

LAS INCRUSTACIONES BIOLÓGICAS (FOULING)
Y SU ACCIÓN DE DETERIORO SOBRE LAS
ESTRUCTURAS SUMERGIDAS *

Dr. Ricardo O. Bastida**

SERIE II, N° 380

- * CIDEPINT, Centro de Investigación y Desarrollo en Tecnología de Pinturas (LEMIT-CONICET-CIC). Trabajo presentado a la "Reunión sobre Ciencia y Tecnología del Mar", organizada por la Comisión de Investigaciones Científicas de la Provincia de Buenos Aires, Mar del Plata, noviembre de 1977.
- ** Miembro de la Carrera del Investigador Científico del CONICET y ex-responsable del Área Estudios sobre Incrustaciones Biológicas y Biodeterioro en medio marino del CIDEPINT.

EL PROBLEMA DEL "FOULING"

Las diversas actividades que el hombre desarrolla en el medio marino se ven frecuentemente afectadas por la acción de organismos vegetales y animales que resultan francamente perjudiciales. Un ejemplo de esto lo constituyen aquellos organismos bentónicos capaces de colonizar sustratos artificiales, a los que se ha dado por designar en su conjunto como incrustaciones biológicas, adherencias biológicas o "fouling".

Las incrustaciones biológicas constituyen generalmente complejas comunidades cuya acción induce a la alteración y destrucción de materiales, lo cual, debido a sus implicancias económicas, ha preocupado a todos los países que pretenden obtener un desarrollo tecnológico integral.

La fijación de los organismos incrustantes sobre la carena de los barcos produce una capa de espesor variable que altera la hidrodinámica de la embarcación, afectando su normal desplazamiento y produciendo un importante aumento en el consumo de combustible. Los organismos incrustantes, por otra parte, están vinculados con los procesos de corrosión, que hacen necesario el periódico retiro de las naves en servicio, su instalación en dique seco, el posterior carenado y pintado de las mismas, llegando incluso a ser necesario el recambio de chapas de acero del casco. Este costoso proceso trae como consecuencia la inactividad de la nave, provocando además lucro cesante por falta de operación.

La acción deletérea de los organismos incrustantes no se limita a las estructuras flotantes; altera también las construcciones portuarias, instalaciones "off-shore", viviendas y estaciones oceanográficas submarinas, y obstruye los sistemas de refrigeración de usinas, fábricas, etc. (Cuadro I).

Para el control del "fouling", que es un proceso eminentemente biológico, se emplean en la actualidad pinturas especiales a las que se incorporan tóxicos de variados tipos. Sin embargo, cabe señalar que en nuestro país no se fabrican a nivel comercial pinturas antifouling capaces de controlar durante lapsos prolongados las incrustaciones biológicas que se encuentran en los puertos de mayor importancia de nuestras costas. Esto se debe en parte a la complejidad de formulación de las mismas, a la cantidad de diferentes variables que regulan su funcionamiento y a la falta de exigencias (desde el punto de vista especificaciones) por parte de los usuarios.

Las variables mencionadas anteriormente pueden ser divididas en tres tipos fundamentales:

- a) *biológicas*, vinculadas con las características de las especies que se encuentran involucradas, tales como resistencia tóxica, ritmo de crecimiento y dinámica general de la

comunidad;

- b) *ambientales*, es decir las condiciones típicas de la zona de ensayo, como ser salinidad, temperatura, pH, etc., que actúan directamente sobre el funcionamiento de la pintura y que a su vez ejercen un papel regulador sobre los organismos e
- c) *intrínsecas*, vinculadas a los componentes presentes en la formulación y a las interacciones que se producen entre los mismos o con el agua de mar.

Los estudios sobre fouling y sistemas de control, a nivel mundial, han sido encarados en forma profunda recién en las últimas décadas. Sin embargo, la existencia del fenómeno y sus efectos perjudiciales eran ya conocidos desde épocas muy remotas. Los registros escritos sobre tratamientos de carenas de barcos más antiguos se remontan al siglo V A.C., aunque es probable que muchos siglos antes se hubieran puesto en práctica sistemas tendientes a la solución de este problema.

Las numerosas experiencias realizadas al respecto, según las referencias y la evidencia de patentes disponibles en la actualidad, pueden ser agrupadas en tres etapas o enfoques fundamentales. Una de ellas se refiere a los sistemas de protección de cascos basados en el recubrimiento de los mismos por planchas metálicas de diverso tipo. Dicho enfoque fue evolucionando hasta el descubrimiento de que las láminas de cobre constituían un sistema eficaz para el control del fouling en los buques con casco de madera que predominaban en esa época. A partir de este descubrimiento, que por otra parte implicaba costos muy altos, se comprobó que su aplicación en cascos de hierro producía serios problemas de corrosión debido al efecto galvánico. Dado que para esa fecha los cascos de hierro tendían a ser mayoría, se intentó la aplicación de sistemas de aislación entre los dos metales, pero en definitiva las experiencias condujeron a la invalidación de este método antifouling.

La tercera etapa corresponde al desarrollo de pinturas antiin-crustantes y surge, en parte, como una consecuencia de lo recién expresado. A su vez estas pinturas podían ser aplicadas sobre una capa anticorrosiva que protegía al casco metálico.

A lo largo del desarrollo científico y tecnológico de los estudios vinculados con el fouling y sus efectos, han existido etapas de distinta intensidad, hecho por lo general vinculado con los períodos en los cuales se produjeron las grandes guerras. De ahí que los avances básicos en la solución del problema se hayan dado a publicidad, en forma relativamente amplia, al finalizar la Segunda Guerra Mundial, encaradas la mayor parte de ellas a través del Instituto Oceanográfico Woods Hole (Woods Hole Ocean. Inst., 1952). Por otra parte, en los años que transcurrieron de entonces hasta nuestros días, se han encarado los estudios más profundos y de re-

CUADRO I. PROBLEMAS OCASIONADOS POR LA ACCION DE LOS ORGANISMOS INCRUSTANTES ("FOULING")

	OBSTRUCCION DE SISTEMAS DE REFRIGERACION DE USINAS, FABRICAS, ETC.	<i>Interrupción del suministro de energía eléctrica o de la producción industrial</i>
ACCION DE LOS ORGANISMOS INCRUSTANTES	REDUCCION DE LA VELOCIDAD DE LAS EMBARCACIONES POR AUMENTO DE LA FRICCIÓN DEL CASCO (AUMENTO DE RUGOSIDAD)	<i>Aumento del consumo de combustible</i>
	DESTRUCCION DE MATERIALES METALICOS POR CORROSION EN CONSTRUCCIONES FIJAS (PORTUARIAS, PETROLERAS, "OFF-SHORE", INDUSTRIALES, ETC.) Y FLOTANTES (NAVES, BOYAS, BALSAS EXPERIMENTALES O DE CULTIVO, INSTRUMENTOS OCEANOGRAFICOS)	<i>Recambio de materiales Carenados frecuentes a) Gastos en dique seco b) Gastos de mano de obra c) Gastos de no operación de naves Uso de sistemas de protección: a) Pago de regalías b) Importación de tecnología c) Empleo de pinturas no formuladas para la región</i>

sultados más fructíferos, tanto en lo que hace al conocimiento biológico del problema como a su efectivo control a través de investigaciones en el campo de la química.

Probablemente el rasgo más sobresaliente de los estudios iniciados durante el presente siglo es que tendió a integrar los conocimientos biológicos con aquéllos en los que se basan los sistemas de control. El balance histórico indica que anteriormente el esfuerzo estuvo casi exclusivamente dirigido hacia el desarrollo de sistemas de control y muy poco se hizo por interiorizarse sobre los componentes del fouling, su biología, factores que condicionan su fijación, mecanismos de fijación, etc.

La primera mención que se conoce sobre organismos integrantes del fouling corresponde a Aristóteles y fue publicada en el siglo IV A.C. (Laidlaw, 1852). En ella se refiere a la rémora (gro. *Echeneis*) bajo el término de "frenador de barcos", por la acción que ejercían estos peces al adherirse a los cascos de los barcos en grandes cantidades (Gudger, 1918). De todas formas, ya Plutarco (Laidlaw, op. cit.) mencionaba que esta acción no era ejercida exclusivamente por las rémoras, sino también por otros organismos que tenían por costumbre adherirse a los cascos de las embarcaciones en grandes concentraciones.

En 1559, Laevinius Lemnius hace nuevamente referencia a la acción que ejercen los moluscos y las rémoras al adherirse sobre la carena de los buques.

Con el correr de los siglos, se avanzó en el conocimiento de la zoología y la botánica, si bien hubo muy poca o ninguna dedicación particular al estudio de las comunidades bentónicas que se fijan sobre sustratos artificiales. Es recién a fines del siglo XIX cuando se comienza con el estudio faunístico de algunos grupos que suelen integrar el fouling, tal es el caso de los hidrozoos, cirripedios, tunicados, poliquetos, etc. A partir de ese momento comienza un vertiginoso progreso en el reconocimiento de los organismos que componen el fouling (Ayers y Turner, 1952; Hutchins, 1952; Redfield y Deevy, 1952), llegándose en la actualidad a haberse reportado cerca de 3000 especies vegetales y animales. Entre los componentes animales se han reconocido 11 Phyla, lo que nos indica la gran diversidad de estas comunidades que, en términos generales, presentan grandes similitudes con las comunidades costeras de fondos duros (Bastida, 1971a). Es lógico que esto sea así, pues el concepto de fouling o incrustaciones biológicas está basado exclusivamente en la importancia de su aspecto aplicado, más que responder a una determinación de tipo biológico. De ahí que nunca estará de más insistir en que para desarrollar cualquier tipo de sistema de control efectivo será necesario conocer e interpretar aquellos principios biológicos que regulen el desarrollo del fouling.

En la actualidad, los estudios sobre comunidades incrustantes

han ido mucho más allá del aspecto eminentemente práctico u orientado del problema, para convertirse en material de experimentación ecológica a través del cual se pretende conocer y controlar los principios que regulan la dinámica de las comunidades bentónicas.

Uno de los aspectos que ha preocupado a los especialistas en los últimos tiempos han sido los estudios sobre fouling profundo, principalmente por el desarrollo de las construcciones "off-shore" y el acceso progresivo del hombre hacia fondos más profundos. Hasta el presente, estos estudios han sido realizados paralelamente con investigaciones sobre organismos perforantes y aspectos generales que hacen a la alterabilidad de materiales en zonas de gran profundidad. Los mismos han estado dirigidos básicamente a determinar la agresividad y diversidad específica de estas comunidades, sin entrar en un análisis de su dinámica (Dolgopol'skaya, 1959; Muraoka, 1966 & 1971; De Palma, 1968).

En términos generales, se ha podido determinar en base a los resultados obtenidos en el transcurso de las investigaciones sobre este tema que existe un descenso progresivo de la diversidad específica y de los valores de biomasa desde la superficie hasta el fondo y desde la costa hacia mar afuera. Sin embargo, en algunos casos, como durante los estudios realizados en Cerdeña (De Palma, 1963) se ha registrado un fouling cinco veces más abundante cerca del fondo profundo que en la zona de superficie, si bien no fueron analizadas las causas de esta situación.

Los trabajos realizados hasta la fecha han sido aislados y no permiten obtener un panorama a nivel mundial del problema, como así tampoco resultados terminantes a nivel regional. En el caso del Atlántico Sur, no existen hasta el presente referencias de ningún tipo al respecto.

Los aspectos relacionados con el fouling profundo, al margen de su importancia económica, encierran gran valor desde el punto de vista biológico, ecológico y biogeográfico, en relación a los recientes estudios sobre transporte interoceánico de larvas de organismos bentónicos (Scheltema, 1971 & 1972) y a aquéllos relacionados con la diversidad específica de las comunidades bentónicas de fondos profundos (Hessler y Sanders, 1967; Sanders y Hessler, 1969).

De la misma forma en que el tendido de cables telegráficos submarinos promovió el desarrollo de las investigaciones sobre el bentos profundo (Bastida, 1977), los mismos sirvieron con el correr del tiempo como sustrato para la fijación de organismos incrustantes. Es así que cuando surgió la necesidad de efectuar reparaciones en los cables, se obtuvieron las primeras muestras de fouling profundo, que se suponía no era posible encontrar a tan grande profundidad (2400 m aproximadamente).

LAS INVESTIGACIONES SOBRE FOULING EN LA ARGENTINA. ANTECEDENTES, ESTADO ACTUAL Y PERSPECTIVAS FUTURAS

Los estudios sobre fouling en Argentina fueron iniciados en el año 1964 con un relevamiento de las comunidades bentónicas del área portuaria marplatense (Bastida, 1968). Este estudio, sin embargo, no fue motivado por una cuestión de tipo práctico. A través del mismo se intentaba detectar las variaciones existentes con respecto a las comunidades bentónicas de áreas aledañas naturales y conocer en qué medida y a qué organismos afectaban los factores ambientales que caracterizan a la zona portuaria. Todo ello se realizó como un aspecto de expansión en el estudio de la ecología bentónica que se venía desarrollando en el Instituto de Biología Marina desde unos años antes.

Esta investigación adquirió real sentido cuando pudo integrarse a la tarea que un grupo de químicos e ingenieros estaba desarrollando en el Laboratorio de Ensayo de Materiales e Investigaciones Tecnológicas, sobre sistemas de control anticorrosivo y antifouling. En base a convenios realizados entre esta institución y el Instituto de Biología Marina de Mar del Plata se da comienzo a una línea de investigación nueva en nuestro país y en Latinoamérica.

Con el correr del tiempo y el avance de las investigaciones sobre el tema se logra concretar el Centro de Investigación y Desarrollo en Tecnología de Pinturas (CIDEPINT), el que es patrocinado por el LEMIT, CONICET y CIC. Dicho centro es el que en la actualidad nuclea las investigaciones sobre incrustaciones biológicas y sistemas de control, contándose entre sus diversas áreas con una dedicada al estudio de los aspectos eminentemente biológicos y que desarrolla su actividad en el Instituto de Biología Marina, actualmente Instituto Nacional de Investigación y Desarrollo Pesquero.

Una vez concretado el estudio sobre las comunidades bentónicas del área portuaria, se inició la etapa de investigación sobre fouling, utilizando una metodología específica basada en el empleo de una balsa experimental. Esta metodología, de aplicación muy generalizada en estudios de este tipo, presenta numerosas ventajas. Por una parte, simula las características de una embarcación, con su correspondiente línea de flotación y zona de carena, permitiendo alojar gran cantidad de paneles que actúan como sustratos artificiales a distintos niveles de profundidad (Bastida, 1971a). Por otra parte, permite conocer las fechas exactas y los períodos de inmersión de los mismos y por lo tanto, la edad de la comunidad que se analiza y de los organismos que la integran.

Los estudios iniciales basados en el empleo de balsa experi-

mental permitieron establecer por primera vez los períodos de fijación y reproducción de la mayor parte de las especies integrantes del fouling local, así como determinar las principales etapas en la evolución de la comunidad (Bastida, op. cit.). Estos aspectos, al margen del interés que presentan desde el punto de vista ecológico, resultan fundamentales para el desarrollo de los estudios sobre el control del fouling por medio de pinturas tóxicas que se efectúan paralelamente en la misma balsa.

Dado que estas observaciones fueron realizadas en forma ininterrumpida a lo largo de varios años (Bastida, 1971a & b), fue posible elaborar algunos esquemas de tipo predictivo sobre la fijación de ciertas especies como así también sobre ciertas etapas en la evolución de la comunidad en relación a determinados factores ambientales, tales como la temperatura del agua. También pudieron detectarse ciertos cambios en los ciclos de fijación de algunas especies y en la secuencia sucesional de la comunidad, posiblemente vinculados con fenómenos de contaminación de la zona portuaria. Es así como algunas especies que llegaban a dominar y caracterizar ciertas etapas de desarrollo de la comunidad en otras épocas, aparecen en la actualidad en cantidades reducidas, modificándose notablemente la dinámica evolutiva de dicha comunidad (Bastida et al., 1977).

A medida que se profundizaba en el conocimiento del papel que juegan los distintos organismos dentro de la comunidad así como la sensibilidad tóxica de cada uno de ellos, se encararon estudios particulares sobre la biología y ecología de ciertas especies, como el molusco pulmonado *Siphonaria lessoni* (Bastida, Capezzani y Torti, 1971), los cirripedios *Balanus amphitrite* y *B. trigonus* (Bastida et al., 1977) y diversos componentes vegetales de alta resistencia tóxica (en desarrollo). Estas investigaciones constituyen la base biológica necesaria para la correcta formulación de pinturas tendientes a evitar la fijación de las especies más resistentes y perjudiciales, hacia las cuales se dirige especial atención.

Dado que las comunidades incrustantes constituyen un complejo bioecológico particular, se realizaron estudios sobre fenómenos de competencia espacial, procesos de epibiosis y relaciones tróficas de la comunidad. Estos estudios aportan datos esenciales para el conocimiento de la dinámica del fouling y a su vez, pueden ser extrapolados a las comunidades naturales de zonas vecinas en virtud de la semejanza que existe entre ambas comunidades, constituyendo un aporte al conocimiento integral del bentos local.

Todo este esquema de investigaciones desarrolladas inicialmente en el área portuaria marplatense fue posteriormente proseguido en Puerto Belgrano, otra de las zonas portuarias de importancia en el país, habiéndose obtenido hasta el presente un completo panorama sobre la dinámica de dicha área.

Al mismo tiempo, se realizaron estudios preliminares en la zona de Puerto Madryn, que se espera puedan ser ampliados próximamente. También se pretende ir cubriendo otras áreas portuarias importantes de la Patagonia y lograr un panorama completo sobre los problemas de fouling en todos los puertos argentinos.

Cabe señalar además que se han llevado a cabo estudios vinculados con la acción de pinturas tóxicas a nivel de línea de flotación, con la finalidad de controlar el cinturón vegetal que domina en esos niveles (Rascio y Bastida, 1973). Dentro de esta línea de investigación es donde se combinan los aspectos químicos de control con los biológicos. Cabe mencionar asimismo que se han realizado experiencias empleando micropaneles para el estudio de la acción de diversos tóxicos en concentraciones variables (Bastida, Adabbo y Rascio, 1976).

Las etapas a desarrollar en un futuro inmediato están vinculadas con el cultivo en laboratorio de especies incrustantes de alta resistencia tóxica, a los efectos de conocer la acción que ejercen sobre ellas los diferentes tóxicos antiincrustantes. También se prevé en esta próxima etapa profundizar en los mecanismos de fijación de los organismos y en los factores físico-químicos que promueven o evitan dicho proceso.

Las investigaciones sobre incrustaciones biológicas han sido pioneras en Latinoamérica y la experiencia adquirida en el tema ha permitido desarrollar tareas de extensión a otros países de la región, habiéndose actuado como ente asesor en el programa de estudios sobre fouling que ha iniciado recientemente la Universidad del Norte (Chile).

FORMACION DE RECURSOS HUMANOS

Los problemas vinculados con la formación de recursos humanos para el desarrollo de las investigaciones sobre el fouling y el biodeterioro en el medio marino pueden esquematizarse en dos aspectos. El primero de ellos estaría relacionado con la formación general de personal capacitado en cuestiones oceanográficas y ya nos hemos referido a él en otra contribución de la presente publicación (Bastida, 1977). La segunda etapa, ya más específica, debe propender a una especialización en los problemas de ecología bentónica dentro de los cuales se incluyen los relacionados con las comunidades incrustantes. Para ello, sería aconsejable promover a nivel de post-grado en las universidades o institutos de investigación, la implementación de cursos de especialización o trabajos de seminario relacionados con el tema. También puede preverse el dictado de cursos integrados vinculados con los problemas de alterabi-

lidad de materiales en el medio marino y sistemas de control; estos cursos podrían ser de tipo colegiado, participando en ellos especialistas en distintas disciplinas que contribuyan al planteo y solución del problema en forma integral. Cabe señalar que existen antecedentes de este tipo, tanto en el país como en el exterior, habiéndose obtenido resultados satisfactorios.

BIBLIOGRAFIA

- Ayers J. C., Turner H. J.- U. S. Naval Inst., II (9): 118-164, 1952.
- Bastida R.- Compte Rendu 2nd. Int. Congr. Mar. Corrosion and Fouling (Athens, Greece): 557-562, 1968.
- Bastida R.- Rev. Mus. Arg. Ciencias Nat. B. Rivadavia, Hidrobiol., 3 (2): 203-285, 1971a.
- Bastida R.- Corrosión y Protección (España), 2 (1): 21-37, 1971b.
- Bastida R.- Proc. 3rd. Int. Congr. Mar. Corrosion and Fouling (Gaythersburg, Maryland): 1-17, 1972.
- Bastida R.- Com. de la Reunión sobre Ciencia y Tecnología del Mar, CIC, 1977.
- Bastida R., Adabbo H.- LEMIT-ANALES, 3-1975: 3-39.
- Bastida R., Adabbo H., Rascio V.- Corrosion Marine-Fouling, 1/76: 5-17, 1976.
- Bastida R., Capezzani D., Torti M. R.- Marine Biology, 10: 297-307, 1971.
- Bastida R., Caprari J. J., Rascio V.- Actas IV Congr. Lat. Zool., Caracas, Venezuela, 1969.
- Bastida R., L'Hoste S.- LEMIT-ANALES, 3-1976: 160-203.
- Bastida R., L'Hoste S., Spivak E., Adabbo H.- LEMIT-ANALES, 3-1974: 169-195.
- Bastida R., Spivak E., L'Hoste S., Adabbo H.- LEMIT-ANALES, 3-1974: 97-165.
- Bastida R., Torti M. R.- Physis, 21 (82): 39-50, 1972a.
- Bastida R., Torti M. R.- Physis, 21 (82): 143-153, 1972b.
- Bastida R., Torti M. R.- LEMIT-ANALES, 3-1971: 45-75.
- Bastida R., Trivi de Mandri M. E., Lichtschein de Bastida V., Stupak M. E.- CIDEPINT-ANALES: 119-199, 1977.
- Crisp D. J.- 5th. Symposium of the British Ecological Society, 99-117, 1965.
- De Palma J. R.- Unpubl. manuscript IMR N° 0-57-63. U.S. Naval Ocean. Office, 1963.
- De Palma J. R.- Compte Rendu 2nd. Int. Congr. Mar. Corrosion and Fouling. (Athens, Greece): 595-600, 1968.

- Dolgopol'skaya M. A.- Trudy Sevastopol. Biol. Stan., 12: 192-208, 1959.
- Gudger E. W.- Ann. Mag. Nat. Hist., ser. 9, 2: 271-307, 1918.
- Hessler R. R., Sanders H. L.- Deep-Sea Res., 14 (1): 65-78, 1967.
- Hutchins L. W.- U.S. Naval Inst., II, 10: 165-207, 1952.
- Laidlaw F. B.- U.S. Naval Inst., III, 11: 211-223, 1852.
- Muraoka J. S.- TR-428, U.S. Naval Civil Eng. Lab., 1966.
- Muraoka J. S.- TR-525, Naval Civil Eng. Lab., 1967.
- Olivier S., Paternoster I., Bastida R.- Bol. Inst. Biol. Mar., 10: 1-74, 1966.
- Rascio V. J., Bastida R.- Corrosión y Protección (España), 4 (3): 19-27, 1973.
- Rascio V. J., Bastida R., Caprari J. J.- Peintures, Pigments, Vernis (Francia), 45 (11): 724, 1969.
- Redfield A. C., Deevy E. S. (Jr.)- U.S. Naval Inst., II, 3: 37-41, 1952.
- Sanders H. L., Hessler R. R.- Science, 163: 1419-1424, 1969.
- Scheltema R.- 4th. European Marine Biology Symposium. Cambridge Univ. Press, 1971.
- Scheltema R.- Barobiology and the Experimental Biology of the Deep-Sea. Univ. N. Carolina, Chapel Hill, 1972.
- Woods Hole Oceanographic Institution.- Marine Fouling and its Prevention, U.S. Naval Inst., Annapolis, Maryland, 388 pp., 1952.