the same species, which were from the same area but not affected by the oil spill, in order to determine whether the “Prestige” accident resulted in an increasing of the environmental levels of the considered metals.

**Results and Conclusions:** In general, levels of those two analyzed elements were low, in both analyzed species; representing comparable levels to those quantified for the same seabird species in other geographical areas, and did not exceed levels indicative of increased environmental exposure to such inorganic pollutants.

*Key words:* Seabird, cadmium, liver, metal, lead, Prestige.

**RESUMEN.**—*Niveles de plomo y cadmio en tejido hepático de aves marinas afectadas por el accidente del “Prestige” en Galicia.*

**Objetivos:** Las aves marinas son unas importantes bioindicadoras para la evaluación de la contaminación en los ecosistemas marinos pues se encuentran situadas en la cumbre de las cadenas alimentarias oceánicas. En el presente trabajo se han analizado las concentraciones de dos metales pesados tóxicos (plomo y cadmio) en hígado de dos especies de aves marinas (cormorán moñudo y alcatraz) afectadas por el vertido de crudo del “Prestige” en noviembre de 2002, empleando para ello animales que murieron a lo largo de la costa de Galicia.

**Métodos:** Los resultados se compararon con los obtenidos en otros lotes de estas mismas aves, procedentes de la misma zona pero no afectados por el vertido, para determinar si el accidente del “Prestige” supuso un incremento en los niveles ambientales de los contaminantes metálicos considerados.

**Resultados y Conclusiones:** Las concentraciones cuantificadas de los dos elementos fueron en general bajas para las dos especies de aves analizadas, tanto en los animales afectados por el vertido como

\* Unidad de Toxicología, Facultad de Veterinaria (UEX). Avda de la Universidad s/n, Cáceres, E-10071 España.

\*\* Hospital Clínico “Rof Codina”, Facultad de Veterinaria (USC). Estrada da Granxa s/n, Lugo, E-27003 España.

<sup>1</sup> Corresponding author: marcospl@unex.es

en los considerados como controles, y situándose en general en niveles comparables a los cuantificados en estas mismas especies marinas en otras zonas geográficas, no excediendo los niveles que pudieran indicar un incremento en la exposición medioambiental a estos contaminantes inorgánicos.

*Palabras clave:* Ave marina, cadmio, hígado, metal, plomo, Prestige.

## INTRODUCCIÓN

Los ecosistemas marinos reciben gran variedad de contaminantes generados por el ser humano, que pueden causar un grave deterioro en todos los ambientes afectados, independientemente de si estos agentes químicos han sido generados en zonas situadas en las proximidades, o proceden de lugares muy distantes al área afectada (Wang *et al.*, 2005). Dentro de los contaminantes que suponen una mayor amenaza para los medios marinos, los metales pesados poseen gran relevancia, debido a su enorme persistencia ambiental y a su tendencia a concentrarse activamente en los organismos acuáticos (Altindag y Yigit, 2005). Si bien algunos de estos elementos inorgánicos son esenciales para la vida y desarrollan funciones fisiológicas (es el caso del cobre, zinc o manganeso), otros no tienen ninguna función en el ser vivo, y son tóxicos incluso a bajas concentraciones (Repetto, 1995), provocando fácilmente efectos negativos en la reproducción y la supervivencia de la avifauna afectada (Hernández *et al.*, 1999), y más aún cuando las especies de avifauna marina se encuentran en posiciones ecológicas arriesgadas como consecuencia de los altos índices de contaminación ambiental que a veces se alcanzan en los ecosistemas marinos que habitan (Gochfeld, 1997).

En Ecotoxicología es fundamental el desarrollo de programas de biomonitorización del medio, pues esta metodología permite obtener información sobre las relaciones entre las condiciones ambientales y el mundo vivo, recogiendo información sobre este proceso a lo largo de la existencia de la biocenosis, y permitiendo hacer comparaciones entre distintos estados del ecosistema. Se podrá, en defi-

nitiva, evaluar posibles cambios futuros que puedan afectar o alterar al conjunto del medio ambiente (Moreno, 2003). Dichos programas de biomonitorización se basan en el empleo de bioindicadores, organismos que por sus especiales características ecológicas son capaces de acumular contaminantes traza a unos niveles tales que permiten su puesta en evidencia mucho antes que si dicha monitorización se realizara directamente sobre muestras abióticas, tales como suelos o aguas (Spahn y Sherry, 1999).

Centrados en la contaminación de los ecosistemas marinos, numerosos trabajos científicos muestran que las aves marinas son de enorme importancia en los estudios de biomonitorización ambiental, entre otras razones por su amplia distribución y por situarse en las cumbres de las cadenas tróficas marinas (Savinov *et al.*, 2003). De hecho, diversos trabajos han mostrado que a partir del estudio de los niveles de contaminantes ambientales en los tejidos aviares es posible evaluar el estado ecotoxicológico en que se encuentra el ecosistema marino considerado (Diamond y Devlin, 2003). Sin embargo, a pesar de su enorme utilidad ambiental, la obtención de muestras de aves marinas resulta a menudo complicada (muy especialmente en ciertas especies sometidas a una fuerte presión poblacional), pues los necesarios muestreos de especímenes podrían agravar la ya de por sí delicada situación poblacional en que se hallan (Burger y Gochfeld, 1997). Los interesantes trabajos que sobre esta temática ambiental ecotoxicológica puedan realizarse han de centrarse en el empleo de animales que o bien han sido recogidos muertos a lo largo de nuestras costas, o que ya no pueden ser recuperados para la vida libre (Malcom *et al.*, 2003). A partir de estos especímenes, en-

tre las distintas posibilidades analíticas de que se podría disponer, el análisis de los niveles hepáticos de metales pesados cobra enorme importancia, pues el hígado constituye uno de los tejidos donde los metales pesados tienden a localizarse en mayor concentración (Capó, 1998).

La acumulación de metales pesados por parte de las aves marinas ha sido un objeto de estudio creciente en los últimos tiempos, debido a la constatación de la elevación de los niveles de estos contaminantes ambientales (Kim *et al.*, 1998), como resultado de fenómenos de bioconcentración de estos xenobióticos en las cadenas ecológicas (Savinov *et al.*, 2003), así como a su relación con efectos directos dañinos sobre las poblaciones afectadas (Thompson *et al.*, 1992). Los metales se encuentran en todos los ecosistemas del Planeta, debidos a fuentes naturales, o como consecuencia de actividades antropogénicas (Fan, 1996), siempre considerando que las liberaciones ligadas a la actividad humana son en la actualidad mucho más relevantes que las fuentes naturales en los ciclos geoquímicos metálicos (ICES ACME Report, 2000).

En cuanto a la zona geográfica considerada en el presente estudio, conforma una realidad ecológica de primera magnitud: las costas gallegas poseen ecosistemas altamente productivos, de importancia capital para la reproducción, migración e invernada de más de 40 especies de avifauna marina (OSPAR Commission, 2000). En muchas ocasiones estas especies poseen en estas costas algunos de sus límites de distribución geográfica, lo que transforma a estas zonas en áreas de especial sensibilidad e importancia, como es recogido en multitud de estudios ambientales desarrollados en la Unión Europea (SEO/BirdLife, 2003). Sin embargo, esta zona geográfica está sometida con demasiada frecuencia a vertidos masivos e incontrolados de crudo (Oropesa *et al.*, 2007). En concreto, el vertido causado por el “Prestige” en noviembre de 2002 en Galicia produjo una contaminación extensa, afectando a más del 70% de las playas de esta zona,

formando una capa en la superficie del agua que llegó a los arenales y rocas de la costa, acelerándose el proceso por los movimientos mareales y las corrientes oceánicas (Pérez-Cadahía *et al.*, 2004). En la composición del vertido se encontraba una compleja mezcla de hidrocarburos saturados y aromáticos, resinas y asfaltenos, así como diversos elementos metálicos, tales como Ni, V, Cu y Zn (CSIC, 2003; Morales-Caselles *et al.*, 2006).

Con estas consideraciones, el objetivo que se ha planteado con el presente estudio ha sido determinar el contenido en dos metales pesados tóxicos, plomo y cadmio, en el tejido hepático de dos especies de aves presentes en las costas de Galicia. Los animales empleados habían fallecido como consecuencia del vertido del “Prestige”, pues de esta forma se pudo acceder a muestras que en condiciones normales, en las latitudes consideradas, son muy difíciles de obtener. Asimismo, se realizó esta misma determinación de elementos metálicos en ejemplares de esas dos especies pero que murieron con posterioridad al accidente anteriormente mencionado, en la misma zona geográfica, de tal forma que estos últimos podrían ser considerados como niveles “basales” de contaminación metálica en estos ejemplares, frente a los niveles cuantificados en los animales directamente expuestos al fuel. Por último, se ha evaluado el posible empleo de estas aves marinas en estudios de biomonitorización ambiental de los ecosistemas considerados.

## MATERIAL Y MÉTODOS

Las especies de aves estudiadas han sido cormorán moñudo, *Phalacrocorax aristotelis*, y alcatraz atlántico, *Morus bassanus*. La razón de su elección se debió a que, si bien las especies más afectadas por el vertido del “Prestige” fueron arao común (*Uria aalge*), frailecillo atlántico (*Fratercula arctica*) y alca común (*Alca torda*) (SEO/BirdLife, 2003), los ejemplares recogidos tanto de cormorán moñudo

como de alcatraz supusieron un importante porcentaje dentro del total, y además constituían especies en general muy poco estudiadas en el campo de la contaminación de los ecosistemas marinos. Los animales fueron encontrados muertos a lo largo de la costa considerada (provincias de Pontevedra y A Coruña), o bien murieron tras ser remitidos a los Centros de Recuperación de Fauna Salvaje respectivos, entre los meses de noviembre de 2002 y mayo de 2003 para el grupo de animales afectados por la marea negra, y con posterioridad a enero de 2005 para el grupo establecido como "limpio" (no expuesto al vertido de fuel, y por tanto no asociándose directamente su patología y muerte a una exposición a hidrocarburos). Todos los ejemplares fueron conservados a temperaturas de congelación (-20 °C) hasta su posterior análisis. Debido al estado de algunas muestras, no pudieron realizarse estudios de evaluación del sexo o la edad de los animales.

Las aves (en un número de 25 y 20 cormoranes moñudos y alcatraces, respectivamente, tanto en el grupo afectado por la marea como en el considerado como libre de exposición a hidrocarburos) fueron pesadas (g) y necropsiadas en el Hospital Clínico "Rof Codina", de la Facultad de Veterinaria de Lugo, para posteriormente ser remitida una alícuota de su hígado al Laboratorio de Toxicología de la Facultad de Veterinaria de Cáceres, conservándose las muestras perfectamente identificadas y aisladas hasta su posterior procesado. Posteriormente la alícuota se secó a 105 °C durante 6 horas, y tras su pesada se sometió a una homogeneización, para a continuación proceder a su mineralización por medio de 2 ml de una mezcla ácida (ácidos perclórico, nítrico y sulfúrico, 8:8:1) en tubos de cuarzo, empleando para ello un digestor automatizado, con un programa de temperaturas situado entre 23 y 370 °C durante 5,5 horas. A las muestras digeridas se les añadieron posteriormente 200 µl de HCl suprapur, enrasando con agua desionizada, hasta un volumen final de 20 ml. Las concentraciones de Pb y Cd se determinaron por medio

de Voltamperometría de Redisolución Anódica. Los límites instrumentales de detección fueron de 0,200 mg / kg (Pb) y 0,010 mg / kg (Cd). Las concentraciones hepáticas se expresaron referidas tanto a peso seco como húmedo.

El análisis estadístico de los resultados obtenidos se realizó por medio del programa SPSS 12.0. Se comprobó si los datos presentaban una distribución normal (prueba de Kolmogorov-Smirnov), verificándose la homogeneidad de la varianza (prueba de Levene; Zar, 1996). Se llevó a cabo un análisis de regresión lineal para determinar la correlación entre las concentraciones de los dos metales en función de la especie animal y del grupo considerado: afectado por la marea negra (2002-03) y "limpio" (2005). Se realizó también un análisis de la varianza (ANOVA), testando las diferencias en las medias inter e intraespecíficas entre los grupos. Como datos de trabajo se emplearon las concentraciones de cada uno de los elementos inorgánicos analizados, y como factor se emplearon las especies. Para establecer qué grupos (especie de ave) de los establecidos era significativamente distinto al otro, se aplicó una comparación post-hoc con la prueba de Scheffé's. Para todos los estudios, los valores de significación se consideraron de  $P < 0,001$ ,  $P < 0,01$  y  $P < 0,05$ . A cada muestra situada por debajo del límite de detección del equipo instrumental se le asignó un valor correspondiente a la mitad de ese límite de detección, para el tratamiento estadístico de los valores, para de esta forma minimizar el error nominal de tipo I (Clarke, 1998).

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En la Tabla 1 es posible observar los resultados obtenidos, expresados en peso seco, para las dos especies de aves analizadas, indicando los principales estadísticos descriptivos. De manera similar, en las Figuras 1 y 2 se muestran estos mismos resultados, pero referidos a peso fresco. Si bien es difícil la adecuada com-

TABLA 1

Estadísticos descriptivos de las concentraciones de Pb y Cd en muestras de alcatraces y cormoranes moñudos. Los resultados están expresados referidos a peso seco.

[*Descriptive statistics concerning Pb and Cd concentrations in gannet and shag. Obtained results are expressed in terms of dry weight.*]

<sup>a</sup>: número de muestras por debajo del límite de detección. ND: no detectable

	Alcatraz		Cormorán moñudo	
	Afectado (2002-03)	Limpio (2005)	Afectado (2002-03)	Limpio (2005)
<b>Cd (ppm)</b>				
Media	2,318	2,100	0,255	0,114
DT	0,8541	0,1762	0,2441	0,0693
Mínimo	ND	0,116	0,031	0,033
Máximo	14,78	5,541	0,857	0,279
< Id <sup>a</sup>	2	0	0	0
<b>Pb (ppm)</b>				
Media	0,036	0,033	0,012	0,016
DT	0,0125	0,0103	0,0075	0,0084
Mínimo	0,009	0,008	ND	ND
Máximo	0,087	0,110	0,031	0,032
< Id <sup>a</sup>	0	0	1	2

paración de los resultados con lo realizado por otros autores, debido a la variedad de métodos analíticos y de forma de presentación de los resultados (González-Solís *et al.*, 2002), cuando ha sido necesario llevar a cabo estudios comparativos, tanto para el cadmio como para el plomo, se ha realizado una transformación entre peso seco y peso húmedo, asumiendo la presencia de un 70 % de humedad en hígado (Hui, 1998), tal como otros autores han indicado previamente (Hernández *et al.*, 1999).

Analizando los resultados de cada metal por separado en una misma especie, para el cadmio se observaron unos valores ligeramente superiores en los alcatraces afectados por el vertido que en los "limpios", con un máximo correspondiendo a un alcatraz expuesto, situándose por encima de 14 ppm (peso seco). Esta misma relación también se observó en las muestras de cormorán moñudo, presentándose

se el valor más elevado en un animal expuesto, con una concentración superior a 0,8 ppm. El cadmio es un metal altamente tóxico, causante de una gran variedad de efectos negativos en las aves, llegando a comprometer seriamente la supervivencia de numerosas especies (Scheuhammer, 1987). Los valores cuantificados fueron en el caso de las muestras de alcatraz ligeramente superiores a los observados en otras especies marinas de la misma zona, en estudios similares desarrollados recientemente (Pérez-López *et al.*, 2006), siendo superados tan sólo por los valores que se han cuantificado en frailecillo, en donde se han observado hasta 5 ppm de cadmio en tejido hepático de esta especie procedente del litoral gallego.

En el trabajo dirigido por Nam y colaboradores (2005) en las costas japonesas y en el que estudiaron los niveles de cadmio en hígado de

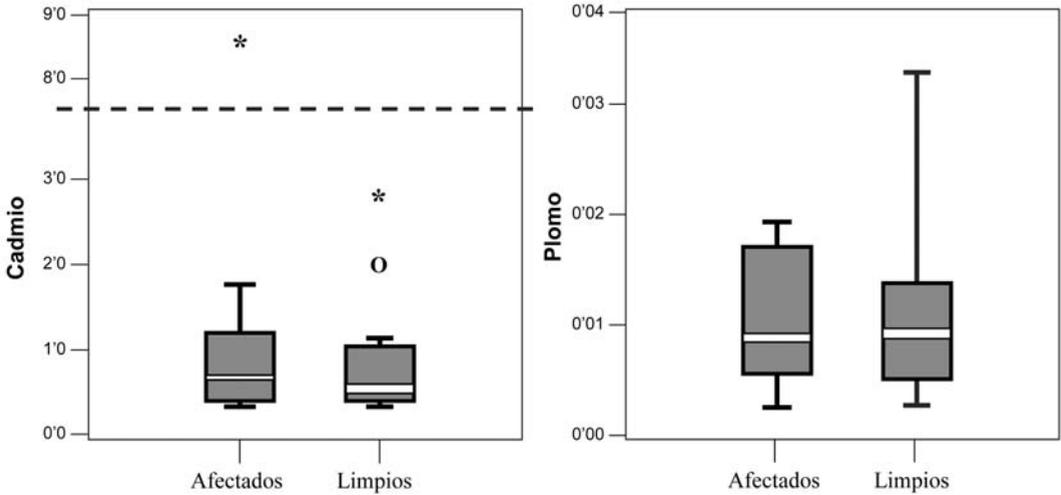


FIG. 1.—Concentraciones (ppm) de Cd y Pb en hígado de alcatraz. Los valores están expresados en peso fresco. Las cajas indican los percentiles al 10, 25, 50 (mediana), 75 y 90%, valores extremos (\*) y atípicos (O).

[Concentrations (ppm) of Cd and Pb in gannet livers. Values are expressed in terms of dry weight. Box-plots illustrate the 10, 25, 50 (median), 75 and 90% percentiles, the outliers (\*) and atypical values (O).]

cormoranes, se obtuvieron unas concentraciones de este metal en las aves (0,905 ppm) superiores a las observadas en el presente trabajo para esta misma especie. De manera similar, en un estudio desarrollado en Canadá (Gull Island) en diversas aves marinas (entre ellas, cormorán de doble cresta, *Phalacrocorax auritus*), se cuantificaron valores máximos de 8,90 ppm de cadmio en peso seco (Elliot *et al.*, 1992), muy por encima de lo obtenido en este estudio.

Conviene señalar que dada la especial toxicocinética de los elementos inorgánicos, la elección del tejido sobre el que se va a realizar la determinación analítica posee una enorme importancia, puesto que los metales tienden a acumularse con mayor selectividad en unos órganos que en otros (Arcos *et al.*, 2002), y en el caso concreto del cadmio, a fin de disponer de un buen indicador de la exposición total, la concentración hepática parece ser, junto con la renal, la medida más adecuada (Scheuhammer, 1987), pues este órgano puede llegar a acumular hasta la mitad del Cd existente en el orga-

nismo del animal (Savinov *et al.*, 2003).

Si bien se han detectado niveles de Cd ligeramente más elevados en las aves afectadas por el vertido que en las muestreadas con posterioridad, no debería asociarse directamente al efecto del vertido, pues los análisis realizados a la columna de agua durante el accidente mostraron que las concentraciones de este metal pesado tóxico se localizaban dentro del rango de concentración propio de esa zona geográfica (< 200 pM; CSIC, 2003). Por ello podría establecerse que la elevación corporal de este contenido metálico podría asociarse más al efecto general sobre el estado de salud del animal, con una pérdida global de condición corporal, más que a un incremento sustancial en la exposición ambiental.

Atendiendo a los resultados correspondientes al plomo, los valores en los dos grupos establecidos de alcatrazes fueron muy similares, no existiendo una diferencia muy manifiesta en ninguno de los parámetros estadísticos considerados. De igual manera, los valores de plo-

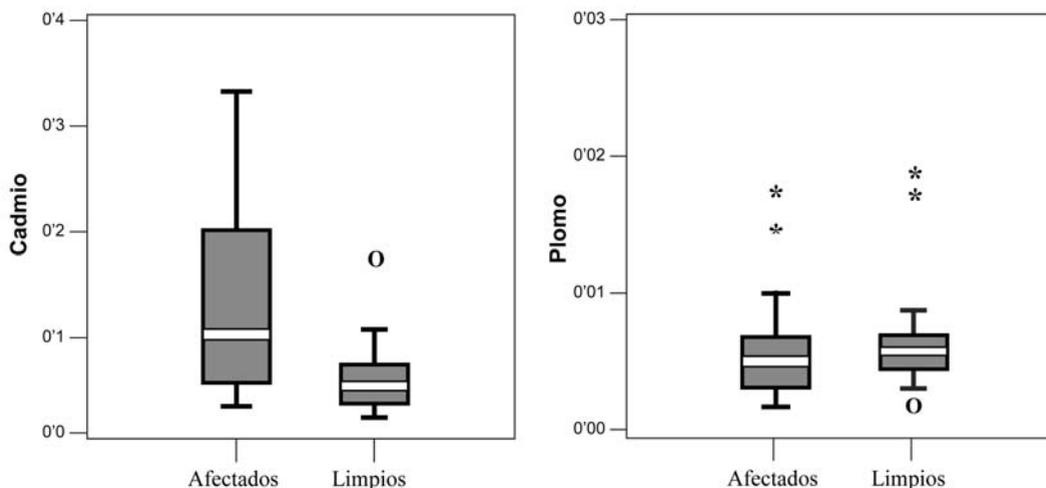


Fig. 2.—Concentraciones (ppm) de Cd y Pb en hígado de cormorán moñudo. Los valores están expresados en peso fresco. Las cajas indican los percentiles al 10, 25, 50 (mediana), 75 y 90%, valores extremos (\*) y atípicos (O).

[Concentrations (ppm) of Cd and Pb in shag livers. Values are expressed in terms of dry weight. Box-plots illustrate the 10, 25, 50 (median), 75 and 90% percentiles, the outliers (\*) and atypical values (O).]

mo en las muestras hepáticas de cormorán fueron bastante similares, si bien ligeramente superiores en los animales “limpios” frente a los afectados por el vertido en la costa de Galicia. Con respecto a este metal conviene indicar que las concentraciones fueron marcadamente superiores a las cuantificadas en otras aves marinas afectadas por el vertido del “Prestige” en las costas gallegas, como por ejemplo araos, alcas y frailecillo, en los cuales los valores hepáticos se situaron en torno a 0,001 ppm (Pérez-López *et al.*, 2006). En este punto debe señalarse que ecotoxicológicamente se considera que tan sólo una pequeña proporción del plomo generado por el ser humano se deposita en los océanos (Pérez-López *et al.*, 2003), con lo cual las altas concentraciones relativas cuantificadas en alcatraces y cormoranes podrían indicar su idoneidad en futuros estudios de biomonitorización del medio. Conviene señalar, así mismo, que a partir de los informes técnicos pertinentes se pudo constatar que los niveles de Pb en superficie tras el ac-

cidente experimentaron un incremento de su concentración de hasta un orden de magnitud respecto a los valores normales oceánicos (<200 pM; CSIC, 2003). El no reflejarse este hecho en los animales muestreados tras el accidente podría asociarse a la presencia simultánea de nitrógeno y azufre en algunas moléculas orgánicas de la mezcla de fuel (por ejemplo los dibenzotiofenos), adecuadas como complejantes de metales pesados (CSIC, 2003).

Si bien no es frecuente observar publicaciones científicas centradas en las especies aquí tratadas, debemos reseñar nuevamente el trabajo desarrollado por Nam y colaboradores (2005) en las costas japonesas. Trabajando con cormoranes, cuantificaron niveles hepáticos de plomo superiores a los obtenidos en el presente estudio, llegando a obtener una media superior a 0,06 ppm, lo que supone un incremento de 5 veces con respecto a las obtenidas en nuestro trabajo. También los niveles de Pb en el hígado de aves marinas obtenidos en otros estudios han superado los valores

TABLA 2

Correlaciones estadísticas (A) y análisis de varianza (B) del contenido en metales pesados (referido a peso seco) en el hígado de las dos especies de aves marinas consideradas en el presente estudio.

[Statistical correlations (A) and analysis of variance (B) of heavy metal content (referred to dry weight) in liver of both seabird species considered at the present study.]

<b>(A)</b>		<b>Afectado "Prestige"</b>	<b>Limpio</b>	
<b>Alcatraz</b>		<b>Pb</b>	<b>Pb</b>	
Cd		<i>r</i>	<i>P</i>	
		0,332	0,146	
		0,349	0,686	
<b>Cormorán moñudo</b>				
Cd		-0,076	0,166	
		0,815	0,344	
<b>(B)</b>				
<b>Alcatraz</b>		<b>Suma de cuadrados</b>	<b>Media cuadrada</b>	<b>P</b>
Pb	Inter-grupo	0,002	0,001	0,294
	Intra-grupo	0,015	0,000	
	Total	0,001		
Cd	Inter-grupo	0,114	0,114	0,080
	Intra-grupo	0,710	0,034	
	Total	0,820		
<b>Cormorán moñudo</b>				
Pb	Inter-grupo	0,003	0,002	0,836
	Intra-grupo	0,021	0,001	
	Total	0,012		
Cd	Inter-grupo	1,285	1,285	0,048
	Intra-grupo	69,45	3,858	
	Total	70,73		

obtenidos en el presente trabajo, como es el caso del trabajo de Kim y colaboradores (1998), con concentraciones hepáticas medias de 0,5 ppm en peso seco, e incluso en un estudio centrado en aves pelágicas se han constatado concentraciones de Pb más elevadas, superiores a 19 ppm (Burger y Gochfeld, 1997).

Debe referirse que, como ya han indicado numerosos autores con anterioridad (Wenzel y Ade-lung, 1996), las aves petroleadas tienen alterado

su estado nutricional, lo que indirectamente afecta al contenido metálico de sus tejidos, pues éste no sólo depende de los niveles ambientales, sino también de otros factores biológicos. Este hecho está demostrado porque la respuesta metabólica a agentes estresantes es generalmente más eficiente en aquellas aves que se encuentran en un correcto estado de salud por contraposición a las que están en condiciones físicas desfavorables (Debacker *et al.*, 2000).

Con respecto al estudio estadístico de los resultados, en la Tabla 2 se muestran los resultados obtenidos tras la realización de un estudio de correlaciones. Es de destacar la total ausencia de correlaciones estadísticas entre los pares de elementos (plomo y cadmio) analizados tanto en alcatraces como en cormoranes, controles o afectados.

Con respecto al estudio de la varianza (ANOVA) efectuado, y presentado también en la Tabla 2, resalta tan sólo la moderada significación estadística observada para las concentraciones de cadmio en las muestras de cormorán moñudo. Esta ligera significación confirma lo observado a la vista de los resultados previos, mostrando por tanto una diferencia entre la concentración de este metal en ambos grupos considerados, e indicando una discreta elevación de los niveles de este metal tóxico en los animales afectados por el vertido del “Prestige” con respecto a los considerados como limpios, si bien la significación es escasa.

En conclusión, conviene señalar que las aves oceánicas pueden verse expuestas a los contaminantes metálicos en cualquier momento de su ciclo biológico. Considerando los resultados obtenidos en el presente estudio, se puede establecer que los niveles de contaminación por plomo y cadmio en las aves consideradas no variaron significativamente de los datos obtenidos en otras localizaciones geográficas ni en otras aves marinas, no superando los niveles que pudieran indicar un incremento en la exposición ambiental a estos xenobióticos (Scheuhammer, 1987). Este hecho es patente además al comparar los niveles encontrados en las aves afectadas por el vertido del “Prestige” y las consideradas como controles, indicando que el vertido de crudo no afectó a los niveles de contaminantes metálicos en los tejidos de estos animales salvo ligeramente a los niveles de cadmio en el hígado de cormorán moñudo. En general, las concentraciones metálicas cuantificadas estaría asociadas más a procesos naturales (fenómenos de acumulación y almacenado directamente en las aves a

partir de la contaminación ambiental circundante), más que a fuentes puntuales o globales de contaminación ambiental.

#### BIBLIOGRAFÍA

- ALTINDAG, A. y YIGIT, S. 2005. Assessment of heavy metal concentrations in the food web of lake Beyşehir, Turkey. *Chemosphere*, 60: 552-556.
- ARCOS, J. M., RUIZ, X., BEARHOP, S. y FURNESS, R. W. 2002. Mercury levels in seabirds and their fish prey at the Ebro Delta: the role of trawler discards as a source of contamination. *Marine Ecology Progress Series*, 232: 281-290.
- BURGER, J. y GOCHFELD, M. 1997. Heavy metal and selenium concentrations in feathers of egrets from Bali and Sulawesi, Indonesia. *Archives of Environmental Contamination and Toxicology*, 32: 217-221.
- CAPÓ, M. A. 1998. *Incidencia ecotoxicológica de los metales pesados en poblaciones humanas*. Ed. Publex Estudio S.L. Madrid.
- CLARKE, J. U. 1998. Evaluation of censored data methods to allow statistical comparisons among very small samples with below detection limits observations. *Environmental Science and Technology*, 32: 177-183.
- CSIC (CONSEJO SUPERIOR DE INVESTIGACIONES CIENTÍFICAS). 2003. Informes técnicos CSIC-Prestige. Ministerio de Ciencia y Tecnología: 01. Caracterización del vertido y evolución preliminar en el medio, <http://csicprestige.iim.csic.es/Informes.htm>.
- DEBACKER, V., JAUNIAUX, T., COIGNOUL, F. y BOUQUEGNEAU, J. M. 2000. Heavy metals contamination and body condition of wintering guillemots (*Uria aalge*) at the Belgian coast from 1993 to 1998. *Environmental Research Section A*, 84: 310-317.
- DIAMOND, A. W. y DEVLIN, C. M. 2003. Seabirds as indicators of changes in marine ecosystems: ecological monitoring on Machias Seal Island. *Environmental Monitoring Assessment*, 88: 153-175.
- ELLIOT, J. E., SCHEUHAMMER, A. M., LEIGHTON, F. A. y PEARCE, P. A. 1992. Heavy metal and metallothionein concentrations in Atlantic Canadian seabirds. *Archives of Environmental Contamination and Toxicology*, 22: 63-73.

- FAN, A. M. 1996. An introduction to monitoring and environmental and risk assessment of metals. En: L. Magos y T. Suzuki (Eds.): *Toxicology of Metals*, pp. 5-9. CRC Lewis Publishers. Boca Raton.
- GOCHFELD, M. 1997. Spatial patterns in a bioindicator: heavy metal and selenium concentration in eggs of Herring gulls (*Larus argentatus*) in the New York Bight. *Archives of Environmental Contamination and Toxicology*, 33: 63-70.
- GONZÁLEZ-SOLÍS, J. M., SANTERA, C. y RUIZ, X. 2002. Metals and selenium as bioindicators of geographic and trophic segregation in giant petrels *Macronectes* spp. *Marine Ecology Progress Series*, 244: 257-264.
- HERNÁNDEZ, L. M., GÓMARA, B., FERNÁNDEZ, M., JIMÉNEZ, B., GONZÁLEZ, M. J., BAOS, R., HIRALDO, F., FERRER, M., BENITO, V., SUÑER, M. A., DEVESA, V., MUÑOZ, O. y MONTORO, R. 1999. Accumulation of heavy metals and As in wetlands birds in the area around Doñana National Park affected by the Aznalcollar toxic spill. *The Science of the Total Environment*, 242: 293-308.
- HUI, C. A. 1998. Elemental contaminants in the livers and ingesta of four subpopulations of the American coot (*Fulica americana*): an herbivorous winter migrant in San Francisco Bay. *Environmental Pollution*, 101: 321-329.
- ICES ACME Report. 2001. *Nature Conservation and Biodiversity: chapter 12. Seabird issues*. Sigulda. Letonia.
- KIM, E. Y., GOTO, R., TANABE, S., TANAKA, H. y TATSUKAWA, R. 1998. Distribution of 14 elements in tissues and organs of oceanic seabirds. *Archives of Environmental Contamination and Toxicology*, 35: 638-345.
- MALCOLM, H. M., OSBORN, D., WRIGHT, J., WIENBURG, C. L. y SPARKS, T.H. 2003. Polychlorinated biphenyl (PCB) congener concentrations in seabirds found dead in mortality incidents around the British coast. *Archives of Environmental Contamination and Toxicology*, 45: 136-147.
- MORALES-CASELLES, C., JIMÉNEZ-TENORIO, N., GONZÁLEZ DE CANALES, M. L., SARASQUETE, C. y DELVALLS, T. A. 2006. Ecotoxicity of sediments contaminated by the oil spill associated with the tanker "Prestige" using juveniles of the fish *Sparus aurata*. *Archives of Environmental Contamination and Toxicology* 51: 652-660.
- MORENO, M. D. 2003. *Toxicología Ambiental. Evaluación de riesgo para la salud humana*. Ed. McGraw-Hill. Madrid.
- NAM, D. H., ANAN, Y., IKEMOTO, T. y TANABE, S. 2005. Multielemental accumulation and its intracellular distribution in tissues of some aquatic birds. *Marine Pollution Bulletin*, 50: 1347-1362.
- OROPESA, A. L., PÉREZ-LÓPEZ, M., HERNÁNDEZ, D., GARCÍA, J. P., FIDALGO, L. E., LÓPEZ-BECEIRO, A. y SOLER, F. 2007. Acetylcholinesterase activity in seabirds affected by the Prestige oil spill on the Galician coast (NW Spain). *The Science of the Total Environment*, 372: 532-538.
- OSPAR COMMISSION. (2000). *Quality Status Report 2000. Region IV – Bay of Biscay and Iberian coast*. Ed. OSPAR. Londres.
- PÉREZ-CADAHÍA, B., LAFFON, B., PÁSARO, E. y MÉNDEZ, J. 2004. Evaluation of PAH bioaccumulation and DNA damage in mussels (*Mytilus galloprovincialis*) exposed to spilled Prestige crude oil. *Comparative Biochemistry and Physiology Part C*, 138: 453-460.
- PÉREZ-LÓPEZ, M., ALONSO, J., NÓVOA-VALIÑAS, M. C. y MELGAR RIOL, M. J. 2003. Assessment of heavy metal contamination of seawater and marine Limpet, *Patella vulgata* L., from Northwest Spain. *Journal of Environmental Science and Health part A*, 38: 2845-2856.
- PÉREZ-LÓPEZ, M., CID, F., OROPESA A. L., HIDALGO, L. E., BECEIRO, A. L. y SOLER RODRÍGUEZ, F. 2006. Heavy metal and arsenic content in seabirds affected by the Prestige oil spill on the Galician coast (NW Spain). *The Science of the Total Environment*, 359: 209-220.
- REPETTO, M. 1995. *Toxicología avanzada*. Ed. Díaz de Santos. Madrid.
- SAVINOV, V. M., GABRIELSEN, G. W. y SAVINOVA, T. N. 2003. Cadmium, zinc, copper, arsenic, selenium and mercury in seabirds from the Barents Sea: levels, inter-specific and geographical differences. *The Science of the Total Environment*, 306: 133-158.
- SCHEUHAMMER, A. M. 1987. The chronic toxicity of aluminium, cadmium, mercury and lead in birds: a review. *Environmental Pollution*, 46: 263-295.
- SEO/BIRDLIFE. 2003. *The disaster of "Prestige" oil tanker and its impact on seabirds*. Third report January-February.

- SPAHN, S. A. y SHERRY, T. W. 1999. Cadmium and lead exposure associated with reduced growth rates, poorer fledging success of little blue heron chicks (*Egretta caerulea*) in south Louisiana Wetlands. *Archives of Environmental Contamination and Toxicology*, 37: 377-384.
- THOMPSON, D. R. 1990. Metal levels in marine vertebrates. En, R. W. Furness y P.S. Rainbow (Eds.): *Heavy Metals in Marine Environment*, pp. 143-182. CRC Press. Boca Raton. Florida.
- WANG, Y., LIANG, L., SHI, J. y JIANG, G. 2005. Study on the contamination of heavy metals and their correlations in molluscs collected from coastal sites along the Chinese Bohai Sea. *Environmental International*, 31(8): 1103-1113.
- WENZEL, C. y ADELUNG, D. 1996. The suitability of oiled guillemots (*Uria aalge*) as monitoring organisms for geographical comparisons of trace element contaminants. *Archives of Environmental Contamination and Toxicology*, 31: 368-77.
- ZAR, J. H. 1996. *Biostatistical analysis*. Prentice Hall International Editions. New Jersey. USA.

El grupo de trabajo de Toxicología de la Facultad de Veterinaria de Cáceres (Universidad de Extremadura) centra sus esfuerzos en la identificación de diversos contaminantes ambientales que afectan a la fauna salvaje, tales como metales pesados y plaguicidas. Por otra parte, también desarrollan una intensa actividad investigadora en la identificación y validación de una amplia batería de biomarcadores que puedan ser empleados en futuros estudios ecotoxicológicos, de cara a evaluar el efecto de los agentes químicos sobre los seres vivos y los ecosistemas en que se localizan. En este campo cuentan con la colaboración estrecha de personal del Hospital Clínico Veterinario "Rof Codina", de la Facultad de Veterinaria de Lugo, lo que les permite en conjunto realizar investigaciones medioambientales sobre, por ejemplo, aves marinas y aves rapaces procedentes de los más variados puntos de la Península Ibérica.

[Recibido: 12-07-06]

[Aceptado: 30-05-07]