

EVALUACIÓN DEL IMPACTO AMBIENTAL PROVOCADO POR LAS PINTURAS ANTIINCRUSTANTES UTILIZADAS EN LAS EMBARCACIONES DE RECREO EN LOS PUERTOS DEPORTIVOS DE GALICIA (ESPAÑA).

M. J. Rodríguez Guerreiro¹ Licenciada en Ciencias Biológicas, **J.A. Fraguela**¹ Doctor Ingeniero Naval, **G. González**¹ Doctor en Informática, **E. Muñoz**¹, Catedrático Ingeniería Industrial y **L. Carral**¹ Doctor Ingeniero Naval.

¹Universidad de A Coruña, España

E-15403. C/Mendizábal. Ferrol (A Coruña). España.

e-mail: chus@udc.es, jafraguela@udc.es,
gerardog@udc.es, emucam@cdf.udc.es, lcarral@cdf.udc.es,

RESUMEN

Desde hace 30 años existe una gran preocupación con respecto al efecto que sobre el medio ambiente ejercen determinados ingredientes activos de pinturas antifouling/antiincrustantes aplicadas a los barcos. En los años sesenta la industria química ha creado, entre otros, el compuesto organoestánnico, tributilo de estaño (TBT), el biocida y agente antiincrustante más eficaz jamás conocido, cuya misión es impedir el desarrollo de algas, moluscos y otros organismos que ralentizan el avance de las embarcaciones. A pesar de que su efecto tóxico es demoledor sobre la flora y fauna marina (R. Barreiro *et al.*, 2004) es utilizada por el 70-80% de la flota mercante mundial, debido al ahorro económico que genera en el consumo de fuel y en el menor mantenimiento en la operaciones de repintado (Champ, 2000). Pero la mayor concentración de TBT aparecía en zonas de importante actividad náutica: puertos deportivos, puertos comerciales y canales de navegación, pudiendo llegar a concentraciones de 50-200 ng/L (ppt) (Batley, 1996; Waite *et al.*, 1996). La costa gallega cuenta con 30 puertos deportivos y un total de 9000 plazas de amarre lo que suponía una amplia franja litoral expuesta a la acción del biocida TBT.

El convenio AFS adoptado por la OMI en Octubre de 2001 establece la obligación de eliminar los revestimientos con TBT activo en los barcos a partir del 1 de Enero de 2008. Dicho Convenio ha entrado en vigor el 17 de septiembre de 2008.

Actualmente las pinturas antiincrustantes contienen otros agentes activos teóricamente menos dañinos con el medio como por ejemplo el óxido cuproso. Teniendo en cuenta que la mayoría de las rías de Galicia han sufrido en los últimos años contaminación por cobre, el objetivo de este trabajo ha sido realizar una evaluación del impacto ambiental provocado por la contaminación de óxido cuproso contenido en las pinturas antiincrustantes, en el litoral gallego, en zonas de bajo intercambio de agua, como los puertos deportivos. Dicho estudio pretende ser extrapolable a cualquier zona del mundo afectada, dado que puede tratarse de una problemática global.

INTRODUCCIÓN

El *biofouling* puede definirse como “El fenómeno indeseable de adherencia y acumulación de depósitos bióticos, sobre una superficie artificial sumergida o en contacto con el agua del mar. Esta acumulación o incrustación consiste en una película orgánica compuesta por microorganismos empotrados en una matriz polimérica creada por ellos mismos (biopelícula), a donde pueden llegar y quedar retenidas partículas inorgánicas (sales y/o productos de corrosión) consecuencia de otros tipos de *fouling* desarrollados en el proceso. Esta biopelícula compuesta por microorganismos, *biofouling* microbiano o *microfouling*, puede dar lugar a la acumulación de macroorganismos, *biofouling* macrobiano o *macrofouling*” (Eguía, E., 2000).

Las pinturas *antifouling* se aplican sobre la superficie de obra viva de la embarcación para impedir la fijación de los organismos marinos. Su forma de actuar consiste en la liberación de sustancias bioactivas que envuelven la superficie tratada en un manto biocida que impide la fijación de los organismos, por lo que la concentración de toxinas en la capa de agua es la que determina el poder *antifouling* de la pintura.

Las investigaciones sobre nuevas formulaciones de pinturas antiincrustantes o *antifouling* que junto con los recubrimientos anticorrosivos y la protección catódica, constituyen un sistema de aplicación para la protección de los cascos de las embarcaciones, no cesa de avanzar, debido a la problemática medioambiental que generan los principios activos de las patentes utilizadas para tal fin (Arias E. *et al.* 1992, Eguía, E. 1996 y Van Rompay B. *et al.* 2009).

Según los datos recogidos por el Organismo Autónomo, “Augas de Galicia” perteneciente a la Consellería de Medio Ambiente de la Xunta de Galicia, el cobre forma parte del listado de contaminantes significativos vertidos sobre aguas superficiales, entendiéndose éstas como: ríos, lagos, aguas de transición y aguas costeras de la demarcación Galicia Costa.

En un estudio realizado por la Universidad de Santiago de Compostela para la determinación de la concentración de cobre, entre otros metales, en sedimentos intermareales de las principales rías de Galicia, se observa que en la rías de: Vigo, Pontevedra, Cambados, Poblado Caramiñal, Noia, O Burgo y Ferrol cuentan con una contaminación muy elevada por cobre. El resto del litoral gallego presenta un enriquecimiento moderado para este elemento (Carral, E. *et al.* 1992 y Rubio, B. 2000).

A pesar de que la mayoría del cobre contaminante procede de vertidos industriales, este estudio pretende estimar la concentración de cobre que es utilizada en las pinturas antiincrustantes o *antifouling* de las embarcaciones de recreo ubicadas en los amarres de los puertos deportivos de Galicia, para valorar la importancia del cobre de dichas pinturas desde el punto de vista medioambiental.

MATERIAL Y MÉTODOS

Se procede al estudio de los puertos deportivos de Galicia en cuanto al nº de amarres totales clasificados según los metros de eslora, nº de plazas de tránsito, tipo de embarcaciones según sean a motor y/o veleros y el tanto % de ocupación en las distintas épocas del año. En la *Tabla 1* se recogen los datos.

Teniendo en cuenta todos los tipos de barcos que pueden permanecer en los amarres gallegos se calcula la superficie en m² de obra viva mediante la fórmula:

Eslora x (Calado + manga) x 0,5: para embarcaciones a vela

Eslora x (Calado + manga): para embarcaciones a motor

Los datos sobre las medidas de las embarcaciones se han tomado de la media aritmética de las 10 embarcaciones más representativas de cada tipo de las que se presentan en los amarres

gallegos. De las embarcaciones a vela se han elegido las de vela monocasco y de las embarcaciones a motor, las de motor lancha y motor cabinada.

Teniendo en cuenta los manuales náuticos más utilizados en Galicia se calculan los litros de patente: 10 m² de obra viva/ l de patente con un espesor de 125 μ. Los datos se representan en la *Tabla 2*.

Metros de eslora	m ² de obra viva en embarcaciones		Litros de patente 10 m ² de obra viva/ l de patente	
	Vela	Motor	Vela	Motor
< 6	--	10	--	2
6	11	17	2,2	3,4
8	14	27	2,8	5,4
10	24	42	4,8	8,4
12	32	55	6,4	11
14	45	74	9	14,8
16	55	86	11	17,2
18	70	105	14	21
>20	102	105	20,4	21

TABLA 2. m² de obra viva en embarcaciones y litros de patente utilizada con dos capas de pintura.

En la *Tabla 3* se realiza la estimación del consumo total de litros de patente al año en los amarres gallegos desglosado en los diferentes puertos.

PUERTO	Nº Amarres totales	Nº plazas de Tránsito	Nº amarres según los metros de eslora									Embarcaciones		Ocupación	
			<6	6	8	10	12	14	16	18	>20	Motor	velero	Invierno	verano
Ribadeo	564	20	44	316	124	47	12	13	5	3	--	85%	15%	100%	100%
Viveiro-Celeiro	207	20	--	38	81	73	5	10	--	--	--	85%	15%	50%	50%
A Pobra Do Caramiñal	281	28		30	95	81	52	19	3	--	1	60%	40%	82%	100%
Ares	341	26	--	124	108	63	40	--	6	--	--	60%	40%	100%	100%
A Coruña	353	10	--	--	106	107	29	34	--	12	8	30%	70%	60%	60%
Nautico San Antón Coruña	91	0	--	--	91	--	--	--	--	--	--	54%	46%	100%	100%
Nautacoruña	132	10	--	80	52	--	--	--	--	--	--	70%	30%	90%	100%
Marinaseca A Coruña	80	16	--	20	20	20	20	--	--	--	--	60%	40%	1%	80%
Marina de Oza A Coruña	700	70	66	250	30	181	88	42	31	10	2	60%	40%	90%	100%
Camarinañas	83	63	4	8	8	40	23	--	--	--	--	20%	80%	24%	100%
Ortigueira	88	9+43	42	24			13		9			100%	--	100%	100%
Portosín	209	25	--	20	40	38	72	24	11	1	3	80%	20%	86%	100%
Ribeira	240	24	--	74	101	36	29	--	--	--	--	75%	25%	70%	100%
Sada	700	44	66	250	30	181	88	42	31	10	2	70%	30%	90%	100%
Beluso	62	0	--	37	15	5	5	--	--	--	--	80%	20%	100%	100%
Cangas Do Morrazo	279	28	--	119	104	19	23	3	--	--	1	60%	40%	80%	80%
Moaña	347	+17	--	73	161	80	25	--	8	--	--	40%	60%	90%	90%
Pedras Negras	134	13	10	54	54	4	4	4	2	2	--	40%	60%	90%	90%
Pontevedra	130	15	10	50	54	4	4	4	2	2	--	90%	10%	100%	100%
Portonovo	203	22	--	51	73	42	29	5	3	--	--	50%	50%	60%	100%
Montereal Baiona	232	232	--	70	100	36	20	--	3	--	3	20%	80%	55%	100%
Puerto Deportivo de Baiona	337	30	--	--	64	84	116	19	36	18	--	30%	70%	57%	71%
Sanxenxo	377	37	--	--	155	54	27	12	53	38	38	4%	96%	90%	100%
Tui	97	1	39		60							95%	5%	100%	100%
Punta Lagoa Vigo	333	5	--	39	32	5	93	75	--	19	2	60%	40%	40%	60%
Davila Sport Vigo	184	18	---	40		63		36			45	60%	40%	40%	60%
Liceo Marítimo Bouzas Vigo	395	40	--	26	166	64	41			95		50%	50%	80%	100%
Vigo	447	15		84	143	109	92	13		5	1	40%	60%	85%	100%
Vilanova de Arousa	232	46		80	76	60	10	6				60%	40%	70%	70%

Ferrol	428	5	--	338	90	--	--	--	--	--	99%	1%	99,9%	99,9%
--------	-----	---	----	-----	----	----	----	----	----	----	-----	----	-------	-------

TABLA I. Datos sobre los amarres y embarcaciones de los Puertos Deportivos de Galicia

PUERTOS (metros de eslora)	L patente/ embarcación a vela del puerto	L patente/ embarcación a vela del puerto según % Embarcaciones de vela	L patente/ embarcaciones de motor del puerto	L patente/ embarcación a motor del puerto según % Embarcaciones a motor	TOTAL CONSUMO DE LITROS DE PATENTE/ AÑO
Ribadeo		15%		85%	
TOTAL	1508,8	226,32	2700,2	2295,17	2521,49
Viveiro-celeiro		15%		85%	
TOTAL	782,8	117,42	897,6	762,96	880,38
AP.do Caramiñal.		40%		60%	
TOTAL	1278	511,2	2221,2	1332,72	6444,72
Ares		40%		60%	
TOTAL	1199,6	479,84	2077,2	1246,32	1726,16
A Coruña		70%		30%	
TOTAL	3354,8	2348,36	5672,4	1701,72	4050,08
S. A. A Coruña		46%		54%	
TOTAL	254,8	117,20	491,4	265,40	382,6
Nautacoruña		30%		70%	
TOTAL	321,6	96,48	552,8	386,96	483,44
M. seca A Coruña		40%		60%	
TOTAL	324	129,60	564	338,40	468
Oza A Coruña		40%		60%	
TOTAL	2965,8	1186,32	4907,2	2944,32	4130,64
Camariñas		80%		20%	
TOTAL	571,2	456,96	659,4	131,88	588,84
Ortigueira				100%	
TOTAL	--	--	476	476	476
Portosín		20%		80%	
TOTAL	1211,1	242,22	2023,6	1618,88	1861,10
Ribeira		25%		75%	
TOTAL	804	201	1418,8	1063,80	1264,8
Sada		30%		70%	
TOTAL	2965,8	889,59	5039,2	3527,44	4417,03
Beluso		20%		80%	
TOTAL	185	37	303,8	243,04	280,04
C. do Morrazo		40%		60%	
TOTAL	618,8	247,52	1104,2	662,52	910,04
Moaña		60%		40%	
TOTAL	1243,4	746,04	2202,2	880,88	1626,92
Pedras Negras		60%		40%	
TOTAL	400,8	240,48	1808,4	723,36	963,84
Pontevedra		10%		90%	
TOTAL	292	29,20	694,8	625,32	654,52
Portonovo		50%		50%	
TOTAL	781,8	390,90	1365	682,50	1073,40
M. Bayona		80%		20%	
TOTAL	829	663,20	1415	283	946,20
P. Bayona		70%		30%	
TOTAL	2143,8	1500,66	3605,6	1081,68	2582,34
Sanxenxo		96%		4%	
TOTAL	2864,2	2749,60	4272,8	170,91	2920,50
Tui		5%		95%	
TOTAL	90	4,50	264	250,80	255,30
Punta Lagoa Vigo		40%		60%	
TOTAL	1543,4	617,36	2921,4	1752,84	2370,20
Davila Sport		40%		60%	
TOTAL	1302	520,80	2027,20	1216,32	1737,12
Liceo M. Vigo		40%		60%	
TOTAL	2417,8	967,12	3790	2274	3421,12
Vigo		60%		40%	
TOTAL	1904,60		3303,8	1321,52	2464,28
V. de Arousa		60%		40%	
TOTAL	794,80	476,88	1385,20	554,08	1030,96
Ferrol		1%		99%	
TOTAL	995,60	9,95	1635	1618,65	1628,70
TOTAL					54.380,76

TABLA 3. Consumo total de litros de patente al año en los Puertos Deportivos de Galicia

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Puede observarse que los litros de patente consumida en los puertos de Galicia son 54.380,76 es decir, aproximadamente 55 toneladas de patente.

Según los datos suministrados por la empresa HEMPEL, una de las empresas fabricantes de pinturas para barcos más importantes del mundo, 20 litros de pintura contienen 10 Kg de óxido cuproso y cuando utilizaban el TBT como principio activo de las patentes, 20 Kg de pintura contenía 5 Kg de TBT. Con estos datos extrapolamos la cantidad de cobre que puede ser suministrada a la capa de agua laminar anualmente al conocer la cantidad de patente aproximada que se utiliza en las embarcaciones de recreo de los puertos deportivos de Galicia. Al mismo tiempo podemos comprobar con cuánto TBT dejamos de contaminar dichas aguas (Tabla 4).

Litros de patente utilizados por las embarcaciones de los Puertos Deportivos de Galicia anualmente.	Kg de principio activo de la patente/ litros de pintura	
	Cobre 10 Kg de óxido Cuproso/ 20 L pintura	TBT 5 Kg TBT/ 20 L de pintura
54.000 L	27.000 L	13.500 L

TABLA 4. Kg de cobre anuales suministrados a la capa de agua laminar por el empleo de pinturas antifouling en las embarcaciones de recreo de los Puertos Deportivos de Galicia con una ocupación del 100%.

Litros de patente utilizados por las embarcaciones de los Puertos Deportivos de Galicia anualmente.	Kg de principio activo de la patente/ litros de pintura	
	Cobre 10 Kg de óxido Cuproso/ 20 L pintura	TBT 5 Kg TBT/ 20 L de pintura
54.000 L	24.000 L	12.000 L

TABLA 4. Kg de cobre anuales suministrados a la capa de agua laminar por el empleo de pinturas antifouling en las embarcaciones de recreo de los Puertos Deportivos de Galicia con la ocupación real.

Gracias al esfuerzo que se ha hecho en la Legislación de los últimos años para prohibir la utilización de pinturas que contengan derivados orgánicos de estaño en las embarcaciones de eslora de menos de 25 m, en este estudio se observa que se ha evitado la contaminación provocada por 13,5 toneladas de TBT que podrían haber sido suministradas a las rías de Galicia en un solo año.

Actualmente el poder *antifouling* de las pinturas antiincrustantes recae sobre el óxido cuproso. Este compuesto es mucho menos dañino que los derivados del estaño, pero no deja de ser un compuesto biocida. El cobre actúa como agente algistático o alguicida en dos microalgas: *Tetraselmis suecica* y *Dunaliella salina* (Rodríguez L. y Rivera D., 1995). Entre la toxicidad que provoca en los crustáceos puede citarse sus efectos sobre las larvas nauplii de *Artemesia longinaris*, provocando mortalidad y alteraciones del movimiento natatorio, del crecimiento y desarrollo en los supervivientes. Los efectos letales sobre la población de determinados moluscos también ha sido estudiada, así en el estudio realizado por Acosta, V. y Lodeiros L. 2001, se descubre al cobre como un agente estresante del Mejillón Verde, *Perna viridis* a concentraciones elevadas del elemento. Otro dato que aporta el carácter destructor del cobre es que se ha convertido en los químicos más usados para controlar la “plaga” de los mejillones en estanques de cultivo de camarón (Portal, V. J. y Ching C., 2008).

La aportación de óxido cuproso al medio por parte de las pinturas antiincrustantes en las embarcaciones de recreo de Galicia durante el último año, es de 27 toneladas, si hubiese una ocupación del 100% y de 24 toneladas con la ocupación real del año 2008.

La Rías gallegas se encuentran protegidas por la legislación Europea, Española y Comunitaria. El hecho de que el elemento cobre esté contemplado en la Ley, Decretos y Reales Decretos señalados en la *Tabla 5*, como uno de los parámetros principales a tener en cuenta a la hora de valorar la calidad de las aguas, nos da idea de la importancia que este elemento tiene, desde el punto de vista de la contaminación marina.

CONTAMINACIÓN MARINA

Protección de las Rías de Galicia.

Ley 8/2001

Calidad de las aguas continentales.

Decreto de Galicia 130/1997

Aguas continentales aptas para la vida de peces.

Directiva 78/659/CEE

Directiva 2006/44/CEE

R.D. 927/1988

O. M. de 16/12/1988

Aguas para cría de moluscos.

Directiva 79/923/CEE

Directiva 91/492/CEE

Directiva 2006/113/CEE

R. D. 927/1988

R. D. 345/1993 O. Del 20/12/1993

O. del 15/11/1994

TABLA 5. Legislación Europea, Estatal y de la Comunidad Autónoma Gallega que legisla el contenido en cobre de las aguas marinas.

CONCLUSIONES

De este estudio pueden extraerse varias conclusiones:

1. La gran cantidad de cobre que se suministra a las aguas de nuestras Rías gracias a las pinturas *antifouling* utilizadas en las embarcaciones de recreo de los puertos deportivos gallegos.
2. Debido a que las mediciones de la concentración total del cobre disuelto no proveen información sobre su disponibilidad biológica, ni sobre su toxicidad para los organismos, uno de los objetivos de nuestras futuras investigaciones será determinar la concentración de la fracción de cobre que está disponible a los organismos y que es potencialmente tóxica.
3. A pesar de que la amenaza medioambiental provocada por las sustancias tóxicas derivadas de los compuestos orgánicos de estaño ya está controlada, las nuevas pinturas antiincrustantes o *antifouling* con el óxido de cobre como principio activo mejoran la prevención de la contaminación del agua marina pero no la erradican por completo.

4. Se hace necesario formular revestimientos con componentes que no produzcan efectos nocivos en el ecosistema marino o métodos electroquímicos o técnicas que impliquen vibraciones para evitar de una manera “limpia” y sin contaminación alguna el efecto de *biofouling*.

AGRADECIMIENTOS

A la Directiva y personal de todos los puertos deportivos de Galicia por su atención e información recibida.

A D. Pere Catalá, Manager Fouling Control Spain-Group R&D de la empresa de pinturas HEMPEL S.A. por la ayuda prestada.

BIBLIOGRAFÍA

Acosta, V. y Lodeiros L. 2001. Evaluación del efecto del cobre sobre juveniles del Mejillón Verde *Pernas Viridis* mediante la concentración de ADN y la relación ARN/ADN en el músculo abductor. FCV-LUZ. Vol XI. Nº 6: 485-490.

Barreiro, R., Quintela M. and Ruiz J.M. 2004. TBT e imposex en Galicia: Los efectos de un disruptor endocrino en poblaciones de gasterópodos marinos. Ecosistemas 13(3): 13-29.

Batley, G. 1996. The distribution and fate of tributyltin in the marine environment. En Tributyltin: case study of an environmental contaminant (de Mora, S. J., editor. Pp.21-61). Cambridge University Press, Cambridge.

Champ, M.A. 2000. A Review of organotin regulatory strategies, pending actions, related cost and benefits. The Science of the Total Environment 258:21-71.

Carral, E., Villares, R., Puente, X., Carballeira, A. 1992. En: A Contaminación mariña do litoral galego. Coord. Xaquín M. Penas Patiño. Ed. O Castro. Pp: 69:77.

Eguía E., 2000. Patentes antiincrustantes de base vinílica y de clorocaucho aplicadas sobre estructuras artificiales en la bahía de Santander. Estudios de investigaciones marinas. 1:5-12.

International Convention on the Control of Harmful Anti-fouling Systems on Ships. 17 de September de 2008.

Pastor, X. 1988. En: A Contaminación mariña do litoral galego. Coord. Xaquín M. Penas Patiño. Ed. O Castro. Pp: 9:24.

Portal, V. J. y Ching C. 2008. Uso del cobre para el control de poblaciones de mejillones en estanques de cultivo de camarón marino. Boletín Nicovita (www.nicovita.com.pc).

Reglamento (CE) nº 782/2003 del Parlamento Europeo y del Consejo, de 14 de Abril de 2003, relativo a la prohibición de los compuestos organoestánicos en los buques.

Resolución MEPC 46(30) del 16 de noviembre de 1990. Medidas para contrarrestar los posibles efectos adversos del empleo de compuestos de tributilestaño en las pinturas antiincrustantes.

Rodríguez L. y Rivera D. 1995. Efecto del cobre y cadmio en el crecimiento de *tetraselmis suecica* (KYLIN) BUTCHER y *Dunaliella salina* TEODORESCO. Estudio. Oceanol. 14: 61-74.

Rubio, B. Nombela, M. A. y Vilas, F. 2000. La contaminación por metales pesados en las Rías Baixas gallegas: nuevos valores de fondo para la Ría de Vigo (NO de España). Journal of Iberian Geology. 26: 121-149.

Scelzo, M. 1997. En: Biología y pesquería de crustáceos decápodos en aguas templadas de Sudamérica. Coord. Wehrtmann, I. y Arana, P. Ed. Investigaciones Marinas. 25. 177-185.

Waite, M. E., thain, J. E., Waldock, J.M., Cleary, J. J., Stebbing, A. R. D. and Abel R. 1996. Changes in concentrations of organotins in water and sediment in England and Wales following legislation. En Organotin (Champ, M. A. and Seligman, P. f., editors), pp 553-580. Champan & Hall, London, UK.

