

REVISIÓN SOBRE LOS ASPECTOS BIOLÓGICOS DEL "FOULING"

BIOFOULING: AN OVERVIEW

M.C. Pérez y M.E. Stupak

SUMMARY

The development of fouling communities is object of world-wide research since the last half of the century. Biological fouling of vessels has been known since the beginning of man's maritime activities. Biological corrosion became a problem of concern when steel replaced wood as the primary ship construction material.

The purpose of the present paper is to present a guide about biological aspects of fouling for the non-specialist (the non-biologist). The scope of this guide is to give some historical references, development sequences of the fouling community, abiotic factors influence, fouling problems, study methodology and enough elements to recognize the most important taxa with some pictures. Also, in relation to freshwater fouling, a basic approach and comments about exotic species introduction by ships are presented. A glossary and a broad bibliography on this subject are included.

Keywords: *biofouling, microfouling, macrofouling, raft trials, laboratory trials*

INTRODUCCION

El presente trabajo ofrece una síntesis sobre la temática del "fouling", enfocada desde el punto de vista biológico, con la finalidad de que pueda servir como guía para quienes se inician en el tema o para quienes dirigen sus investigaciones exclusivamente hacia la aplicación de sistemas de control.

El origen de la vida, claramente explicado por Darwin, fue un complejo desarrollo que comenzó con organismos unicelulares. Los océanos fueron una parte intrínseca de esta evolución, y están ahora habitados por formas que van desde pequeñas bacterias hasta enormes ballenas. Algunas de las numerosas especies que pueblan los océanos nadan o son llevadas por las corrientes, pero muchas tienen que encontrar una superficie dura para fijarse con el fin de cumplir sus ciclos de vida. La escasez de sustratos duros naturales en el medio marino trae como consecuencia que cada espacio disponible sea disputado y cubierto por una variedad de cirripedios, algas, bacterias, etc. Los cascos de los barcos así como otras estructuras sumergidas, están también expuestos a esta fijación potencial de plantas y animales, comunmente llamada "fouling" [1].

El término "fouling" puede ser usado en un sentido amplio incluyendo la fijación y crecimiento de micro y macroorganismos sobre cualquier sustrato sumergido natural o construido por el hombre [2].

El eje del presente trabajo se basa fundamentalmente en los aspectos biológicos del "fouling" marino, presentándose algunas referencias históricas, las secuencias de su formación, la influencia de los factores abióticos, los problemas que acarrea, la metodología de estudio y las características generales de los principales organismos incrustantes, incluyendo figuras para facilitar la lectura y reconocimiento del material. También se hace una breve referencia sobre el "fouling" de agua dulce a fin de obtener una noción sobre los problemas que ocasiona principalmente por la introducción de especies exóticas. Por último se presenta un glosario y la bibliografía consultada que permitirá, a quien lo desee, ahondar sobre los temas tratados.

BREVE RESEÑA HISTORICA [3-11]

"...Viendo Dios que la tierra estaba corrompida, dijo a Noé: ...Haz para tí un arca de madera de gopher bien acepillada; en el arca dispondrás de celditas y la calafatearás por dentro y por fuera..." (Cap. VI del Génesis).

Desde tiempos muy remotos el hombre construyó embarcaciones y siempre tuvo la necesidad de proteger fundamentalmente la parte sumergida.

A través de los poemas de Homero se tiene noticia de las "navis lunga" (galeras primitivas) de los micenos (1300-1100 a.C.), quienes con el fin de conferir estanqueidad al casco y protegerlo de las "bromas" (moluscos perforadores de madera) aplicaban una pintura a base de pez (naves negras) o de minio (naves rojas).

Aristóteles (siglo IV a.C.) hizo referencia sobre el efecto "frenador de barcos" causado por las rémoras, peces del género *Echeneis* que tienen la aleta dorsal modificada en forma de ventosa por medio de la cual se adhieren.

Hacia el año 412 a.C. se comenzaron a usar mezclas con alquitrán, azufre y arsénico para proteger los barcos de madera del ataque de gusanos tubícolas. En virtud de los descubrimientos realizados al comienzo de este siglo, pudo establecerse que hacia el 480 a.C. se utilizaban bronce y láminas de plomo para proteger los cascos de los barcos de guerra.

A fines del siglo I Plutarco mencionó, además de las rémoras, la presencia de otros organismos, enfatizando sobre las ventajas de raspar las algas y el limo adherido a los cascos de los barcos para que pudieran avanzar más fácilmente en el agua.

Las evidencias arqueológicas indican que los normandos y los vikingos (siglos VII y VIII) no protegían sus embarcaciones; sus barcos eran livianos y se retiraban del agua cuando no se los utilizaban.

En la Edad Antigua los griegos y romanos utilizaron con éxito placas metálicas, mientras que en la Edad Media era poco frecuente el uso de metales para recubrir barcos.

Los cascos de madera de las carabelas utilizadas por Colón estaban protegidos con sebo y alquitrán y las embarcaciones de Vasco da Gama con carbón; siglos después, en Inglaterra se siguió utilizando este método.

En 1559 Laevinus Lemnius hizo también referencia al efecto frenador producido por las rémoras y los moluscos y a la necesidad de eliminarlos por medio de cepillos, debiendo cubrirse los barcos con sebo para que navegaran más rápidamente.

La primera patente “antifouling” fue concedida a William Beale en 1625 en Inglaterra; la pintura para evitar la fijación de los gusanos tubícolas, estaba basada en polvo de hierro, cemento y probablemente compuestos de cobre.

En el siglo XVIII se otorgaron licencias para implementar métodos de protección con recubrimientos metálicos. Comenzó a utilizarse estaño, al principio en forma de polvo; simultáneamente, se obtuvieron resultados exitosos con recubrimientos de cobre en gran cantidad de embarcaciones inglesas y americanas. Una de las primeras embarcaciones con el casco recubierto con lámina de cobre fue la corbeta inglesa Dolphin que, capitaneada por John Byron, recorrió las costas argentinas a fines del siglo XVIII.

Los primeros antecedentes sobre barcos de metal están referidos a un buque de pasajeros construido en 1777 en Yorkshire (Inglaterra) y al Aaron Manby, barco a vapor para el transporte de pasajeros entre Inglaterra y Francia, botado en 1820.

Es muy importante destacar el viaje del capitán FitzRoy a bordo del Beagle que, cumpliendo una misión del Almirantazgo Británico (1831-1835), llegó a la parte más austral de América del Sur con el fin de perfeccionar la cartografía de dicha zona. En Islas Malvinas, con el fin de llevar a cabo su objetivo, compró una goleta ballenera que fue enviada al Río de la Plata donde se aplicó al casco una lámina de cobre. El fondo revestido de cobre no permitía la fijación de lapas y un velero equipado de ese modo podía navegar con mucha rapidez; ese fue el secreto del éxito de la Marina Real durante muchos años. Este viaje fue trascendental para las ciencias naturales, ya que el naturalista que se encontraba a bordo del Beagle era nada menos que Charles Darwin, quien a través de sus continuas observaciones y descripciones de nuevas especies planteó la teoría de la evolución que revolucionó la biología. En 1851 y 1854 Darwin publicó sus monografías sobre cirripedios en donde detalla los sustratos naturales y/o artificiales sobre los cuales se fijan. Por ej. cita a *Balanus improvisus* adheridos a la lámina de cobre del casco del Beagle varado en las costas de Santa Cruz (sur de la Patagonia); *Balanus amphitrite* sobre cañas, maderas flotantes, guijarros, valvas de moluscos. Menciona además que las especies más ampliamente distribuidas son aquéllas que se adhieren con mayor facilidad a los cascos de los barcos.

Paralelamente, en Europa, las reservas de madera se iban agotando por lo que surgió la necesidad de buscar nuevos materiales para la construcción de barcos; es así que comienza a utilizarse el hierro que podía obtenerse a través de la industria y que resultaba más resistente que la madera. En 1849 causó sensación la presencia en el Riachuelo del barco La Merced, primer buque a vapor con casco de hierro de la Armada Argentina, de fabricación inglesa.

En 1851, en Alemania, los barcos de hierro comenzaron a protegerse con barnices oleosos, pero el método resultaba muy caro debido a los largos períodos de secado en dique. Posteriormente, el uso de sistemas de pinturas solubles en benceno posibilitó una combinación

más efectiva y barata de resinas, cuya principal ventaja fue su fácil aplicación tanto en climas cálidos como templados, manteniéndose su utilización hasta el presente.

En 1860 fue construido el Warrior (del Almirantazgo Británico), primer buque de guerra del mundo realizado totalmente en hierro. En el mismo año el capitán Rahtjen desarrolló una pintura “antifouling” basada en una solución de goma laca alcohólica cuyas sustancias activas eran arsénico y óxido de mercurio. La formulación dio excelentes resultados pero acarreó muchos problemas económicos y técnicos.

Entre 1870 y 1880 comenzó a sustituirse el hierro por el acero por ser de producción más fácil, económica y por sus elevadas características de resistencia, que a su vez permitió aligerar la estructura de los cascos.

A fines del siglo pasado (1898) fue construida la fragata Sarmiento en Birkenhead (Inglaterra), con el casco de acero Siemens recubierto, hasta la línea de flotación, con madera y ésta a su vez con lámina de cobre.

Alrededor de 1920 las investigaciones sobre pinturas “antifouling” comenzaron a complementarse con investigaciones biológicas; los avances en zoología y botánica proveyeron descripciones de la forma, ciclos de vida y comportamiento de muchos grupos del “fouling”.

Investigadores del CIDEPINT a partir del año 1964 y hasta la actualidad han realizado estudios de las comunidades incrustantes y de los sistemas de control, en el área portuaria de Mar del Plata y de Puerto Belgrano. Con el transcurso del tiempo se obtuvieron resultados satisfactorios de control del “fouling” con pinturas formuladas empleando óxido cuproso como tóxico principal. También han sido utilizados óxido de cinc, arseniatos, compuestos de tributil y trifenil estaño y diferentes extendedores [12]. Algunas de estas sustancias están hoy excluidas desde el punto de vista ecológico.

Las pinturas "antifouling" han sido por muchos años la mejor vía de protección de los barcos, habiéndose logrado hasta el presente un caudal de información considerable sobre su comportamiento a escala de planta piloto, en balsas experimentales y en servicio. Hay además otros métodos alternativos para controlar las incrustaciones, como por ejemplo ondas de sonido de baja frecuencia, sonidos de alta intensidad y superficies de baja energía [13-16]. Cabe mencionar también la posibilidad del control biológico; por ejemplo en experiencias llevadas a cabo en Israel, fueron utilizadas lapas para controlar el “biofouling” marino dominado por *Balanus amphitrite* [17-19].

SECUENCIAS DE EVENTOS EN LA FORMACION DEL “BIOFOULING” [1, 20-21]

El proceso del "fouling" biológico comienza en el instante en que un sustrato duro se sumerge en un medio líquido con organismos. La secuencia de eventos continúa hasta un nivel de desarrollo de la comunidad incrustante que eventualmente puede impedir el movimiento de los barcos, desestabilizar estructuras oceánicas sumergidas, aminorar el intercambio de calor en torres de enfriamiento, restringir el pasaje de sangre en circuitos naturales o artificiales y promover caries dentales. Esta importante secuencia sigue un orden universal, inmediatamente

del contacto inicial, una superficie es modificada por adsorción de biopolímeros y luego ocurre la fijación y proliferación de células pioneras. En el caso de las incrustaciones biológicas sobre sustratos sumergidos en el mar esa fijación inicial es seguida por algas e invertebrados. Lo expresado se indica en la **figura 1**.

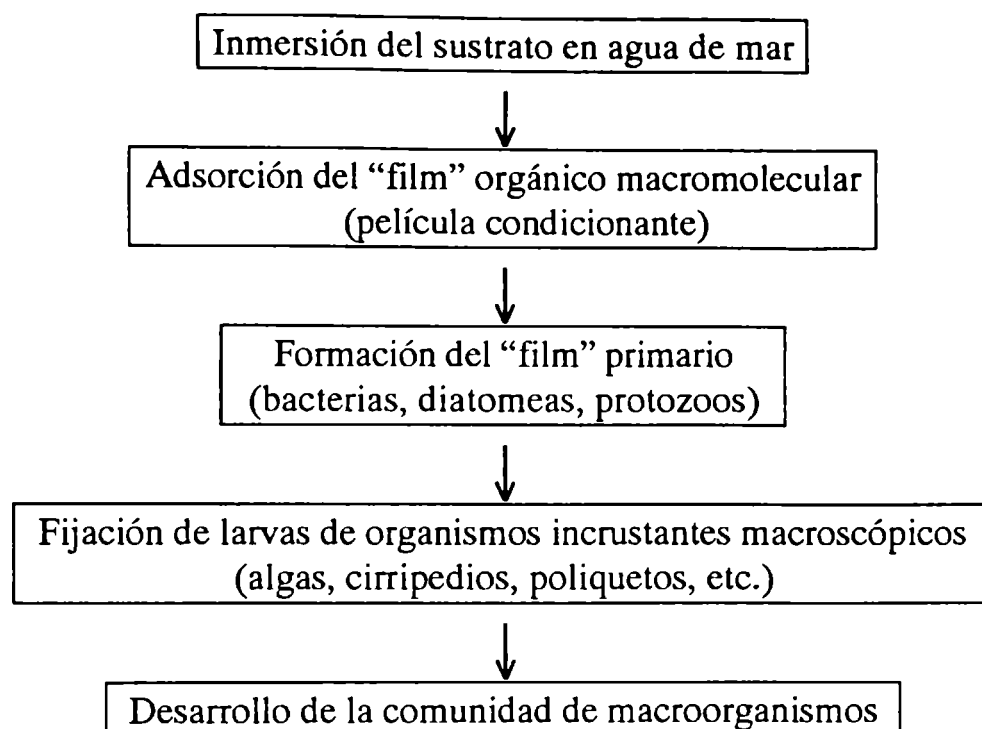


Fig. 1.- Secuencia de la fijación de las incrustaciones biológicas en un sustrato sumergido en el mar.

El carácter de la comunidad resultante es determinado por la naturaleza del sustrato, la disponibilidad y diversidad de los colonizadores, la eficiencia de su fijación al sustrato y los eventos bióticos/abióticos (a menudo directamente el hombre) que ocurren durante y después de la fijación.

El problema del "biofouling" varía de localidad en localidad, por eso es necesario el conocimiento de la biología de sus organismos para aplicar medidas más efectivas de prevención y control. La estructura y composición del "fouling" muestra amplias variaciones temporales y regionales, las que son en general gobernadas por las condiciones hidrológicas y geográficas.

INFLUENCIA DE LOS FACTORES ABIOTICOS [22-24]

Es importante hacer una mención de la influencia de los factores abióticos sobre los organismos. Parámetros tales como temperatura, salinidad, pH, oxígeno disuelto, luz y tipo de sustrato juegan un importante rol en la determinación de la composición, desarrollo y sucesión de la comunidad. Estos factores también tienen efecto sobre el funcionamiento de las pinturas "antifouling".

La **temperatura** del agua ejerce un gran control sobre la distribución y funciones vitales de los organismos (maduración sexual, crecimiento, desarrollo). Con respecto a las

pinturas antiincrustantes un aumento de temperatura disminuye la vida útil de las mismas por el incremento de la disolución del tóxico y del ligante.

La **salinidad** afecta los fenómenos de ósmosis de los organismos. La mayor parte de los especies marinas han desarrollado estrategias adaptativas para mantenerse en equilibrio osmótico con el medio que los rodea. Además, los cambios en la salinidad varían la densidad específica del agua influyendo en la flotabilidad de los organismos. En general, la salinidad del agua de mar oscila entre 34-36 ‰, aunque en las zonas costeras pueden ocurrir variaciones debidas a los aportes de agua dulce, desagües pluviales, evaporación, etc. En lo referente a las pinturas “antifouling” la concentración de cloruro de sodio afecta la solubilidad de la colofonia (al aumentar la salinidad aumenta su solubilidad) y por consiguiente la lixiviación del tóxico.

El **pH** normal del agua de mar es de alrededor de 8,2. Las variaciones influyen sobre la actividad enzimática y las reacciones fisiológicas de los organismos. El pH afecta la solubilidad de la resina colofonia de las pinturas antiincrustantes; a mayores valores de pH mayor solubilidad de la colofonia y menor del óxido cuproso.

El **oxígeno** es un elemento de vital importancia para los organismos ya que es fundamental para llevar a cabo los procesos de intercambio gaseoso, a excepción de las bacterias anaeróbicas. Los aportes principales de oxígeno al agua son debidos a la actividad fotosintética de las algas y al intercambio con el medio aéreo por agitación y turbulencia. La cantidad de oxígeno disuelto puede variar cuando hay polución en áreas relativamente cerradas (disminuyendo la concentración) o en zonas litorales con gran abundancia de algas (aumentando la concentración). En cuanto a las pinturas “antifouling”, el oxígeno no afecta la disolución de la colofonia luego de la inmersión del sustrato pintado.

La **luz** es uno de los factores más importantes que determina la distribución vertical de los organismos. Las algas están confinadas a la zona eufótica para disponer de energía y gran parte de los animales se localizan en esta zona o cercanos a ella dado que obtienen su alimento directa o indirectamente de los vegetales. La variaciones lumínicas tanto diarias como estacionales provocan migraciones del fito y zooplancton, movilizándolo a su vez a los organismos que los secundan en la trama trófica. La luz no causa efectos directos sobre el funcionamiento de las pinturas antiincrustantes.

El **sustrato** es un factor primordial para tener en cuenta dado que los organismos incrustantes necesitan una superficie donde desarrollarse; las características de dureza, textura, composición química, color e inclinación condicionan el asentamiento de las distintas especies. Es necesario reiterar la importancia de las implicancias económicas que trae aparejado el biodeterioro sobre los sustratos artificiales sumergidos. En lo referente a las formulaciones “antifouling”, se debe tener en cuenta la preparación del sustrato a proteger (acero, aluminio, madera, fibra de vidrio, etc.) a fin de lograr una adecuada adhesión del sistema de pinturas.

Los factores abióticos mencionados no actúan en forma independiente, sino que están estrechamente interrelacionados, por ej. la fotosíntesis producida por una densa vegetación algal actúa sobre los niveles de oxígeno así como los de dióxido de carbono, afectando al pH del agua; cuando disminuye el oxígeno, aumenta el dióxido de carbono y desciende el pH, lo que provoca una rápida descomposición bacteriana. La temperatura afecta la solubilidad del oxígeno siendo su concentración mayor en aguas más frías; por otra parte altas temperaturas favorecen la evaporación modificando en consecuencia la salinidad del agua.

ACCION DEL "FOULING" SOBRE LOS OBJETOS SUMERGIDOS [25-30]

Actividad de los organismos	Efectos de la fijación
* Fijación en cascos de embarcaciones, particularmente en estadias en puertos	* Reducción de la velocidad de desplazamiento debido a la rugosidad que se genera * Incremento en el consumo de combustible * Deterioro de la película protectora * Inicio de procesos de corrosión * Mayor frecuencia de entradas a dique seco con consecuencias económicas: lucro cesante, alquiler de dique, limpieza del caso, reparación y/o reposición de partes deterioradas, pintura y mano de obra
* Fijación en equipos de sonar	* Reducción de la sensibilidad y transmisión del sonido * Disminución de la efectividad del sonar al aumentar los ruidos por cavitación. Las medidas de emisión y recepción de señales con transductores sumergidos "incrustados" muestran una reducción de sensibilidad axial entre 0 y 10 dB en el intervalo de frecuencias de 1 a 20 KHz
* Fijación en sistemas de cañerías en plantas desalinizadoras; sistemas de refrigeración en plantas de energía eléctrica, etc.	* Reducción del diámetro interior de cañerías y por ende del flujo de agua; los organismos que se despegan (caparazones de mejillones) bloquean el flujo de agua en válvulas y en sectores donde la cañería se estrecha
* Fijación externa y/o en sistemas de filtrado en estructuras "off-shore" y en sistemas OTEC (Ocean Thermal Energy Conversion)	* El peso de los organismos del "fouling" puede afectar la flotabilidad y estabilidad de las estructuras, acelerar los procesos de corrosión, etc. * Obstrucción de los sistemas de enfriamiento y/o filtrado con la consecuente interrupción del funcionamiento de los equipos
* Superficies metálicas	* Debajo de caparazones de cirripedios muertos se produce corrosión por picado debido a la formación de celdas de concentración de oxígeno. Otras condiciones favorables para la corrosión son las generadas por productos metabólicos, particularmente óxidos y sulfuros. Las bacterias sulfato reductoras promueven la corrosión anaeróbica.
* Recubrimientos protectores	* El "fouling" daña los recubrimientos en varias formas; por ej. cuando por cualquier razón, el caparazón de un cirripedio pierde su adherencia al recubrimiento, la pintura base también puede reducir su adherencia al sustrato debilitada por la acción de los productos metabólicos en el lugar de fijación; los filosos bordes de los caparazones penetran en el recubrimiento a medida que los animales crecen exponiendo, eventualmente, la superficie metálica base (ver pág. 125). Las pinturas son deterioradas también por las bacterias del agua de mar que atacan a componentes del ligante.
* Superficies plásticas y de vidrio	* Ventanas de estructuras sumergidas y lentes de cámaras comienzan a bloquearse y requieren frecuente limpieza.

METODOLOGIA PARA EL ESTUDIO DEL “FOULING”

Ensayos en balsa experimental

Para realizar los estudios del “fouling” tanto desde el punto de vista biológico como de su control, es necesario contar con sustratos artificiales adecuadamente preparados (superficies inertes y con rugosidad suficiente para facilitar la fijación, superficies pintadas con formulaciones conocidas, etc.), realizar una adecuada programación para el desarrollo de las tareas y posibilidades de realizar inspecciones periódicas. Las balsas experimentales han sido diseñadas fundamentalmente con el fin de llevar a cabo las tareas de investigación en puertos o en aquellos lugares donde el “biofouling” es muy abundante (Fig. 2). Los períodos de estudio no deben ser inferiores a un año para poder tener un registro lo más completo posible de la comunidad incrustante y de las secuencias estacionales que puedan ocurrir. También son necesarios los ensayos a largo plazo (de dos o más años de muestreos) pues representan una herramienta eficaz para interpretar los resultados de los ensayos a corto plazo, ubicarlos dentro de un contexto y comprender la dinámica y estructura de la comunidad [31-33].

Los paneles inertes se colocan en bastidores y los mismos se disponen en las balsas experimentales en series de cuatro, se sumergen a distintas profundidades, en general desde la superficie hasta dos metros. Se llaman paneles de “línea de flotación” a los más superficiales. Esta denominación no es la más correcta dado que la balsa acompaña los movimientos de las mareas y no queda una franja que, periódicamente, se sumerge y expone al aire, tal como ocurre en los barcos durante sus operaciones de carga y descarga. Por otra parte, los tres paneles más profundos se denominan “paneles de carena”.

En general se utilizan paneles de acrílico arenados que se emplean como testigos no tóxicos para la recolección de las especies incrustantes. Se estiman la abundancia y la distribución de los organismos en función de la profundidad. Una serie de paneles se reemplaza todos los meses (paneles mensuales o de reclutamiento), con los datos obtenidos mes a mes se determinan los ciclos de fijación y tendencias de reclutamiento.

Para realizar el estudio del desarrollo de la comunidad se sumergen simultáneamente tantas series de paneles como meses dure el ensayo (por ej. para un estudio anual se sumergen doce series de paneles). Todos los meses se retira una serie de estos paneles llamados acumulativos y con los datos registrados de abundancia y distribución se establecen las etapas sucesionales de la comunidad. Si en el laboratorio se quieren observar los organismos vivos, una vez retirados los paneles inertes con los respectivos organismos adheridos se los acondiciona en cajas o en bolsas plásticas con agua de mar del lugar de muestreo y se colocan dentro de recipientes herméticos con hielo. Otro procedimiento es fijar el material en una solución de formol al 4%. Esta metodología de muestreo se diferencia de la técnica no destructiva en que en esta última, los paneles con sus organismos fijados son observados “in situ” y se vuelven a sumergir.

Paralelamente en otros bastidores de las mismas balsas experimentales, se estudia el comportamiento de distintas formulaciones antiincrustantes aplicadas sobre otros paneles. Los datos obtenidos de los paneles inertes y los pintados se comparan para determinar la eficiencia de las pinturas ensayadas.



Fig. 2.- Aspecto de la balsa experimental del CIDEPINT fondeada en la Base Naval de Puerto Belgrano.



Fig. 3.- Aspecto de una marina del Club de Motonáutica de Mar del Plata con series de paneles experimentales.

El CIDEPINT en sus balsas experimentales fondeadas en puerto Mar del Plata y en Puerto Belgrano, realizó estudios del "fouling" desde el punto de vista biológico [34-50] y de los sistemas de control por medio de pinturas. Estos últimos se complementaron con otras experiencias en servicio, tal como se realizó en Puerto Belgrano empleando para ello diversas embarcaciones de la Armada [12, 22, 24, 51-56].

Las balsas experimentales pueden ser sustituidas por otro tipo de construcciones desde las cuales puedan ser suspendidas las series de paneles, como es el caso de las marinas utilizadas para amarrar embarcaciones. El Area de Incrustaciones Biológicas del CIDEPINT utilizó para tal fin las marinas del Club de Motonáutica de Mar del Plata (Fig. 3) para realizar estudios de reclutamiento y desarrollo de la comunidad sobre series de paneles inertes, utilizando para ello cerámicos no vítreos [49]. Se comprobó que no existen diferencias significativas en la fijación ocurrida entre los paneles de acrílico arenados y los cerámicos no vítreos [50, 57].

Estudios en laboratorio

En el laboratorio cada panel se observa macro y microscópicamente, se determinan las especies, sus abundancias y distribución espacial. Con los datos de los paneles mensuales se grafican los ciclos de fijación, determinándose si son anuales o estacionales (Fig. 4). A su vez con la información obtenida de los paneles acumulativos se estudia el desarrollo de los organismos a lo largo del tiempo, el condicionamiento del sustrato para la fijación y/o alimentación de otras especies, fenómenos de epibiosis y de competencia, etc.

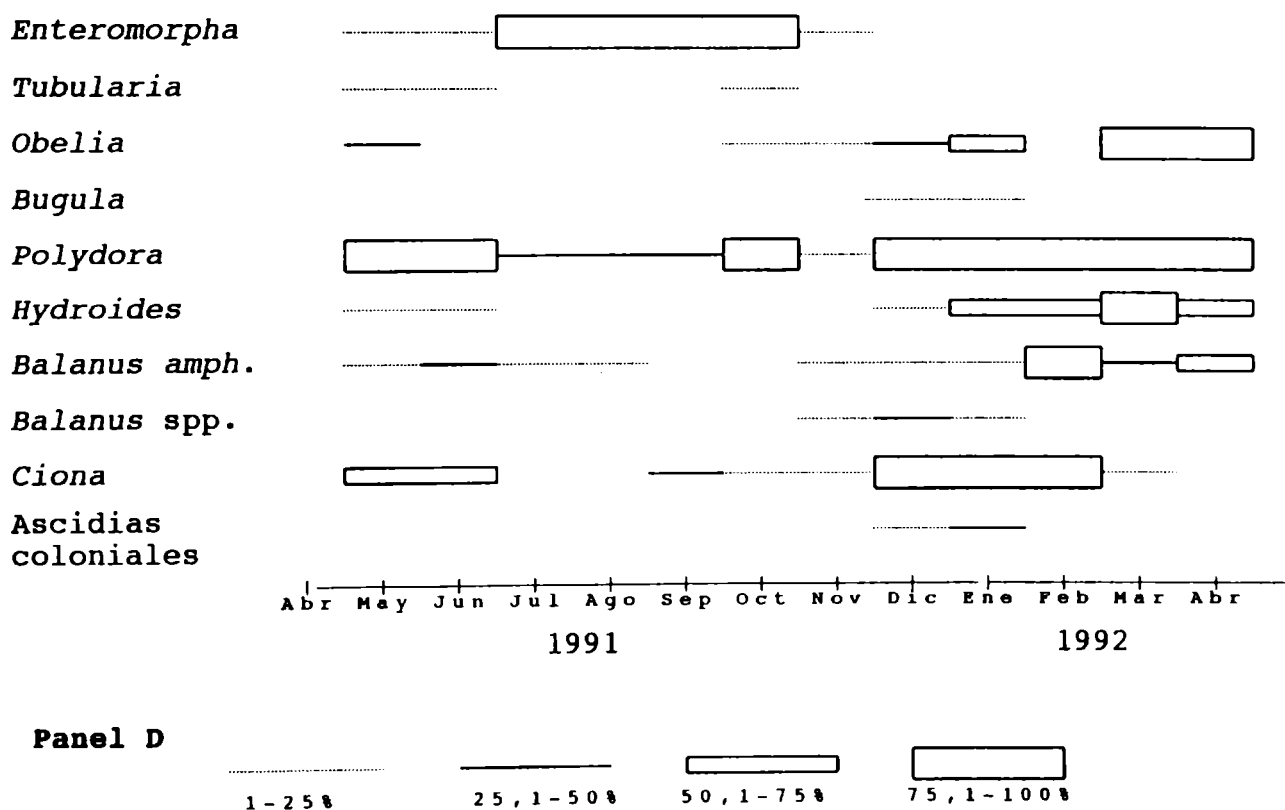


Fig. 4.- Ciclos de fijación de organismos registrados durante el período 1991-92 sobre los paneles D mensuales (puerto Mar del Plata). *Polydora* es el único que presenta un ciclo de fijación anual, los restantes con distintos períodos estacionales.

Además, con los datos registrados se pueden aplicar distintos programas de computación para hacer estudios de agrupamiento de taxones a través de análisis estadísticos en función de abundancias, profundidades, épocas del año, etc. [49, 58-71].

Los estudios de fijación sobre paneles inertes se complementan con otras experiencias en laboratorio. Se crían organismos a partir de larvas obtenidas del plancton recolectado en el lugar de muestreo. Estos cultivos se pueden realizar en agua de mar natural o artificial adecuándose la temperatura, el fotoperíodo y el alimento de acuerdo a las especies; se realizan ensayos con los distintos estadios larvales para observar los efectos que ejercen la luz, la rugosidad y naturaleza del sustrato sobre la fijación de organismos [72-89].

También se pueden realizar experiencias para observar la acción directa de distintas concentraciones de sustancias "antifouling" y evaluar a lo largo del tiempo el efecto de pinturas antiincrustantes sobre los organismos, se puede determinar paralelamente la velocidad de lixiviación del tóxico [90-95]. Asimismo se pueden realizar ensayos con sustancias antiincrustantes no tóxicas, de acuerdo con las propuestas mundiales de preservación del medio ambiente [96-106].

PRINCIPALES ORGANISMOS INCRUSTANTES

El "fouling" puede ser clasificado en dos grandes grupos, de acuerdo al tamaño de los organismos:

- "**microfouling**", que incluye bacterias, protozoos y diatomeas.
- "**macrofouling**", que incluye animales (cirripedios, serpúlidos o gusanos con tubo, hidroides, moluscos, etc.) y vegetales (algas verdes, marrones, etc.).

Se presenta una lista sistemática simplificada con los principales taxones del "fouling". La sistemática es el estudio científico de la clasificación, incluye sus bases, principios, procedimientos y reglas. Tiene por finalidad agrupar aquellos organismos que poseen atributos en común en cuanto a nivel de organización, cavidades del cuerpo, caracteres anatómo-fisiológicos, etc. Las categorías sistemáticas básicas son: Reino, Phylum (=División, para la nomenclatura botánica), Clase, Orden, Familia, Género y Especie, pudiendo a su vez realizarse agrupamientos por encima y por debajo de cada uno de los niveles, por ej. Superorden y Suborden, Superfamilia y Subfamilia, etc.

Pueden considerarse tres tipos de componentes vivos: los **productores**, **fagótrofos** y **saprótrofos** como los tres reinos funcionales de la naturaleza, ya que se basan en el tipo de nutrición y en la fuente de energía utilizados. Estas categorías ecológicas no deben confundirse con los reinos taxonómicos, pese a que existen entre ellos ciertos paralelismos. Algunas especies de organismos ocupan posiciones intermedias ya que son capaces de modificar su modo de nutrición de acuerdo con las circunstancias ambientales, existiendo controversias acerca de la ubicación sistemática de los mismos.

Sistemática

- Reino Monera
 - División Cyanobacteria
 - Clase Cyanophyta
 - División Bacteria
- Reino Protista
 - Rama Protophyta
 - División Chrysophyta
 - Clase Bacillariophyceae (diatomeas: *Achnanthes*, *Skeletonema*)
 - Rama Protozoa (*Euplotes*, *Vorticella*)
- Reino Plantae
 - División Chlorophyta (algas verdes: *Enteromorpha*, *Ulva lactuca*, *Bryopsis*)
 - División Phaeophyta (algas pardas: *Ectocarpus*)
 - División Rhodophyta (algas rojas: *Bangia*, *Ceramium*, *Polysiphonia*, *Porphyra*)
- Reino Animalia
 - Phylum Porifera (esponjas)
 - Clase Demospongiae (*Haliclona*)
 - Phylum Cnidaria
 - Clase Hydrozoa (pólipos y medusas)
 - Suborden Athecata
 - Familia Tubulariidae (*Tubularia crocea*)
 - Suborden Thecata
 - Familia Campanulariidae (*Obelia dichotoma*, *O. longissima*)
 - Clase Anthozoa (anémonas, corales)
 - Phylum Platyhelmintha (gusanos planos)
 - Phylum Nematoda (gusanos cilíndricos)
 - Phylum Annelida (gusanos segmentados)
 - Clase Polychaeta
 - Familia Spionidae (gusanos formadores de tubos arenosos: *Polydora ligni*)
 - Familia Cirratulidae (*Cirratulus cirratus*)
 - Familia Capitellidae (*Capitella capitata*)
 - Familia Polynoidae (*Halosydnella australis*)
 - Familia Syllidae (*Syllis*, *Typosyllis*)
 - Familia Serpulidae (gusanos formadores de tubos calcáreos: *Hydroides elegans*, *Ficopomatus enigmaticus*)
 - Familia Spirobranchidae (gusanos formadores de tubos calcáreos: *Spirobranchia*)
 - Phylum Mollusca
 - Clase Bivalvia
 - Familia Mytilidae (mejillón: *Mytilus edulis*, *Limnoperna fortunei*)
 - Familia Ostreidae (ostra: *Ostrea*)
 - Familia Corbiculidae (peste de agua: *Corbicula fluminea*)
 - Familia Dreissenidae (mejillón cebra: *Dreissena polymorpha*)
 - Clase Gastropoda
 - Orden Nudibranchia (*Tenellia pallida*)
 - Phylum Arthropoda
 - Clase Crustacea
 - Subclase Copepoda (*Tisbe*, *Paraltheuta minuta*)
 - Subclase Cirripedia
 - Familia Balanidae (cirripedios no pedunculados: *Balanus*)
 - Familia Lepadidae (cirripedios pedunculados: *Lepas*)
 - Subclase Malacostraca
 - Superorden Peracarida
 - Orden Isopoda (bicho bolita de mar: *Sphaeroma*)
 - Orden Amphipoda (*Corophium*)
 - Superorden Eucarida
 - Orden Decapoda (cangrejos: *Cyrtograpsus*)
 - Phylum Bryozoa (colonias arborescentes o incrustantes: *Bugula*, *Conopeum*)
 - Phylum Chordata
 - Subphylum Tunicata
 - Clase Ascidiacea (papas de mar: *Ciona intestinalis*)

En la actualidad se tiende a clasificar los organismos bajo un sistema multi-reino, pero no existe unificación de criterios, por lo que la sistemática varía de acuerdo a los autores. Debido a que la finalidad del presente trabajo no es realizar una revisión sistemática, se optó por presentar una clasificación en la forma más sencilla que permita al lector ubicarse rápidamente en la escala zoológica o botánica (ver pág. 107).

En esta revisión se detallan algunas de las características biológicas de los organismos sedentarios citados, haciéndose referencia a la presencia en el puerto Mar del Plata [34-37, 39, 42-43, 45-49] y en Puerto Belgrano [38-41, 44, 48]. También se hacen comentarios sobre grupos de hábitos errantes cuya importancia radica en el rol que cumplen en el flujo de materia y energía dentro de las comunidades incrustantes.

“Film” primario

El desarrollo de una comunidad de organismos incrustantes sobre una superficie sumergida, es un proceso secuencial iniciado con la adsorción de material disuelto que da origen a la formación de la **película condicionante** que modifica las propiedades originales del sustrato [21, 107-110]. Continúa con la formación de un **“film” primario**, llamado también **“film” inicial, biopelícula** o **“microfouling”** [111-112]. Este “film” está compuesto por una intrincada asociación de microorganismos, sus productos de secreción, partículas de materia orgánica e inorgánica, detritos, areniscas y limo. Entre los organismos predominantes están las bacterias y las diatomeas, que producen abundante material mucilaginoso [6, 113], protozoos, dinoflagelados, hongos y esporas de algas [114-116].

La colonización es un proceso selectivo. La primera colonización bacteriana en medio marino, produce grandes cantidades de ácidos polisacáridos y puede proporcionar una superficie aprovechable para la subsiguiente colonización microbiana [117-118]. Los primeros organismos que llegan al sustrato son pequeñas bacterias en forma de bastón de menos de 0,8 μm de longitud, que se asientan durante las primeras horas de inmersión. En las siguientes 6-8 horas lo hacen formas de mayor tamaño (cocoidales, espiraladas), pertenecientes a los géneros *Pseudomonas*, *Achromobacter*, *Flavobacterium*. Al cabo de 24 horas de exposición se encuentran bacterias pediceladas y en forma de capullo, tales como *Caulobacter* e *Hyphomicrobium*, así como las primeras diatomeas y protozoos [111, 119].

La capacidad de colonización de los organismos del "fouling" fue claramente demostrada por Zobell [120], quien sumergió en el mar una placa no tóxica de una pulgada cuadrada y contó el número de organismos adheridos después de 24, 48 y 96 horas. Después de 24 horas, la población de bacterias fue de alrededor de 2.000.000, alcanzando alrededor de 78.000.000 después de 96 horas. Las diatomeas contadas incrementaron de 940 a más de 8.000 en el mismo período. Para los protozoos, larvas de cirripedios y otros organismos notó un incremento similar [1].

Las **diatomeas** son organismos unicelulares microscópicos de filiación vegetal que pueden vivir aisladas o en colonias, suspendidas en el agua (diatomeas planctónicas: *Skeletonema costatum*) o fijadas a sustratos sumergidos (diatomeas bentónicas: *Achnanthes longipes*), aunque por procesos de sedimentación es factible encontrar especies del plancton formando parte de las comunidades incrustantes (Fig. 5). En el caso de las diatomeas sésiles los sistemas adhesivos tienen morfologías variadas compuestos por polisacáridos ácidos

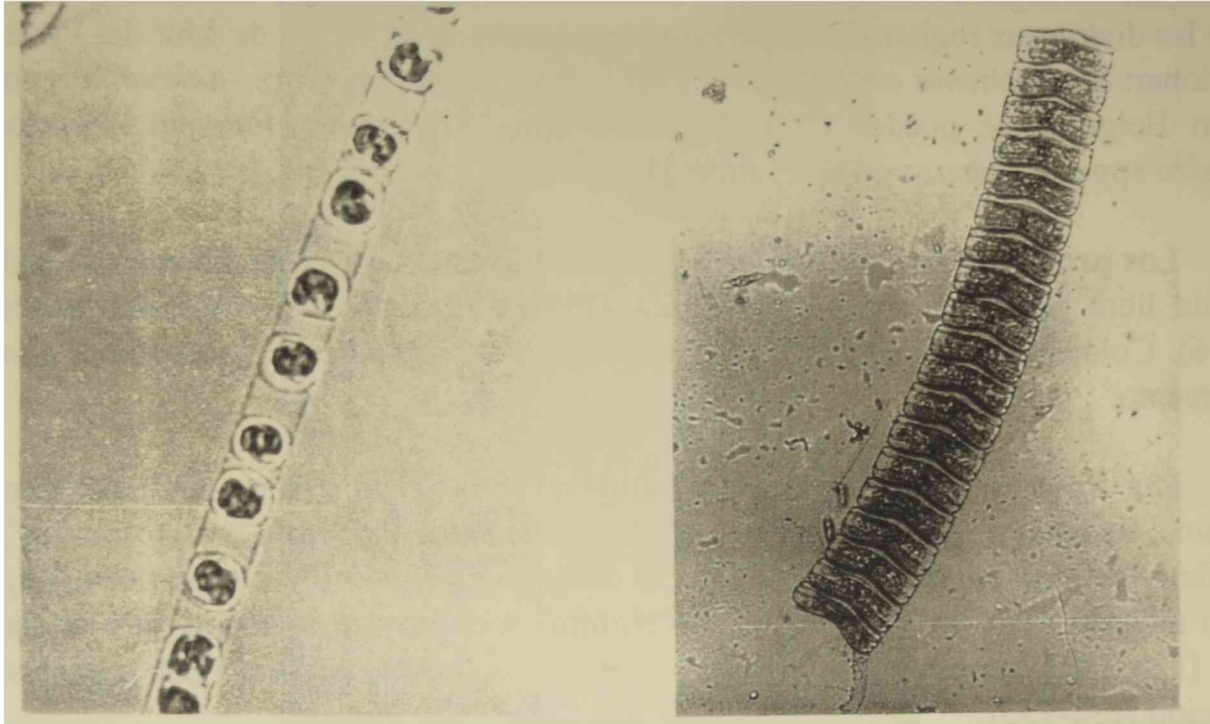


Fig. 5.- a) *Skeletonema costatum* (400 x), diatomea plactónica, células unidas por apéndices filiformes, formando cadenas largas y rectas; b) *Achnanthes longipes* (250 x), diatomea bentónica, células dispuestas en cadenas acintadas, adheridas a un sustrato por un pedicelo mucilaginoso.

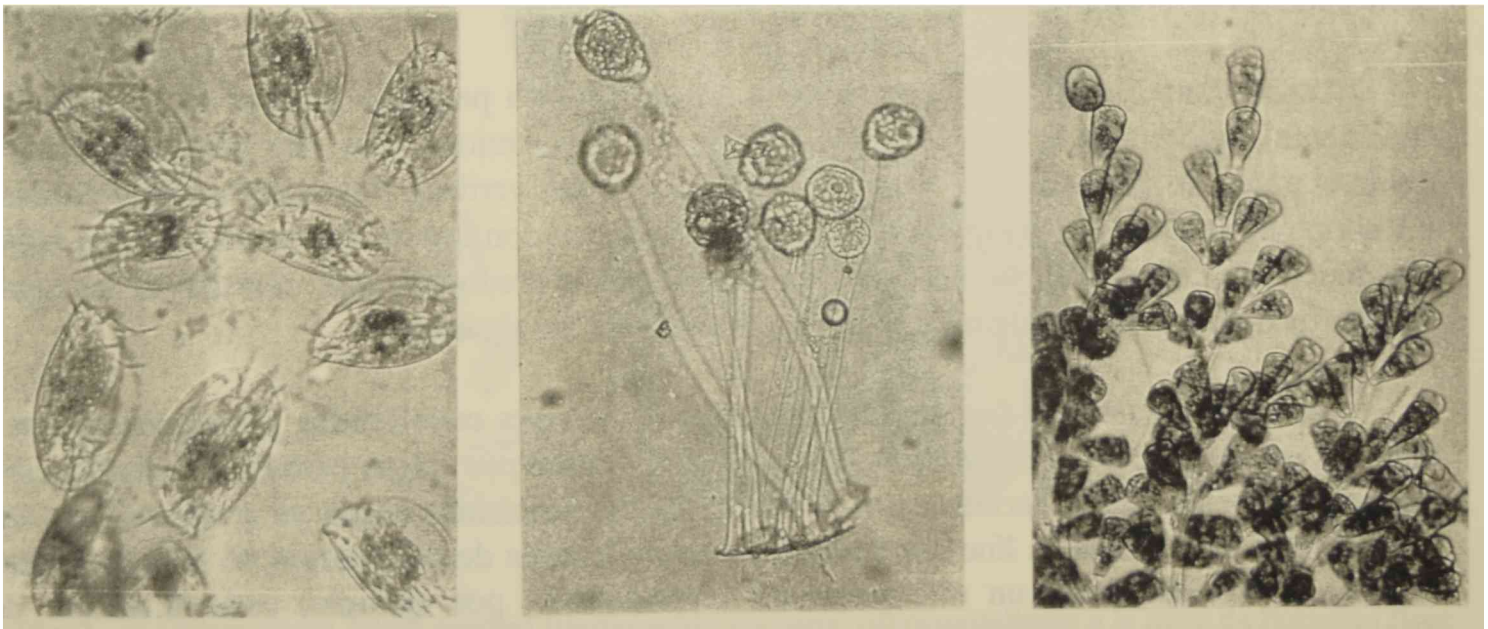


Fig. 6.- Protozoos ciliados. a) *Euplotes* (250 x), protozoos solitarios de vida libre; b) *Vorticella* (120 x), protozoos solitarios sésiles; c) *Zoothamnium* (100 x), protozoos coloniales sésiles.

mucilaginosos. Cada diatomea es una célula encerrada en un frústulo silíceo formado por dos partes o tecas que encajan perfectamente entre sí (similar a una caja de Petri), de estructuras simples u ornamentadas. En general, los estudios taxonómicos se basan en la observación, a nivel de microscopía electrónica, de las ornamentaciones y relieves característicos de las tecas. Entre las diatomeas registradas en mayor abundancia en el puerto de Mar del Plata se pueden mencionar: *Skeletonema costatum*, *Melosira* spp., *Licmophora* sp., *Achnanthes longipes*, en Puerto Belgrano se pueden citar: *Nitzschia* spp., *Achnanthes longipes*, *Pleurosigma* sp., *Melosira* spp., *Synedra* spp., entre otras [121].

Los protozoos son organismos unicelulares microscópicos de filiación animal, solitarios de vida libre (*Euplotes*), sésiles solitarios (*Vorticella*) o sésiles coloniales (*Zoothamnium*) (Fig. 6). Colonizan los sustratos sumergidos luego de las bacterias y diatomeas que les sirven de alimento.

Las especies de bacterias que constituyen la biopelícula y el grado de envejecimiento de la misma, influyen en la fijación y desarrollo de los organismos del “macrofouling”, pudiendo modificar las condiciones físicas y químicas del sustrato y la tensión superficial [15, 122-127]. Según algunos autores la presencia del “biofilm” sería un prerequisite para el asentamiento larval [128-131], mientras que otros sostienen que no es condición necesaria pero sí facilitaría la fijación [132-135].

Debido a la gran diversidad de organismos involucrados, es más difícil alcanzar un control completo del “film” primario que el de cualquier otra forma del “fouling”.

Algas [136]

Las algas marinas juegan un rol importante en el “fouling”, particularmente sobre sustratos artificiales sumergidos en aguas someras donde la luz es suficiente para que lleven a cabo sus funciones fotosintéticas, por ello es común encontrar distintas especies de algas en la parte superior de sustratos fijos y flotantes.

Aunque hay diversos phyla de algas marinas, sólo un pequeño número de especies se consideran importantes desde el punto de vista del biodeterioro. Los tres phyla principales desde el punto de vista económico son: Chlorophyta (algas verdes), Phaeophyta (algas pardas) y Rhodophyta (algas rojas) (Fig. 7). Los nombres vulgares con que se denominan a estas algas responden a la coloración que les confieren los pigmentos predominantes: clorofila en las algas verdes, fucoxantina en las algas pardas y ficoeritrinas en las algas rojas.

Las algas en general forman característicos cinturones constituidos principalmente por distintas especies de *Enteromorpha* (algas verdes) y *Ectocarpus* (algas pardas), de distribución cosmopolita. Son particularmente tolerantes al estrés ambiental como se evidencia en sus abundancias en la inestable línea de flotación y sobre la zona de salpicadura de las estructuras flotantes. Además tienen un alto potencial reproductivo, por ejemplo, cada filamento de *Enteromorpha* es capaz de producir cien millones de células reproductoras. Como consecuencia del carácter intermareal de su ambiente natural, tienen la capacidad de soportar condiciones extremas de temperatura, salinidad y desecación, también tienen otras características que contribuyen a su éxito dentro del “fouling”, tales como la capacidad para adherirse y crecer rápidamente sobre las superficies.

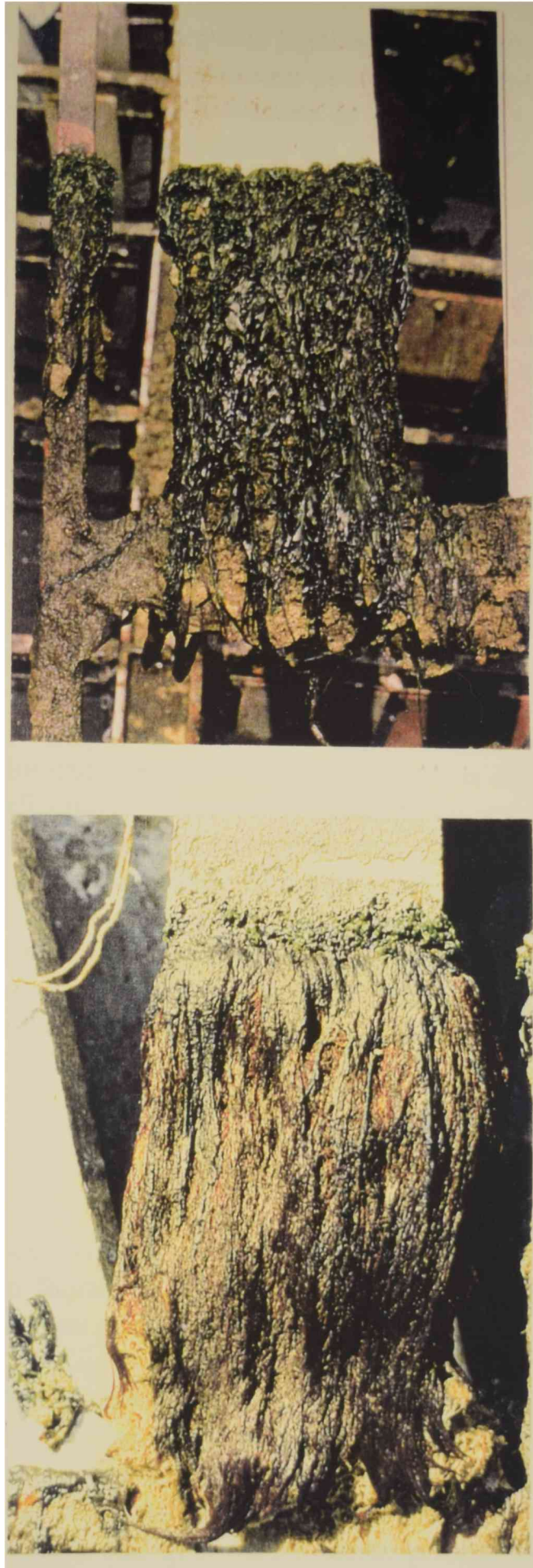


Fig. 7.- a) Chlorophyta (algas verdes) fijadas sobre un panel correspondiente a la línea de flotación (tres meses de inmersión); b) Rodophyta (algas rojas) fijadas sobre un panel correspondiente a la línea de flotación (ocho meses de inmersión).

Aunque la propagación vegetativa puede jugar un rol exitoso en la dispersión de muchas algas marinas, indudablemente el mecanismo predominante por el cual se alcanza la colonización de nuevos sustratos es a través de la liberación y asentamiento de estadios reproductivos por esporas móviles (flageladas). En la mayoría de las algas, el asentamiento inicial es seguido rápidamente por un proceso de adhesión activo que involucra la secreción de un material adhesivo entre la membrana que reviste la espora y el sustrato. Estudios de microscopía electrónica de varias esporas algales han demostrado que este material adhesivo se produce por pequeñas vesículas subcelulares del aparato de Golgi durante los últimos estadios de diferenciación de las esporas. En el caso de la clorofita *Enteromorpha*, la sustancia producida es un mucopolisacárido consistente en proteínas y carbohidratos [137-138]. Las esporas recientemente adheridas son muy vulnerables al ataque de predadores tales como bacterias o a la acción tóxica de compuestos “antifouling” dado que están rodeadas sólo por una membrana simple y delgada. Sin embargo, luego de unos minutos la pared comienza a desarrollarse alrededor de las células y luego de 4 horas alcanza un grosor sustancial. De este modo, en un corto período se logra una considerable protección física y química, que impide remover con facilidad la zoospora una vez que se ha adherido a una superficie. Aunque es extremadamente difícil medir cuantitativamente la fuerza de la adhesión entre las zoosporas y el sustrato, ha sido posible obtener información a diferentes tiempos luego del asentamiento usando chorros de agua estandarizados, este método demuestra que la adhesión de las esporas al vidrio mejora rápidamente durante las primeras horas luego del asentamiento, presumiblemente debido a los cambios físicos que ocurren por la descarga del adhesivo [139]. Luego que las esporas se adhieren a la superficie, comienza un período de rápido crecimiento que generalmente comprende la producción inicial de una capa protectora externa de idéntica composición que la pared celular. El proceso de germinación continúa con la formación de un sistema de anclaje eficiente que asegura el futuro desarrollo del talo. Esto es realizado por células rizoidales especializadas, incoloras, que otorgan fuerzas de adhesión. Estos rizoides se producen en forma continua para soportar el incremento de tamaño del sistema erecto. A medida que emergen de la base, toman un aspecto compacto para formar la característica estructura de sostén (“holdfast”). Juntamente con el proceso de establecer un sistema de anclaje eficiente, ocurre el crecimiento y desarrollo de la porción macroscópica superior del cuerpo del talo. Los procesos de erección del talo se llevan a cabo por división de células meristemáticas.

Se ha comprobado por distintas experiencias que esporas de *Enteromorpha* pueden asentarse sobre sustratos en flujos de agua con velocidades superiores a 10 nudos, lo cual permitiría la fijación de estas algas mientras los barcos están en movimiento [140-141].

Puerto Mar del Plata. *Enteromorpha intestinalis* es la especie de clorofita que siempre ha estado presente en los paneles experimentales, variando su abundancia y distribución batimétrica de acuerdo a la transparencia del agua, pero en general prefieren las zonas más iluminadas o sea las superficiales. Existen otras clorofitas como *Bryopsis plumosa*, *Chaetomorpha* sp., *Ulva lactuca*, etc. que, cuando están presentes, se encuentran en bajas densidades.

Ectocarpus sp. (feofita: alga parda), *Bangia* sp., *Porphyra* sp., *Polysiphonia* sp. y *Ceramium* sp. (rodofitas: algas rojas), se presentan en general en bajas abundancias y con ciclos de fijación estacionales.

Puerto Belgrano. *Enteromorpha* sp. tiene, como en Mar del Plata, un ciclo de fijación anual, colonizando los distintos niveles con picos de mayor reclutamiento en los meses más cálidos. Otras clorofitas que aparecen en muy bajas densidades son: *Bryopsis plumosa*, *Chaetomorpha* sp. y *Ulothrix* sp.

Ectocarpus es la única feofita representada en bajas densidades durante todo el año.

Las rodofitas *Bangia* sp., *Ceramium* sp., *Griffithsia* sp., *Polysiphonia* sp. y *Porphyra* sp. se encuentran en bajas abundancias y con períodos de colonización breves.

Poríferos (esponjas) [142]

Las esponjas forman un importante grupo de animales bentónicos que se hallan distribuidos en todas las profundidades y latitudes. Su nivel de organización corresponde al celular dependiente o integrado dado que aún no constituyen verdaderos tejidos.

La superficie de una esponja está perforada por gran número de pequeñas aberturas llamadas ostíolos o poros incurrentes (**Fig. 8**); éstos comunican con canales que se abren a una cavidad interior denominada espongiocel (más o menos desarrollada según el grado estructural de la esponja), con una abertura superior u ósculo. El agua penetra por los ostíolos y pasa al interior del espongiocel; esta cavidad está tapizada por una capa de células denominadas coanocitos provistas de un flagelo y un collar gelatinoso en su parte basal. La agitación del flagelo atrae las corrientes de agua y de esta manera atrapa las pequeñas algas y células del plancton así como el oxígeno necesario para el intercambio gaseoso. El agua termina su recorrido desde el espongiocel al exterior por medio del ósculo. Como estructuras de sostén presentan espículas que pueden ser calcáreas, silíceas o de fibras de espongina. Las formas larvales son planctónicas (anfibrástulas o parenquímulas según sean calcáreas o demospongias respectivamente). Son de difícil identificación a simple vista, siendo necesaria la observación de las espículas bajo microscopio debido a la diversidad y estructura de las mismas [143].

Puerto Mar del Plata. No se registraron esponjas en los paneles experimentales ni en sustratos naturales.

Puerto Belgrano. Se registraron especies del género *Haliclona* y *Halichondria* (Demospongiae) en bajas densidades.

Cnidarios

***Hidrozoos* [144]**

Los hidrozoos son cnidarios polimórficos, es decir que en una parte de su ciclo de vida pueden presentarse como pólipos coloniales y en otra como medusas (aguas vivas). El nivel de organización es tisular (forman verdaderos tejidos). Muchas especies presentan la particularidad de alternar una fase de reproducción asexual (representada por la forma pólipo) y una fase de reproducción sexual (representada por la forma medusa); esta alternancia de generaciones se conoce como metagénesis. Desde el punto de vista del “fouling” interesan los pólipos debido a que son los que se fijan sobre los sustratos duros, generalmente forman



Fig. 8.- Aspecto general de *Haliclona* (Demospongiae) (10 x).

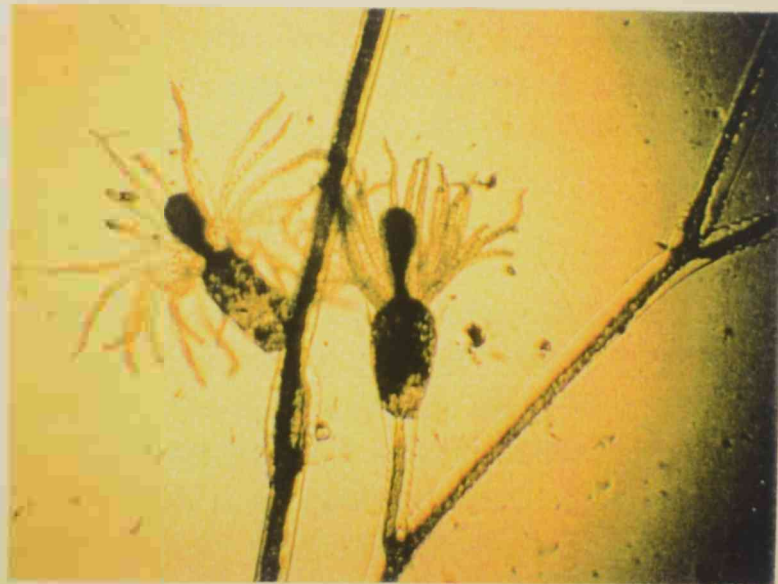


Fig. 9.- Detalle de una colonia de *Obelia* criada en laboratorio (40 x).

colonias constituidas por numerosos individuos que se especializan en distintas funciones. Por ejemplo, los gastrozoides cumplen funciones alimenticias, tienen una boca bien desarrollada y tentáculos, por otra parte, los gonozoides, tienen funciones reproductivas y pueden producir medusas por gemación. Las colonias tienen diversas formas de acuerdo a las familias o géneros, en general son filamentosas o arborescentes, se originan por un pólipo primario que se adhiere al sustrato por una hidrorriza filiforme y desarrolla nuevos pólipos (sésiles o pedicelados) por medio de reproducción asexual. Especies de las familias Tubulariidae (*Tubularia crocea*) y Campanulariidae (*Obelia dichotoma*, *O. longissima*, Fig. 9) son frecuentes en la comunidad del “fouling”, siendo en general las primeras colonizadoras sobre sustratos sumergidos.

Antozoos

Los antozoos son cnidarios polipoides en los que no se observa la forma medusa. Los pólipos pueden ser solitarios (anémonas de mar) o bien agruparse en colonias (corales).

Puerto Mar del Plata. Los cnidarios registrados sobre paneles experimentales pertenecen a la Clase Hidrozoa. En general presentan ciclos de fijación estacionales con ciertas diferencias entre los distintos períodos estudiados. En 1991-92, *Obelia longissima*, *O. dichotoma* y *Tubularia crocea* se registraron en períodos más breves que en ensayos anteriores. Con respecto a representantes de la Clase Anthozoa, puede mencionarse que fueron observadas anémonas sobre pilotes del Club de Motonáutica y sobre piedras en pozas de marea expuestas durante la bajamar.

Puerto Belgrano. Entre diciembre de 1993 y marzo de 1995, *Obelia* sp. fue la única especie de hidrozoos representada principalmente en los paneles acumulativos. En estudios previos fueron registradas *Plumularia setacea* y campanuláridos no determinados.

Anélidos

En el Phylum Annelida se considerarán principalmente aquellas especies que resultan relevantes desde el punto de vista del “fouling”, es decir aquellos poliquetos que construyen tubos arenosos o calcáreos. También se hace una breve mención de las especies que utilizan el sustrato en forma ocasional buscando alimento, refugio y/o soporte.

Poliquetos que forman tubos arenosos [145-148]

Dentro del grupo de gusanos que forman tubos arenosos, *Polydora ligni* es la especie más abundante registrada en el puerto de Mar del Plata. El primer estadio larval es libre, planctónico (trocófora), luego se alarga y segmenta hasta llegar al estadio de 15-16 segmentos (setígeros) en que la larva es bentónica y busca un sustrato donde adherirse para formar su habitáculo (Fig. 10). Por medio de la secreción de mucus y ayudado por sus palpos captura los granos de arena para construir tubos sinuosos y ramificados, en general de mayor tamaño que la longitud del gusano que lo habita, favoreciendo los fenómenos de epibiosis. En la mayor parte de los ensayos realizados en balsa se ha comprobado que se encuentran entre los primeros colonizadores de los sustratos inertes limpios. En etapas más avanzadas de desarrollo de la comunidad ofrecen sustrato secundario para el asentamiento de individuos de su misma u otras especies.

Polydora ligni además de ser una especie muy abundante dentro de la comunidad del "fouling", cumple un rol muy importante en la sucesión. Se debe considerar su estudio en particular ya que es resistente a los distintos sistemas de control [93].

Puerto Mar del Plata. Los ciclos de fijación de *Polydora ligni* generalmente fueron anuales, siendo en determinados momentos la especie dominante de la comunidad incrustante.

Puerto Belgrano. A diferencia de lo que ocurre en Mar del Plata, *Polydora ligni* fue registrada en muy bajas densidades en forma ocasional.

Poliquetos que forman tubos calcáreos [145-146, 149]

Los poliquetos *Hydroides elegans*, *Ficopomatus enigmaticus* (Serpulidae) y *Spirorbis* spp. (Spirorbidae), son gusanos que forman tubos calcáreos que se encuentran distribuidos en la mayoría de los puertos del mundo.

Los serpúlidos secretan largos tubos sinuosos al comienzo y luego se extienden casi en línea recta ya sea sobre el sustrato o en forma perpendicular al mismo (Fig. 11). Además, pueden formar verdaderos macizos que obstruyen cañerías e impiden la rotación de las hélices de las embarcaciones.

Los tubos de los spirórbidos son más pequeños enrollados en una espiral plana (Fig. 12).

Los serpúlidos y spirórbidos se alimentan de organismos microscópicos y de partículas presentes en las corrientes de agua, el filtrado se efectúa por una corona branquial formada por largos tentáculos plumosos que a su vez tienen función respiratoria. Cuando el cuerpo del animal se retrae dentro del tubo, un opérculo de naturaleza córnea o calcárea obtura el habitáculo. En la mayoría de los casos los sexos son separados y las gametas son liberadas directamente al mar donde los huevos se fecundan y se desarrollan en larvas trocóforas; a medida que crece, la larva se alarga y elige un lugar para fijarse, etapa en la cual influyen la luz, la gravedad y la naturaleza del sustrato. Una vez que se ha fijado en un sitio adecuado se metamorfosea y comienza a secretar un delicado tubo calcáreo, no pudiendo moverse del lugar seleccionado. Dos grandes glándulas ubicadas en la región anterior del animal son las encargadas de secretar carbonato de calcio.

Poliquetos que no forman tubos

Se encuentran ocasionalmente especies pertenecientes a las familias Syllidae (*Syllis*, *Typosyllis*), Polynoidae (*Halosydnella australis*), Capitellidae (*Capitella capitata*) y Cirratulidae (*Cirratulus cirratus*). Con respecto a *Capitella capitata* cabe mencionar que es un buen indicador de zonas poluidas siendo capaz de colonizar áreas donde la fauna ha sido depredada en forma natural o por el hombre [145].

Puerto Mar del Plata. *Hydroides elegans* es el serpúlido dominante fundamentalmente en los meses de verano. En el ensayo realizado en 1976-77, esta especie no fue registrada, habiendo sido reemplazada por *Mytilus platensis* (mejillón).



Fig. 10.- *Polydora ligni*. a) larva de 15-16 setígeros (250 x); b) adulto (40 x); c) adulto dentro de su tubo arenoso (40 x).



Fig. 11.- Tubos de serpúlidos adheridos a paneles de ensayo, a) vista frontal; b) vista lateral; c) Detalle (10 x).

Puerto Belgrano. Los poliquetos más abundantes son los spirórbidos, siendo dominantes en determinadas etapas de la comunidad. Los serpúlidos en cambio están presentes en muy bajas densidades.

Moluscos

Los moluscos incluyen una gran variedad de formas marinas, terrestres y de agua dulce, provistas generalmente de valvas de carbonato de calcio y conquiolina, con un cuerpo dividido en cabeza, pie y masa visceral [6]. Sólo los bivalvos con biso (*Mytilus platensis*: mejillón, *Brachydontes rodriguezi*: mejillín) y los que se adhieren al sustrato por cementado directo de una de sus valvas (*Ostrea*: ostra) son importantes dentro de la comunidad del “fouling”.

En su mayoría, los bivalvos son de sexos separados y liberan gametas al mar donde se fecundan y desarrollan primero en larvas trocóforas y luego en larvas velíger; pasada la etapa juvenil buscan un sustrato donde adherirse. Sólo unas pocas especies de ostras son hermafroditas e incuban sus huevos.

Existen familias de bivalvos sésiles con pie reducido, que se adhieren al sustrato por medio de fuertes filamentos córneos llamados bisales o del biso secretados por una glándula del pie, como por ejemplo en los mejillones. Para la formación del filamento del biso, el pie ejerce presión contra el sustrato duro, fluye una secreción glandular a lo largo del mismo y sale por su extremo endureciéndose en contacto con el agua de mar; al retirarse el pie queda por detrás un filamento completamente formado. A continuación el pie secreta otro filamento en una nueva localización, y por último el molusco queda amarrado por una masa de filamentos. La mayoría de las especies pueden desprenderse y readherirse permitiendo al individuo moverse de un lugar a otro.

Según DeVore *et al.* [150] el cemento secretado es de naturaleza proteica y la formación del adhesivo incluye la interacción de por lo menos tres secreciones exocrinas: una proteína polifenólica, una sustancia mucosa y quizás colágeno. Nanishi *et al.* [151] consideran que el cemento está compuesto principalmente por tirosina y su mecanismo de entrecruzamiento sería similar al de las quinonas.

La mayor parte de los bivalvos son alimentadores de filtro, en los cuales las branquias, además de la función respiratoria, han asumido la de atrapar partículas alimenticias.

Por lo general, este grupo para concretar su colonización necesita que la comunidad incrustante se encuentre bastante desarrollada (Fig. 13). Es por ello que sobre los paneles mensuales suelen estar poco representados, pues las condiciones que les brindan los mismos no son las óptimas requeridas por las distintas especies.

Dentro de los moluscos, además de los mencionados, existen otros representantes importantes desde el punto de vista del biodeterioro por las perforaciones o excavaciones que hacen sobre distintos sustratos. Por ejemplo, *Teredo* produce grandes daños en pilotes y cascos de barcos de madera, la galería que excava se va agrandando a medida que el animal aumenta de longitud; los adultos pueden alcanzar hasta 30 cm (Fig. 14). La actividad perforante de muchas especies como *Petricola* queda restringida a bancos de arcilla y roca blanda, otras como *Pholas* y *Barnea* son capaces de perforar cemento armado y roca

relativamente dura. *Hiatella arctica* puede destruir diques y muelles de cemento, tiene 2,5 cm de longitud y excava agujeros de unos 15 cm de profundidad. El bivalvo *Litophaga* taladra piedras calizas por medio de un proceso químico; secreta un mucus ácido que ablanda la roca a nivel del punto a excavar.

Puerto Mar del Plata. Sólo en el ensayo realizado en 1976/77 se registró la presencia de *Mytilus platensis*; esta especie colonizó los cuatro niveles de profundidad estudiados aunque con una mayor preferencia por los niveles inferiores. En determinados momentos del desarrollo de la comunidad fue una de las especies dominantes de la misma. También se suele encontrar al nudibranquio *Tenellia pallida* (molusco sin valva) sobre colonias de campanuláridos.

Puerto Belgrano. En este puerto los moluscos no han estado representados en forma significativa, sólo unos pocos ejemplares de *Brachydontes rodriguezii* fueron mencionados para los períodos 1967 y 1971-72 en los paneles acumulativos.

Artrópodos

Crustáceos

Si bien este grupo está representado por numerosas especies pertenecientes a distintas subclases, órdenes y familias, cabe mencionar que desde el punto de vista del “fouling”, los **cirripedios** [4, 6, 77, 152] y los **anfípodos** tubícolas son considerados los más relevantes.

Entre los organismos más comunes e importantes del “fouling” se encuentran los **cirripedios** que producen un deterioro importante en la película de pintura (Fig. 15). Es el único grupo sésil de crustáceos y en consecuencia uno de los más atípicos de la clase Crustacea. Los cirripedios tienen forma de cono truncado; el cuerpo del animal está rodeado por placas calcáreas (generalmente 6: rostro, carina, 2 paredes carinales y 2 paredes rostrales) apoyadas sobre una base que puede ser calcárea (Figs. 16 y 17) o membranosa. Las placas que forman la pared se superponen unas a otras, y pueden conservarse unidas por tejido vivo, por extensiones de las paredes (alas y radios) que se encastran interiormente, o por fusión parcial de las mismas. La parte superior está cubierta por un opérculo, generalmente formado por dos tergos y dos escudos sumamente móviles, unidos a las paredes laterales por medio de una membrana resistente. El cierre hermético de los tergos y escudos permite aislar el cuerpo del animal del medio ambiente, por lo que pueden resistir períodos prolongados de desecación como los producidos durante las mareas bajas. La disposición y número de las placas, así como las características de la base y del opérculo, son importantes para la identificación de las especies. La cutícula o exoesqueleto, que reviste el interior de la cavidad del manto y que cubre los apéndices, experimenta mudas periódicas como en otros artrópodos. Las placas calcáreas son secretadas por el manto subyacente y no se desprenden al producirse la ecdisis. El crecimiento de las placas depende de la adición continua de materiales a sus bordes y superficies interiores, aumentando así su espesor y diámetro. El cuerpo dentro del caparazón está flexionado hacia atrás y los apéndices están dirigidos hacia arriba; existen en forma típica seis pares de apéndices alimenticios torácicos (cirros), de los cuales deriva el nombre de Cirripedia con el que se designa esta subclase. Durante la alimentación, se abren los tergos y escudos apareados, y los cirros se desenrollan y extienden a través de la abertura. El

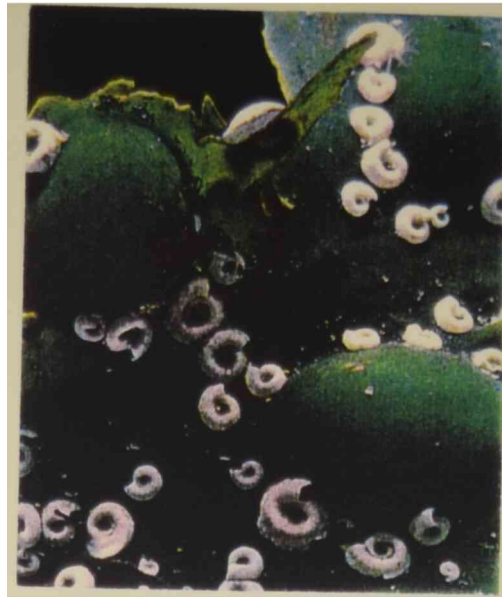


Fig. 12.- Tubos de spirórbidos (100 x).

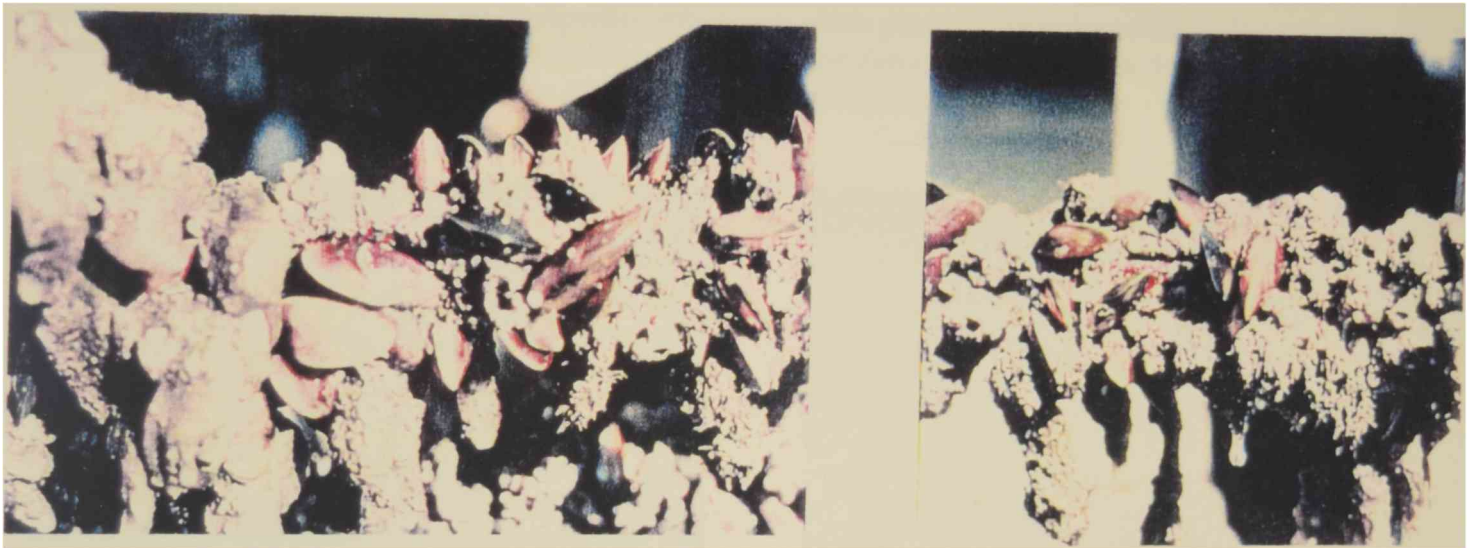


Fig. 13.- *Mytilus platensis* (mejillones).



Fig. 14.- a) Aspecto externo de un pilote de madera perforado por *Teredo*; b) aspecto interno del mismo pilote; c) esquema del molusco dentro de su habitáculo.



Fig. 15.- Aspecto de la fijación de cirripedios sobre una placa pintada: la coloración de las paredes de los caparazones evidencia el crecimiento de los organismos por debajo de la película de pintura. Se observan ascidias fijadas sobre cirripedios (epibiosis).

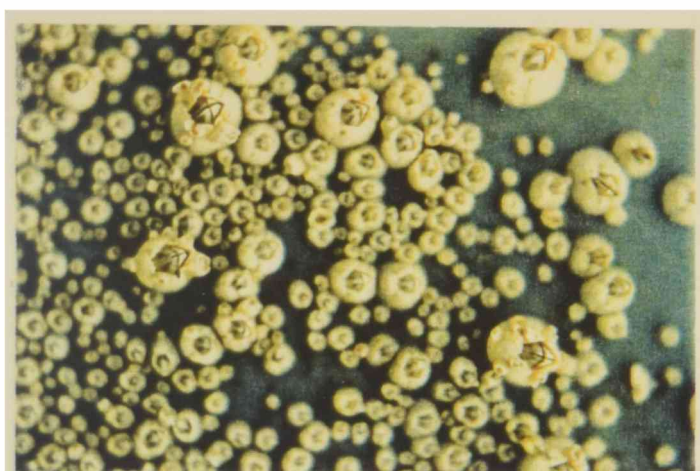


Fig. 16.- Cirripedios fijados sobre un panel testigo (1 mes de inmersión).



Fig. 17.- Bases calcáreas de cirripedios adheridas a un sustrato una vez desprendidas las paredes del caparazón.

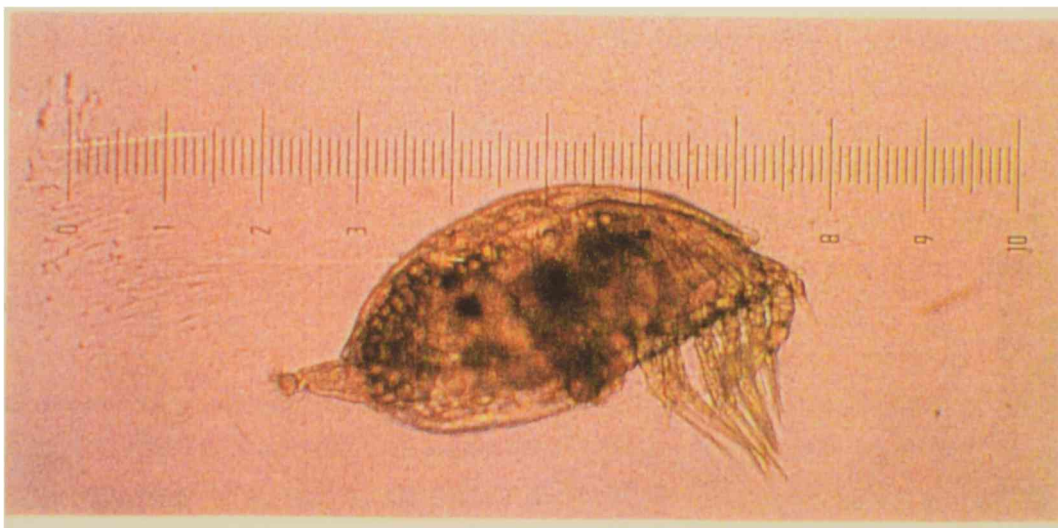
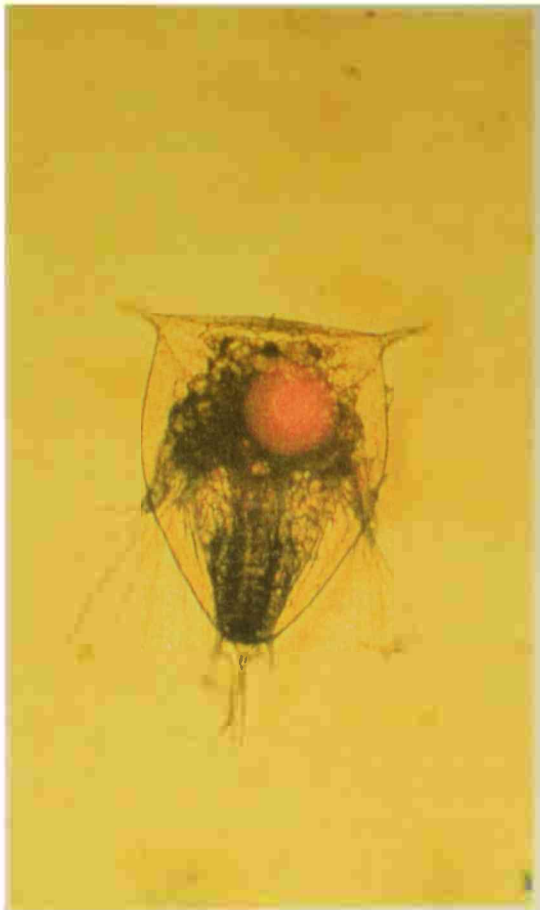


Fig. 18.- Larvas de cirripedios; a) nauplii VI (60 x); b) cypriis (100 x).

movimiento que realizan es similar al de abrir y cerrar los dos puños de las manos simultáneamente estando en contacto las bases de las palmas; la velocidad del movimiento (un ciclo de apertura y cierre) es en promedio de unas 140 veces por minuto. La mayoría de los cirripedios se alimentan de microplancton.

Los cirripedios son hermafroditas y de fertilización cruzada. Las larvas nauplii recién eclosionadas del huevo pasan por seis estadios metamórficos precedidos cada uno por una muda o ecdisis. Luego del sexto estadio naupliar se transforma en cipris (**Fig. 18**), que en principio es una larva nadadora y luego se adhiere por medio de las ventosas de succión de las anténulas y por el cemento segregado por las mismas. El primer estadio naupliar se prolonga sólo por unos pocos minutos (15-30 minutos) y el tiempo para completar el desarrollo metamórfico varía de acuerdo a las especies [153-157]. Las cipris están protegidas por dos valvas quitinosas transparentes, no se alimentan y por lo tanto son menos susceptibles a tóxicos [158].

El asentamiento inicial de los cirripedios es sólo una adhesión mecánica producida por la succión hidráulica de las copas ubicadas en el extremo de las anténulas de las cipris (7,5 dyn/cm²). Esta adhesión inicial soporta una corriente de agua de 186,4 cm/seg (=3,6 nudos); luego se refuerza por un cemento adhesivo que no es esencial para alcanzar la adhesión permanente [158-159]. Según Walker [160] la adhesión temporaria de las anténulas, cuando las cipris están buscando el lugar de asentamiento, es de 4 kg/cm²; posteriormente este valor se incrementa. El cemento primero es líquido, luego se polimeriza y endurece. Yule *et al.* [161] encontraron una secreción antenular de naturaleza proteica durante la actividad exploratoria de la larva, lo que induciría el asentamiento de otras larvas.

Una vez que la cipris se fija, comienza la metamorfosis hacia la forma adulta, se despoja de su cutícula quitinosa y secreta un caparazón de placas calcáreas, frágiles y transparentes al principio, que se ajustan unas con otras formando un cono truncado.

En los adultos, el aparato del cemento está bien desarrollado, ubicado en ambos bordes del manto, constituido por glándulas permanentes que funcionan en forma periódica, con una red de túbulos que van creciendo con el animal, llenando el espacio entre el sustrato y la base; las glándulas del cemento se mantienen en el adulto [159]. La base se cementa firmemente al sustrato por la sustancia adhesiva, aunque se estima que la resistencia a la tracción del adhesivo de un cirripedio es alrededor de 1/10 de la que proporcionan algunos productos epoxídicos comerciales [162].

Sobre la suposición de que las glándulas del cemento serían similares a las de la cutícula [163-164], muchos investigadores plantearon como hipótesis que el mecanismo de endurecimiento se debería al entrecruzamiento aromático [16, 165-168] y que el adhesivo de los cirripedios estaría compuesto por un enlace proteína-quinona-proteína. La caracterización química de la secreción del adhesivo de los cirripedios fue objeto de estudio de los últimos 20 años. Recientemente Naldrett [169] propuso que las quinonas no están presentes en el cemento y éste sería una mezcla de proteínas altamente hidrofóbicas que se unirían a través de residuos de cisteína, otorgándole resistencia a la degradación química y bacteriana.

Las investigaciones sobre el cemento no sólo se focalizan hacia el control del “fouling”, sino también hacia el desarrollo de cementos similares en dureza y resistencia al agua para uso odontológico o soldadura de huesos fracturados.

Los **anfípodos** tubícolas están representados principalmente por especies del gén. *Corophium* [6]. Los habitáculos que construyen son cortos y están constituidos fundamentalmente por limo y arena.

Entre los artrópodos también están incluidos los copépodos (*Tisbe*, *Paraltheuta minuta*), anfípodos (*Caprella* spp.), cangrejos (*Cyrtograpsus*), isópodos (*Sphaeroma*), etc. que, si bien son vágiles, juegan un rol importante en las relaciones tróficas de la comunidad incrustante.

Puerto Mar del Plata. *Balanus amphitrite* es la especie que siempre ha sido registrada. Tiene patrones de fijación estacionales, con altos picos de reclutamiento en el verano, pudiendo llegar a ser la especie dominante de la comunidad. Otra especie de cirripedio que se observa en la zona es *Balanus trigonus*; aparece fundamentalmente en verano sobre los paneles acumulativos, una vez que la comunidad ha comenzado a desarrollarse. Cuando está presente en los paneles de reclutamiento lo hace en bajas densidades y tiene ciclos de fijación muy cortos en los meses más cálidos.

En lo que respecta al anfípodo *Corophium* se ha notado, en los últimos ensayos, una disminución en la densidad de colonización.

Puerto Belgrano. *Balanus amphitrite* fue la única especie de cirripedio registrada en esta zona, tendiendo a colonizar los paneles de carena, probablemente por no tener en ellos problemas de competencia espacial con otras especies. El ciclo es marcadamente estacional durante los períodos de mayor temperatura.

En los primeros ensayos realizados en Puerto Belgrano el anfípodo *Corophium* sp. fue mencionado como epibionte de otros organismos, mientras que durante el último período ensayado los tubos estaban adheridos directamente a los paneles de acrílico.

Briozoos [170-171]

Los briozoos son animales coloniales sedentarios, arborescentes o rastreros. Las colonias exhiben una gran variedad de formas y hábitats, las cuales a simple vista pueden ser confundidas con otros organismos sedentarios tales como hidrozoos, ascidias coloniales o a menudo con algas. Pueden formar delicadas matas en las cuales los individuos están en series formando numerosas ramas. También pueden extenderse sobre el sustrato formando capas blandas o calcáreas en forma de encaje (**Fig. 19**).

Cada colonia libera larvas nadadoras planctónicas, denominadas cifonautas, las cuales seleccionan un lugar donde adherirse; posteriormente sufren una rápida transformación en zooide primario o ancéstrula. Cada individuo de la colonia, o zooide, mide aproximadamente 0,5 mm de longitud y se encuentra ubicado en un receptáculo llamado zocío.

Algunas especies son resistentes a los tóxicos de las pinturas “antifouling” y sus colonias incrustantes pueden formar núcleos para el asentamiento de otros organismos.



Fig. 19.- a) Colonia de briozoo arborescente; b) colonia de briozoo calcáreo con forma de encaje.



Fig. 20.- a) Aspecto general de la fijación de *Ciona intestinalis* (ascidia solitaria) sobre un panel acumulativo en el puerto de Mar del Plata (4 meses de inmersión); b) detalle (10 x).

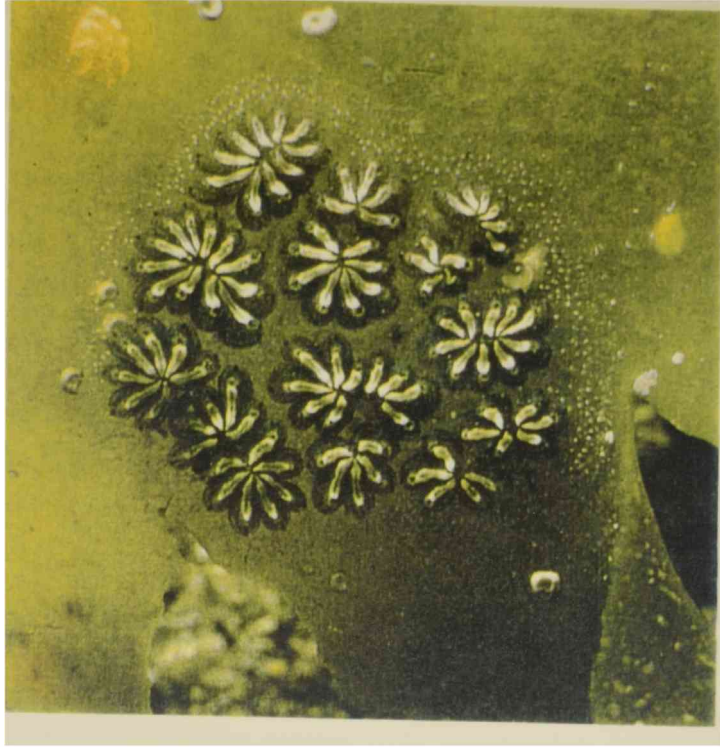


Fig. 21.- *Botryllus*: ascidia colonial (100 x).



Fig. 22.- *Dreissena polymorpha*: mejillón cebra.

Puerto Mar del Plata. El briozoo arborescente *Bugula stolonifera* es el más representativo del grupo, llegando a ser uno de los organismos dominantes durante ciertas etapas sucesionales de la misma.

Las colonias rastreras de *Bowerbankia gracilis*, en los estudios realizados en 1991-92, sólo fueron registradas sobre los paneles acumulativos. A lo largo de los años han presentado variaciones tanto en los períodos como en la densidad de colonización.

Las colonias calcáreas de *Conopeum* sp. han sido registradas siempre en muy bajas densidades por lo cual no son componentes importantes de la comunidad incrustante de la zona.

Puerto Belgrano. Los briozoos correspondientes a esta zona han sufrido cambios en los ciclos de fijación y en su densidad. *Bugula neritina* constituía uno de los organismos más representativos del “fouling” del Puerto Belgrano; su ciclo de fijación era anual con períodos de abundante fijación en los meses más cálidos. *Bugula stolonifera* se presentaba en menor densidad y con un ciclo más restringido que la especie anterior. En el último período de ensayo *B. neritina* decreció notoriamente en abundancia mostrando un ciclo similar al de *B. stolonifera*.

Las colonias incrustantes de *Conopeum* sp. y *Cryptosula pallasiana* también disminuyeron sus abundancias y acortaron sus ciclos de fijación. A pesar de ello, en el período 1993-95, estuvieron más representados que los briozoos arborescentes, formando un delicado tapiz sobre los paneles mensuales. En las etapas más avanzadas del desarrollo de la comunidad pueden competir por el espacio con otras especies, por consiguiente, las colonias pueden separarse del sustrato adoptando distintas formas erguidas o adhiriéndose sobre otros organismos (cirripedios, ascidias, spirórbidos).

Cordados

Ascidias [172]

Las ascidias son animales marinos sésiles, de hábitos filtradores, que pueden vivir en forma solitaria o colonial. Una de sus principales características es la presencia de una túnica de naturaleza química semejante a la celulosa. Habitan desde aguas costeras hasta grandes profundidades, siempre adheridas a sustratos duros.

La estructura esencial de una ascidia solitaria, como *Ciona intestinalis*, está constituida por un cuerpo adherido por su base, con un sifón inhalante y otro exhalante en el extremo opuesto libre (Fig. 20). Son hermafroditas y sus huevos son liberados al mar donde se fertilizan y desarrollan en larvas “renacuajo” de menos de 1 mm de longitud, nadan durante unas horas, pierden su extremo caudal, se fijan y metamorfosean en adultos [173].

En el caso de las ascidias coloniales los zooides están embebidos en una túnica común (Fig. 21) o bien permanecen como individuos unidos por estolones basales. Poseen un sifón inhalante individual y comparten el sifón exhalante. Los huevos fertilizados permanecen retenidos en la colonia y liberan las larvas en el momento que las mismas pueden nadar.

Puerto Mar del Plata. *Ciona intestinalis*, vulgarmente llamada ‘papa de mar’, ha presentado variaciones en su ciclo de fijación, pero siempre ha sido una de las especies dominantes, jugando un rol muy importante en el desarrollo de la comunidad. Se registraron además pocas ascidias coloniales (no determinadas) sobre los paneles de reclutamiento.

Puerto Belgrano. Durante el período 1993-95, las ascidias solitarias *Ciona intestinalis* y *Molgula* sp. presentaron ciclos de fijación breves y en bajas densidades, en ensayos anteriores sólo fue registrada *C. intestinalis*. En los paneles acumulativos *C. intestinalis* fue la especie dominante de la comunidad en desarrollo a partir del noveno mes de inmersión. *Botryllus* spp. y otras ascidias coloniales no determinadas fueron observadas en los paneles de reclutamiento, pero fueron más conspicuas en estados avanzados del desarrollo de la comunidad.

Otros grupos

Aunque es común encontrar dentro del “fouling” gusanos planos (Phylum Platyhelmintha) o cilíndricos (Phylum Nematoda) de vida libre, no se han encontrado registros bibliográficos sobre los mismos. Cabe señalar que los estudios sistemáticos de estos grupos están referidos a aquellas formas de vida parásita.

“FOULING” DULCEACUÍCOLA

Aunque en la mayoría de los casos el "biofouling" dulceacuícola no presenta las características de agresividad del medio marino, el aumento de la navegación en los ríos por buques de ultramar y los efectos de las construcciones realizadas por el hombre (diques, represas, embalses, etc.) imponen la necesidad de continuar efectuando relevamientos de las comunidades incrustantes en puntos económicamente importantes [174] a fin de verificar si es necesario emplear sistemas de control.

Existen en particular dos especies, *Corbicula fluminea* (Bivalvia, Corbiculidae) y *Dreissena polymorpha* (Bivalvia, Dreissenidae), que ocasionan graves problemas en distintos ambientes lóticos y lénticos del mundo [175]. Luego de la última glaciación del Cuaternario en que *Dreissena polymorpha* (Fig. 22) había quedado confinada a los mares Negro y Caspio, comienza su propagación hacia Inglaterra y Suecia. A través del curso de los ríos Volga, Dnieper y afluentes, pero fundamentalmente por el Danubio, *Dreissena* llegó al centro de Europa y, en la primera mitad del siglo pasado, ya se habían encontrado ejemplares en los ríos de Bélgica, Alemania, Dinamarca, y Holanda; en la segunda mitad, en Francia y más tarde en Suiza. En Italia se registró por primera vez en el lago de Garda, adherida al casco de una embarcación; su expansión fue tan rápida que actualmente “tapiza” los sustratos rocosos y detríticos. El éxito de su invasión se debe fundamentalmente a que mantuvo dos características típicas de los moluscos marinos: la larva velíger y la presencia de un biso. La presencia de una larva de tipo planctónico, es decir, capaz de ser transportada decenas de kilómetros por las corrientes, favorece la dispersión de *Dreissena* que, de este modo, puede fijarse en sitios alejados de su lugar de origen. Desde el lago de Garda se expandió hacia el sistema fluvial del río Po y colonizó los diques artificiales de la región. El éxito de su invasión se debió también a que pasó a ocupar un nicho ecológico prácticamente vacío ya que, excepto una pocas esponjas, no existen otros filtradores sobre sustratos duros en las aguas dulces.

La magnitud de los inconvenientes generados por la rápida colonización de estos moluscos en América del Norte, llevó a la organización de congresos y simposios dedicados exclusivamente a la actualización de los avances de las investigaciones en el campo de la biología, ecología, impacto sobre los ecosistemas, técnicas de monitoreo y alternativas de control [176-183].

La introducción de *Dreissena* y *Corbicula* se debió fundamentalmente al traslado de sus larvas en los lastres de los buques cargueros que, procedentes de Europa y Asia, llegaron a América (antropocoria inadvertida). La rápida maduración sexual, alta tasa reproductiva y adaptabilidad de estos organismos, permite su dispersión a través de los cursos de agua dulce y la colonización de distintos sustratos duros. Esta situación acarrea graves inconvenientes desde el punto de vista mecánico, porque pueden dificultar la apertura y cierre de compuertas de diques, obstruir cañerías en las tomas de agua de plantas potabilizadoras y canales de riego, y también en sistemas de enfriamiento industriales, plantas nucleares y usinas termoeléctricas. Además deben ser considerados desde el punto de vista sanitario, ya que afectan la calidad del agua de consumo por alteración de su sabor. En el aspecto comercial pueden afectar la industria de la extracción de arena y grava (por ejemplo, *Corbicula* causó el cierre de doce compañías areneras ubicadas sobre los ríos Cumberland y Tennessee [184] y, en el caso de los buques, es necesario el retiro de servicio para su limpieza en dique seco. Por otra parte, debido a sus hábitos filtradores, reducen el alimento disponible de larvas y adultos de peces de importancia económica. Desde el punto de vista biológico, la presencia de estos bivalvos también es altamente desfavorable ya que compiten por el alimento y espacio con las especies autóctonas desplazándolas y ocupando su nicho ecológico.

En virtud del incremento de los intercambios comerciales, han ocurrido fenómenos parecidos en Estados Unidos con el bivalvo *Corbula manilensis* (Bivalvia, Sphaerioidea), de origen chino, en Calcuta con *Modiolus striatulus* (Bivalvia, Mytilidae) y en Hong Kong con *Limnoperna fortunei* (Bivalvia, Mytilidae). Esta última especie ha sido registrada también en el litoral argentino del Río de la Plata en septiembre de 1991 en el Balneario Bagliardi (34° 55'S- 55° 49'W), dispersándose rápidamente hasta el arroyo Miguelín y Boca Cerrada (34° 48'S- 57° 59'W). *L. fortunei* junto con *Corbicula fluminea* y *C. largillierti* (también de origen asiático, citadas por primera vez en 1979) son las tres especies invasoras en aguas del Río de la Plata. *C. fluminea* ha sido registrada también hasta la desembocadura del brazo del Paraná de las Palmas (34° 19'S- 58° 30'W) y zonas de influencia del río Uruguay) [185-189].

Resulta fundamental estar alerta acerca de la necesidad de realizar muestreos periódicos, a fin de conocer la distribución de especies invasoras perjudiciales que puedan ingresar con los barcos que traen productos de importación.

CONSIDERACIONES FINALES

La gran diversidad de organismos que integran las comunidades incrustantes de los distintos mares y ríos del mundo impone la necesidad de realizar estudios teniendo en cuenta la mayor cantidad de variables posibles a fin de lograr un conocimiento global del problema. Los factores que influyen en el asentamiento y fijación de los organismos son, fundamentalmente, el grado de penetración de la luz, las variaciones del pH y la temperatura, la naturaleza química del sustrato, la tensión superficial y la competencia intra e interespecífica. Un aspecto sumamente importante es también el grado de urbanización que provoca un progresivo

incremento de la concentración de contaminantes que, no pudiendo incorporarse a los ciclos biogeoquímicos en forma natural, terminan deteriorando la calidad de las aguas ya sea por alteración de su transparencia, por elevación del tenor de iones tóxicos o, como en el caso de los detergentes, por disminución del intercambio de oxígeno con el medio aéreo.

Los factores anteriormente mencionados pueden producir variaciones anuales e inclusive entre las diferentes estaciones las cuales son observables a nivel de las poblaciones vegetales y animales. Todo esto justifica la necesidad de realizar estudios a corto plazo y continuar con las investigaciones sobre este tema, a fin de obtener información detallada de las tendencias de reclutamiento que, con el tiempo, permiten lograr un conocimiento más acabado del desarrollo de la comunidad. Este tipo de estudios integrados con ensayos a largo plazo ayudan a comprender la dinámica y estructura de las comunidades.

El conocimiento de la biología larval a través de muestreos de plancton *in situ* o bien por cultivo en laboratorio a partir de formas adultas, permite comprobar las preferencias de asentamiento en la etapa de fijación; de este modo es factible determinar predilecciones por sustratos limpios, o sustratos con organismos ya adheridos o bien por sustratos “impregnados” con extractos de los mismos. El comportamiento de las larvas y adultos del “fouling” en el medio marino es motivo de estudio en distintas latitudes, ya que es necesario contar con un patrón de referencia que permita estimar el efecto de los tóxicos incorporados a las pinturas utilizadas para su control. En general, se ha recurrido a los metales pesados para proteger las distintas estructuras sumergidas en el mar, pero la creciente preocupación por los efectos perjudiciales sobre la salud humana y el medio ambiente llevaron a restringir e incluso, en algunos casos, a prohibir su utilización. En la actualidad, la tendencia a nivel mundial es controlar las incrustaciones biológicas por medio de métodos alternativos; el desarrollo de esquemas “antifouling” novedosos por utilización de sustancias naturales o artificiales no tóxicas comprende muchos pasos, desde la etapa experimental a nivel de laboratorio hasta su potencial impacto en el medio ambiente.

Es un objetivo a nivel mundial integrar los resultados de la investigación científica y tecnológica al sistema de producción, con el fin de contribuir al desarrollo económico y social para obtener una mejor calidad de vida. Para ello, es necesario fortalecer la transferencia de tecnología entre el sector de la investigación, el sector de la producción y el de los usuarios. En lo que respecta al “fouling”, para lograr un efectivo control preservando a la vez el medio ambiente, es imprescindible realizar un trabajo interdisciplinario con la participación de biólogos, bioquímicos, ecotoxicólogos, químicos e ingenieros conjuntamente con la industria.

GLOSARIO

Algas. Plantas acuáticas, marinas o de agua dulce, fotosintetizantes. El cuerpo de la planta puede ser uni o multicelular. La clasificación sistemática se basa en la estructura, pigmentos, composición química de la pared celular, etc.

Ancéstrula. Primer zooide de una colonia de briozoos. Surge a partir de una larva producida sexualmente que luego se fija y metamorfosea; de ella se origina el resto de la colonia por reproducción asexual y su aspecto es, por lo general, diferente al de un zooide adulto siendo característico de cada especie.

Animales coloniales. Tipo de animales organizados en una asociación (*colonia) de individuos.

Bentónicos. Organismos que viven en o sobre el fondo.

Biso. Conjunto de filamentos córneos secretados por una glándula del pie por los cuales los Mytilidae (mejillones) se fijan a los sustratos duros.

Branquia. Estructura respiratoria característica de animales acuáticos.

Colonia. Grupo de individuos interconectados anatómica y funcionalmente.

Cutícula. Capa no celular que recubre a un animal o a una planta, segregada por la epidermis. La presentan la mayor parte de los invertebrados y está constituida principalmente por una proteína similar al colágeno o por *quitina. En los artrópodos tiene bastante consistencia para actuar como exoesqueleto. En los crustáceos está impregnada por sales cálcicas.

Ecdisis. Muda. En los artrópodos, cambio periódico de la *cutícula.

Epibiosis. Fenómeno por medio del cual un organismo utiliza a otro organismo como sustrato.

Espículas. Estructuras en forma de aguja u otras formas, de carbonato de calcio, material silíceo o córneo, que le brindan sostén al cuerpo de la mayoría de las esponjas.

Espongina. Material córneo fibroso flexible, similar al colágeno, que forma el esqueleto de varias demosponjas.

Eufótica. Zona de los estratos más superiores del agua que recibe luz suficiente para realizarse la fotosíntesis.

Fagótrofos. Organismos que se alimentan a expensas de materia orgánica ya formada. Consumidores primarios o herbívoros, consumidores secundarios o carnívoros.

Frústulo. Membrana silificada que constituye el caparazón de una diatomea y se compone de dos tecas, las cuales encajan una en otra por sus bordes, como una caja y su respectiva tapa.

Gemación. Reproducción asexual en la que una pequeña parte de un organismo desarrolla otros individuos u otras partes equivalentes de una colonia.

Hermafroditas. Organismos que producen gametas femeninas y masculinas.

Hidrorriza. Parte reptante de una colonia de hidrozooos, adherida al sustrato.

Larva. Forma preadulta en que salen del huevo algunos animales, capaz de alimentarse por sí misma aunque en general de una manera diferente a la del adulto. Se convierte en adulto mediante un proceso de metamorfosis.

Medusas. Cnidarios pelágicos con forma de sombrilla, vulgarmente denominados “aguas vivas”.

Metagénesis. Ciclo reproductivo con alternancia de generaciones sexual y asexual, como en muchos hidrozooos.

Metamorfosis. Sucesión de etapas, generalmente muy distintas, que componen el desarrollo de un animal, especialmente en lo que se refiere a invertebrados y vertebrados inferiores. Período de transformación del estado de *larva a la forma adulta.

Pez. Sustancia resinosa, sólida, de color pardo amarillento, lustrosa y quebradiza, que se obtiene vertiendo en agua fría el residuo que deja la trementina después de extraer el aguarrás.

Planctónicos. Organismos acuáticos flotantes; algunos pueden poseer movilidad pero su traslado se debe al movimiento del agua. En general son de tamaño pequeño.

Pólipos. Individuos bentónicos, solitarios o coloniales, representan la fase asexual del ciclo de vida muchos cnidarios. En los antozoos, que sólo tienen la forma pólipo, presentan las fases sexual y asexual.

Productores. Organismos que sintetizan materia orgánica a partir de sustratos inorgánicos: autótrofos (por ej. plantas).

Quitina. Polímero de la glucosamina sintetizada por muchos animales; forma una sustancia estable como una cubierta externa en artrópodos, impregnada de sales calcáreas, puede constituir un esqueleto firme y rígido.

Reclutamiento. Conjunto de organismos recién asentados sobre un sustrato.

Sésiles. Dícese de los organismos fijados sobre un sustrato: sedentarios.

Saprótrofos. Organismos que obtienen materia orgánica en disolución de los tejidos muertos o en descomposición de las plantas o animales (saprofíticos o saprozoicos, respectivamente), por ej. bacterias y hongos.

Sistemática. Término que con frecuencia se usa como sinónimo de *taxonomía, otras veces se interpreta en un sentido más amplio y abarca también la identificación, clasificación y nomenclatura de los organismos.

Taxón. Término general para un grupo taxonómico de cualquier categoría.

Taxonomía. Estudio de la clasificación de los organismos según sus semejanzas y diferencias.

Teca. Cada una de las dos piezas silíceas que forman la cubierta de la célula de una diatomea, comparables a la tapa y al fondo de una caja de Petri.

BIBLIOGRAFÍA

- [1] Sghibartz, C. M. "Antifouling paints - Today and tomorrow". Proc. 6th Int. Congr. Mar. Corr. Foul., Marine Biology, Athens, Greece, 399-413 (1984).
- [2] Evans, L. V., Hoagland, K. D. (eds.) "Algal biofouling". Studies in Environmental Science 28, Elsevier, VII-IX (1986).
- [3] Darwin, Ch. "A monograph on the sub-class Cirripedia, with figures of all the species. The Lepadidae; or, Pedunculated Cirripedes". Ray Society, London, 410 pp. (1851).
- [4] Darwin, Ch. "A monograph on the sub-class Cirripedia, with figures of all the species. The Balanidae, (or Sessile Cirripedes); The Verrucidae, etc.". Ray Society, London, 712 pp. (1854).
- [5] Caillet-Bois, T. "Historia Naval Argentina". Escuela Naval Militar, Río Santiago, 552 pp. (1944).
- [6] Woods Hole Oceanographic Institution. "Marine fouling and its prevention". United States Naval Institute, Annapolis, Maryland, 368 pp. (1952).
- [7] Destefani, L. H. "Famosos veleros argentinos". Centro Naval, Instituto de Publicaciones Navales, 213 pp. (1967).
- [8] Dick, R. J. "Antifouling coatings. Man versus marine fouling". Paint and Varnish Production, 35-40 (1970).
- [9] Pischky, H. "To the history of antifouling protection and the development of antifouling paint until now". Antifouling-Symposium, CIBA-GEIGY Marienberg GMBH, 1-7 (1971).
- [10] "El mar". Gran Enciclopedia Salvat, Salvat S.A. de Ediciones, Pamplona, 10 tomos (1975).
- [11] Marks, R. L. "Tres hombres a bordo del Beagle". J. Vergara (de.), Buenos Aires, 217 pp. (1994).
- [12] Rascio, V. "Antifouling protection by paints". Proc. Argentine-USA Workshop on Biodeterioration (CONICET-NSF). Published by AQUATEC Química S.A., Sao Paulo, Brasil, 259-278 (1985).
- [13] Murphey, P. V., Michel, P., Guelorget, O., Latour, M. "Piezoelectric polymer hull vibrators for fouling prevention". Proc. 5th Int. Congr. Mar. Corr. Foul., Biología Marina, Barcelona, España, 293- 298 (1980).
- [14] Branscomb, E. S., Rittschof, D.E. "An investigation of low frequency sound waves as a means of inhibiting barnacle settlement." J. Exp. Mar. Biol. Ecol., 79(2), 149-154 (1984).

- [15] Fletcher, R. L., Baier, R. E., Fornalik, M. S. "The influence of surface energy on spore development in some common marine fouling algae". Proc. 6th Int. Congr. Mar. Corr. Foul., Marine Biology, Athens, Greece, 129-144 (1984).
- [16] Lindner, E., Dooley, C., Doeff, M. "Adhesion of barnacles and development of non-toxic antifoulants". Preprint 7th Int. Congr. Mar. Corr. Foul., Biología Marina, Valencia, España, 16 pp. (1988).
- [17] Safriel, U., Erez, N. "Effect of limpets on the fouling of ships in the Mediterranean". Mar. Biol., 95, 531-537 (1991).
- [18] Safriel, U., Erez, N., Keasar, T. "How do limpets maintain barnacle-free submerged artificial surfaces?". Bull. Mar. Sci., 54 (1), 17-23 (1994).
- [19] Shkedy, Y., Safriel, U., Keasar, T. "Life-history of *Balanus amphitrite* and *Chthamalus stellatus* recruited to settlement panels in the Mediterranean coast of Israel". Israel Journal of Zoology, 41, 147-161 (1995).
- [20] Goupil, D. W., DePalma, V. A., Baier, R. E. "Physical/chemical characteristics of the macromolecular condition film in biological fouling". Proc. 5th Int. Congr. Mar. Corr. Foul., Biología Marina, Barcelona, España, 401-410 (1980).
- [21] Stupak, M. E., Pérez, M. C., Di Sarli, A. "Relación entre la fijación de micro y macro 'fouling' y los procesos de corrosión de estructuras metálicas". Rev. Iberoam. Corr. Prot. XXI (6), 219-225 (1990).
- [22] Rascio, V., Bruzzoni, W. O., Bastida, R., Rozados, E. "Protección de superficies metálicas". Serie III - Manuales Científicos, Nº 1, LEMIT, 454 pp. (1977).
- [23] Kinne, O.(ed.) "Marine ecology. A comprehensive, integrated treatise on life in oceans and coastal waters. Vol I. Environmental factors". Part 1, John Wiley & Sons, 681 pp. (1978).
- [24] Rascio, V., Giúdice, C. A., del Amo, B. "Research and development on soluble matrix antifouling paints to be use on ships, offshore platforms and power stations. A review". Corrosion Reviews, VIII (1-2), 89-153 (1988).
- [25] Muraoka, J. S. "Effects of marine organisms". Machine Design, January 18, 184-187 (1968).
- [26] Pipe, A. "The fouling of fixed structures". Marine fouling, OYEZ International Business Communications, London, 7 pp. (1979).
- [27] Thorhaug, A., Marcus, J. "Macrofouling problems associated with Ocean Thermal Energy Conversion (OTEC) units". Proc. 5th Int. Congr. Mar. Corr. Foul., Biología Marina, Barcelona, España, 225-230 (1980).

- [28] Edyvean, R. G., Terry, L. A., Picken, G. B. "Marine fouling and its effects on offshore structures in the North Sea. A review". *International Biodeterioration*, 21 (4), 277-284 (1985).
- [29] Terry, L. A., Picken, G. B. "Algal fouling in the North Sea". En: 'Algal biofouling' (Evans, L V, Hoagland, K. D., eds.). *Studies in Environmental Science* 28, Elsevier, 179-192 (1986).
- [30] Santhakumaran, L. N. "The problems of marine fouling. A partial overview". *Proc. of the Specialists' Meetings on Marine Biodeterioration with reference to Power Plant Cooling Systems*, IGCAR, Kalpakkam, 26-28 April 1989, (Nair, K. V. K., Venugopalan, V. P., eds.), 19-34 (1990).
- [31] Ardisson, P. L., Bourget, E. "Large-scale ecological patterns: discontinuous distribution of marine benthic epifauna". *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, 83, 15-34 (1992).
- [32] Lively, C. M., Raimondi, P. T., Delph, L. F. "Intertidal community structure: space-time interactions in the northern Gulf of California". *Ecology*, 74 (1), 162-173 (1993).
- [33] Southward, A. J. "The importance of long time-series in understanding the variability of natural systems". *Helg. wiss. Meer.*, 49, 329-333 (1995).
- [34] Bastida, R. "Preliminary notes of the marine fouling at the port of Mar del Plata (Argentina)". *Proc. 2nd Int. Congr. Mar. Corr. Foul.*, Athens, Greece, 557-562 (1968).
- [35] Bastida, R. "Las incrustaciones biológicas en el puerto de Mar del Plata, período 1966/67 (primera parte). Estudio sobre paneles mensuales". *LEMITE Serie II*, 1-68 (1968).
- [36] Bastida, R. "Las incrustaciones biológicas en el puerto de Mar del Plata, período 1966/67 (segunda parte). Estudio sobre paneles acumulativos". *LEMITE-Anales*, (4), 1-60 (1969).
- [37] Bastida, R. "Las incrustaciones biológicas de las costas argentinas. La fijación anual en el puerto de Mar del Plata durante tres años consecutivos". *Corrosión y Protección*, 2 (1), 21-37 (1971).
- [38] Bastida, R., Torti, M. R. "Estudio preliminar de las incrustaciones biológicas de Puerto Belgrano". *LEMITE-Anales*, (3), 45-75 (1971).
- [39] Bastida R. "Studies of the fouling communities along argentine coasts". *Proc. 3rd Int. Congr. Mar. Corr. Foul.*, National Bureau of Standards, Gaithersburg, Maryland, USA, 847-864 (1972).
- [40] Bastida, R., Spivak, E., L'Hoste, S., Adabbo, H. "Las incrustaciones biológicas de Puerto Belgrano. I. Estudio de la fijación sobre paneles mensuales, período 1971/72". *LEMITE-Anales* (3), 97-165 (1974).

- [41] Bastida, R., Spivak, E., L'Hoste, S., Adabbo, H. "Las incrustaciones biológicas de Puerto Belgrano. II. Estudio de los procesos de epibiosis registrados sobre paneles mensuales". LEMIT-Anales (3), 167-195 (1974).
- [42] Bastida, R., L'Hoste, S. "Trophic relations of the fouling communities at the port of Mar del Plata". LEMIT-Anales, 159-203 (1976).
- [43] Bastida, R., Adabbo, H. "Fijación de "fouling" en el puerto de Mar del Plata, período 1969/70". Corrosión y Protección, 8 (5), 1-14 (1977).
- [44] Bastida, R., Bastida, V. L. de, "Las incrustaciones biológicas de Puerto Belgrano. III. Estudio de los procesos de epibiosis registrados sobre paneles acumulativos". CIDEPINT-Anales, 54-97 (1978).
- [45] Bastida, R., Mandri, M. T. de, Bastida, V. L. de, Stupak, M. "Ecological aspects of the marine fouling at the Port of Mar del Plata, Argentina, during the period 1973/74". Proc. 5th Int. Congr. Mar. Corr. Foul., Biología Marina, Barcelona, España, 299-320 (1980).
- [46] Stupak, M. E., Bastida, R., Arias, P. J. "Las incrustaciones biológicas del puerto de Mar del Plata (Argentina). Período 1976/77". CIDEPINT-Anales, 173-231 (1980).
- [47] Stupak, M. E. "Acción de pinturas tipo matriz soluble sobre los componentes vegetales y animales del fouling". CIDEPINT-Anales, 261-309 (1982).
- [48] Stupak, M. E. "Studies of fouling of Argentine coasts". Proc. Argentine-USA Workshop on Biodeterioration (CONICET-NSF). Published by AQUATEC Química S.A., Sao Paulo, Brasil, 239-258 (1985).
- [49] Pezzani, S., Pérez, M., Stupak, M. "Macrofouling community at Mar del Plata harbor during a one-year period (1991-1992)". Corrosion Reviews, Special Issue on Industrial Paints for Corrosion Control, 14 (1-2), 73-86 (1996).
- [50] Pérez, M. C., García, M. T., Stupak, M. E. "Estudio del 'fouling' sobre balsa experimental en Puerto Belgrano. Diciembre 1993 a marzo 1995". Inédito.
- [51] Rascio, V., Giúdice, C. A., Benítez, J. C., Presta, M. A. "Comportamiento de pinturas antiincrustantes en servicio y balsa experimental". Rev. Iberoam. de Corrosión y Protección, 11 (2), 23-52 (1980).
- [52] Rascio, V. "Pinturas antiincrustantes". Manual ECOMAR de corrosión y protección, SENID, 93-101 (1981).
- [53] Rascio, V., Giúdice, C. A., Benítez, J. C., Presta, M. A. "Preliminary ships' trials of chlorinated rubber antifouling paints". CIDEPINT-Anales, 58-73 (1981).
- [54] Giúdice, C. A., Benítez, J. C., Rascio, V. "Influence of the use of chlorinated rubber on the anticorrosive properties of paints for ships' hulls". J. Oil Col. Chem. Assoc., 65(4), 148-165 (1982).

- [55] Giúdice, C. A., Benítez, J. C., Rascio, V. "Prevención del 'fouling' en carenas de embarcaciones con pinturas antiincrustantes a base de colofonia y caucho clorado". *Rev. Iberoam. de Corrosión y Protección*, 15 (1), 16-20 (1984).
- [56] Rascio, V., Giúdice, C. A., del Amo, B. "High build soluble matrix antifouling paints tested on raft and on ship bottom". *Progress in Organic Coatings*, 18 (4), 389-398 (1990).
- [57] Capitoli, R. R. "Sequência temporal de colonização e desenvolvimento da comunidade incrustante na região mixohalina da lagos dos Patos; RS, Brasil". Tesis, Universidade do Rio Grande, 99 pp.(1983).
- [58] Sutherland, J. P., Karlson, R. H. "Succession and seasonal progression in the fouling community at Beaufort, North Carolina". *Proc. 3rd Int. Congr. Mar. Corr. Foul.*, National Bureau of Standards, Gaithersburg, Maryland, USA, 906-929 (1972).
- [59] Levin, S. A., Paine, R. T. "Disturbance, patch formation, and community structure". *Proc. Nat. Acad. Sci. (USA)*, 71, 2744-2747 (1974).
- [60] Menge, B. A., Sutherland, J. P. "Species diversity gradients: synthesis of the roles of predation, competition and temporal heterogeneity". *Am. Nat.*, 110, 351-369 (1976).
- [61] Karlson, R. "Predation and space utilization patterns in a marine epifaunal community". *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.*, 31, 225-239 (1978).
- [62] Menge, B. A. "Predation intensity in a rocky intertidal community. Relation between predator foraging activity and environmental harshness". *Oecologia (Berlin)*, 34, 1-16 (1978).
- [63] Sousa, W. P. "The responses of the community to disturbance: the importance of successional age and species' life histories". *Oecologia (Berlin)*, 45, 72-81 (1980).
- [64] Ayling, A. M. "The role of biological disturbance in temperate subtidal encrusting communities". *Ecology*, 62 (3), 830-847 (1981).
- [65] Sutherland, J. P. "The fouling community at Beaufort, North Carolina: a study in stability". *Am. Nat.*, 118 (4), 499-519 (1981).
- [66] Chalmer, P. N. "Settlement patterns of species in a marine fouling community and some mechanisms of succession". *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.*, 58 (1), 73-85 (1982).
- [67] Field, B. "Structural analysis of fouling community development in the Damariscotta river estuary, Maine". *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.*, 57 (1), 25-33 (1982).
- [68] Greene, C. H., Schoener, A. "Succession on marine hard substrata: a fixed lottery". *Oecologia (Berlin)*, 55, 289-297 (1982).

- [69] Otsuka, C. M., Dauer, D. M. "Fouling community dynamics in Lynnhaven Bay, Virginia". *Estuaries*, 5 (1), 10-22 (1982).
- [70] Greene, C. H., Schoener, A. "Multivariate analysis of three-dimensional data in the study of succession in marine fouling communities". *Proc. 6th Int. Congr. Mar. Corr. Foul., Marine Biology, Athens, Greece*, 221-235 (1984).
- [71] Possingham, H. P., Roughgarden, J. "Spatial population dynamics of a marine organism with a complex life cycle". *Ecology*, 71 (3), 973-985 (1990).
- [72] Costlow, J. D. Jr., Bookhout, C. "Larval development of *Balanus amphitrite* var. *denticulata* Broch reared in the laboratory". *Biol. Bull. Mar. Biol. Lab.*, 114 (3), 284-295 (1958).
- [73] Barnes, H., Barnes, M. "In vitro development of cirripede eggs". *Vidensk. Medd. fra Dansk naturh. Foren.*, bd. 125, 93-100 (1963).
- [74] Freiburger, A., Cologer, C. "Rearing barnacles in the laboratory." *Naval Research Reviews*, 18 (10), 8-13 (1965).
- [75] Edwards, P., Baalen, Ch. "An apparatus for the culture of benthic marine algae under varying regimes of temperature and light-intensity". *Bot. Mar.*, XII, 42-43 (1970).
- [76] Jebram, D. "Preliminary experiments with Bryozoa in a simple apparatus for producing continuous water currents". *Helg. wiss. Meer.*, 20, 278-292 (1970).
- [77] Forbes, L., Seward, M., Crisp, D. J. "Orientation to light and the shading response in barnacles". 4th European Marine Biol. Symposium. (Crisp, D. J., ed.), Cambridge, 539-558 (1971).
- [78] Guillard, R. "Culture of phytoplankton for feeding marine invertebrates". *Coll. Rep. Woods Hole Ocean. Inst.*, 1 (3233), 29-60 (1975).
- [79] Denley, E. J., Underwood, A. J. "Experiments on factors influencing settlement, survival, and growth of two species of barnacles in New South Wales". *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.*, 36, 269-293 (1978).
- [80] Hanisak, M. "Growth patterns of *Codium fragile* ssp. *tomentosoides* in response to temperature, irradiance, salinity, and nitrogen source". *Mar. Biol.*, 50, 319-332 (1979).
- [81] Jereos-Aujero, E. "Growth phases of culture algae used as larval food". *Quarterly Research Report, SEAFDE, Filipinas*, 4 (1), 15-16 (1980).
- [82] Seeliger, U., Cordazzo, C. V. "Critérios para la construção de uma sala de cultivos." *Atlântica, Rio Grande*, 4, 73-78 (1980).
- [83] Seeliger, U., Cordazzo, C. V. "Métodos de cultivo de algas marinhas bentônicas em laboratório". *Atlântica, Doc. Téc.*, (1980).

- [84] Rittschof, D. E., Branscomb, E., Costlow, D. J. "Settlement and behavior in relation to flow and surface in larval barnacles, *Balanus amphitrite* Darwin". J. Exp. Mar. Biol. Ecol., 82 (2-3) 131-146 (1984).
- [85] Stupak, M. E. "Método de concentración y conservación de *Skeletonema costatum* para la alimentación de larvas de cirripedios". CIDEPINT-Anales, 135-144 (1986).
- [86] D'Abramo, L. R., Reed, L., Heinzen, J. M. "A culture system for nutritional studies of crustaceans". Aquaculture, 72, 379-389 (1988).
- [87] Pérez, M. C., Stupak, M. E. "Influencia de luz de distintas longitudes de onda sobre la supervivencia de nauplii de *Balanus amphitrite* Darwin criadas en laboratorio". CIDEPINT-Anales, 93-105 (1988).
- [88] Stone, C. J. "A comparison of algal diets for cirripede nauplii". J. Exp. Mar. Biol. Ecol., 132, 17-40 (1989).
- [89] Stupak, M. E., Pérez, M. C. "Experiencias de cría en laboratorio de *Balanus amphitrite*". CIDEPINT-Anales, 105-118 (1990).
- [90] Kallas, D. H., Freiburger, A., Cologer, C. P. "A fundamental approach to marine fouling studies using laboratory reared organisms". Proc. 2nd Int. Congr. Mar. Corr. Foul., Athens, Greece, 609-623 (1968).
- [91] Tighe-Ford, D. J., Power, M. J. D., Vaile, D. C. "Laboratory rearing of barnacle larvae for antifouling research". Helg. wiss. Meer., 20, 393-405 (1970).
- [92] Phipps, G., Holcombe, G., Fiandt, J. "Saturator system for generating toxic water solutions for aquatic bioassays". Prog. Fish-Cult., 44 (2), 115-116 (1982).
- [93] Pérez, M. C., Stupak, M. E. "Pinturas antiincrustantes tipo matriz soluble; influencia de la relación tóxico principal/tóxico de refuerzo sobre larvas de *Balanus amphitrite* y *Polydora ligni*". CIDEPINT-Anales, 195-211 (1992).
- [94] Vetere, V. F., Pérez, M. C., Romagnoli, R., Stupak, M. E. "Chemical and biocidal properties of the cuprous thiocyanate used as antifouling pigment". CIDEPINT-Anales, 161-172 (1993).
- [95] Vetere, V. F., Pérez, M. C., Romagnoli, R., Stupak, M. E. "Solubility and toxic effects of the cuprous thiocyanate antifouling pigment on barnacle larvae" (Aceptado para su publicación en: J. C. T:).
- [96] Sieburth, J., Conover, J. T. "*Sargassum* tannin, an antibiotic which retards fouling". Nature, 208 (5005), 52-53 (1965).
- [97] Kirchman, D., Graham, S., Reisch, D., Mitchell, R. "Lectins may mediate on the settlement and metamorphosis of *Janua (Dexiospira) brasiliensis* Grube (Polychaeta: Spirorbidae)". Mar. Biol. Letters, 3, 131-142 (1982).

- [98] Mohamed, S., Ayoub, H. "TAN: a new molluscicide and algicide from the fruits of *Acacia nilotica*". J. Chem. Tech. Biotech., 32 (7), 728-734 (1982).
- [99] Standing, J. D., Hooper, I. R., Costlow, J. D. "Inhibition and induction of barnacle settlement by natural products present in octocorales". J. Chem. Ecol., 10, 823-834 (1984).
- [100] Maki, J. S., Mitchell, R. "Involvement of lectins in the settlement and metamorphosis of marine invertebrate larvae". Bull. Mar. Sci., 37 (2), 675-683 (1985).
- [101] Rittschof, D. E., Hooper, I. R., Branscomb, E., Costlow, J. D. "Inhibition of barnacle settlement and behavior by natural products from whip corals, *Leptogorgia virgulata* (Lamarck, 1815)". J. Chem. Ecology, 11 (5), 551-563 (1985).
- [102] Keifer, P. A., Reinhart, K. L., Hooper, I. R. "Renilla-fouling, antifouling diterpenes from the Sea Pansy *Renilla reniformis* (Octocorallia)". J. Org. Chem., 51 (23), 4450-4454 (1986).
- [103] Brady, R. F., Griffith, J. R., Love, K. S., Field, D. E. "Non toxic alternatives to antifouling paints". J. Coatings Technology, 59 (755), 113-119 (1987).
- [104] Goto, R., Kado, R., Muramoto, K., Kamiya, H. "Fatty acids as antifoulants in a marine sponge". Biofouling, 6, 61-68 (1992).
- [105] Willemsem, P. R., Ferrari, G. M. "The use of antifouling compounds from sponges in antifouling paints". Surface Coatings Intern., 10, 423-427 (1993).
- [106] Pérez, M., Gervasi, C., Armas, R., Stupak, M., Di Sarli, A. "The influence of cathodic currents on biofouling attachment to painted metals". Biofouling, 8, 27-34 (1994).
- [107] Zobell, C. "The effect of solid surfaces upon bacterial activity". J. Bacteriol., 46, 39-59 (1943).
- [108] Crisp, D. J. "The role of the biologist in antifouling research". Proc. 3rd Int. Congr. Mar. Corr. Foul., National Bureau of Standards, Gaithersburg, Maryland, USA, 88-93 (1972).
- [109] Neihof, R. A., Loeb, G. I. "Molecular fouling of surfaces in sea water" Proc. 3rd Int. Congr. Mar. Corr. Foul., National Bureau of Standards, Gaithersburg, Maryland, USA, 710-715 (1972).
- [110] Loeb, G. I., Neihof, R. A. "Applied chemistry to protein interfaces". (Baier, R. E., ed.), Adv. in Chem. Series 145, Amer. Chem. Soc., Washington, DC, 1-25 (1975).
- [111] Corpe, W. A. "Effect of the Ocean Environment on Microbial Activities". (Colwell, R. R. and Morita, R. Y., eds.), University Park Press, Baltimore, MD, 397-417 (1974).

- [112] Eashwar, M., Iyer, S. V. K. "Microfouling on cathodically protected mild steel in sea water". *Bull. Electrochem.*, 2 (4), 341-343 (1986).
- [113] Christie, A. D, Evans, L. V., Callow, M. "A new look at marine fouling". Part 4. *Shipping World and Shipbuilder*, 121-124 (1976).
- [114] Sechler, G. E., Gundersen, K. "Role of surface chemical composition on the microbial contribution to primary films". *Proc. 3rd Int. Congr. Mar. Corr. Foul., National Bureau of Standards, Gaithersburg, Maryland, USA*, 610-616 (1972).
- [115] Gerchakov, M. S., Marszalek, D. S., Roth, F. J., Udey, L. R. "Succession of periphytic microorganisms on metal and glass: surfaces in natural sea water". *Proc. 4th Int. Congr. Mar. Corr. Foul., Antibes, Juan-Les Pins, Francia*, 203-211 (1976).
- [116] Marszalek, D. S., Gerchakov, M. S., Udey, L. R. "Influence of substrate composition on marine microfouling". *Appl. Environ. Microbiol.*, 38 (5), 987-995 (1979).
- [117] Zobell, C., Allen, E. "The significance of marine bacteria in the fouling of submerged surfaces". *J. Bacteriol.*, 29, 239-251 (1935).
- [118] Marshall, K. C. "Water Pollution Microbiology". (Mitchell, R., ed.), John Willey & Sons, V. 2, 51-70 (1978).
- [119] Corpe, W. A. "Microfouling: the role of primary film forming marine bacteria". *Proc. 3rd Int. Congr. Mar. Corr. Foul., National Bureau of Standards, Gaithersburg, Maryland, USA*, 598-609 (1972).
- [120] Zobell, C. "Marine microbiology". *Chronica Botanica Co., Waltham, Mass.*, 194-230 (1946).
- [121] Bastida, R., Stupak, M. E. "Las diatomeas de las comunidades incrustantes del puerto de Mar del Plata. Clave para su reconocimiento". *CIDEPINT-Anales*, 91-167 (1979).
- [122] Crisp, D. J., Meadows, P. S. "The chemical basis of gregariousness in cirripedes". *Proc. Roy. Soc. London, B* 156, 500-520 (1962).
- [123] Crisp, D. J., Meadows, P. S. "Absorbed layer: the stimulus to settlement in barnacles". *Proc. Roy. Soc. London, B* 158, 364-387 (1963).
- [124] Terry, L. A., Edyvean, R. "Influences of microalgae on the corrosion of structural steel". (Lewis, J. R. and Mercer, A. D., eds.) *Corrosion and Marine Growth on Offshore Structures*. Ellis Horwood Ltd. Chichester, 38-45 (1984).
- [125] Maki, J. S., Rittschof, D., Costlow, J. D., Mitchell, R. "Inhibition of attachment of larval barnacles, *Balanus amphitrite*, by bacterial surface films". *Mar. Biol.*, 97, 199-206 (1988).

- [126] Maki, J. S., Rittschof, D., Samuelsson, M. O., Szewzyk, U., Yule, A. B., Kjelleberg, S., Costlow, J. D., Mitchell, R. "Effect of marine bacteria and their exopolymers on the attachment of barnacle cypris larvae". *Bull. Mar. Sci.*, 46 (2), 499-511 (1990).
- [127] Maki, J. S., Yule, A. B., Rittschof, D., Mitchell, R. "The effect of bacterial films on the temporary adhesion and permanent fixation of cypris larvae, *Balanus amphitrite* Darwin". *Biofouling*, 8, 121-131 (1994).
- [128] Miller, B. T. "The development of marine fouling communities". *Biol. Bull.*, 89, 103-112 (1945).
- [129] Meadows, P. S., Williams, G. B. "Settlement of *Spirorbis borealis* Daudin larvae on surfaces bearing films of micro-organisms". *Nature*, 198 (4880), 610-611 (1963).
- [130] Young, L. Y., Mitchell, R. "The role of microorganisms in marine fouling". *Int. Biodetn. Bull.*, 9 (4), 105-109 (1973).
- [131] Cook, P. A., Henschel, J. R. "The importance of a primary film of microorganisms on the subsequent establishment of a macrofouling community". *Proc. 6th Int. Congr. Mar. Corr. Foul., Marine Biology, Athens, Greece*, 211-20 (1984).
- [132] Miller, M. A., Rapean, J. C., Whedon, W. "The role of slime film in the attachment of fouling organisms". *Biol. Bull.*, 94 (2), 143-57 (1948).
- [133] Crisp, D. J., Ryland, J. S. "The influence of filming and surface texture on the settlement of marine organisms". *Nature*, 188 (4706), 119 (1960).
- [134] Barnes, H. "Adhesion in biological systems". (Mainly, R. S., ed.), Academic Press, 89-111 (1970).
- [135] Dexter, S. C., Wood, R. W. , Mihm, J. "Factors influencing microbial attachment and adhesion". *Proc. Argentine-USA Workshop on Biodeterioration (CONICET-NSF)*. Published by AQUATEC Química S.A., Sao Paulo, Brasil, 145-180 (1985).
- [136] Fletcher, R. L. "Marine fouling algae". *Catalogue of main marine fouling organisms, Algae, Vol. VI, ODEMA*, 62 pp. (1980).
- [137] Evans, L. V., Christie, A. D. "Studies on the ship-fouling alga *Enteromorpha*. I. Aspects of the fine-structure and biochemistry of swimming and newly settled zoospores". *Ann. Bot.*, 34 (135), 451-456 (1970).
- [138] Chamberlain, A. H. L. "Algal settlement and secretion of adhesives materials". *3rd Int. Biodegradation Symposium (Sharpley, J. M., Kaplan, A. M., eds.)*, 417-432 (1976).
- [139] Christie, A. D., Evans, L. V., Callow, M. "A new look at marine fouling". Part 2. *Shipping World and Shipbuilder*, 1043-1045 (1975).

- [140] Houghton, D., Pearman, I., Tierney, D. "The effect of water velocity on the settlement of swarmers of *Enteromorpha* spp.". Proc. 3rd Int. Congr. Mar. Corr. Foul., National Bureau of Standards, Gaithersburg, Maryland, USA, 682-690 (1972).
- [141] Christie, A. D, Evans, L. V. "A new look at marine fouling". Part 1. Shipping World and Shipbuilder, 953-955 (1975).
- [142] Sarà, M. "Marine sponges". Catalogue of main marine fouling organisms, Vol. V, CREO, 42 pp. (1974).
- [143] Cuartas, E. "Algunas Demospongiae (Porifera) de Mar del Plata, Argentina con descripción de *Axociella marplatensis*, sp.n.". Iheringia, Sér. Zool., Porto Alegre (73), 3-12 (1992).
- [144] Morri, C., Boero, F. "Marine fouling hydroids". Catalogue of main marine fouling organisms, Vol. VII, ODEMA, 88 pp. (1986).
- [145] Fauchald, K. "The polychaete worms. Definitions and keys to the orders, families and genera". Natural History Museum County, Science Series 28, 188 pp. (1977).
- [146] Fauvel, P. "Faune de France. 16. Polychètes sédentaires. Addenda aux Errantes, Archiannelides, Myzostomaires". Office Central de Faunistique, Kraus Reprint, Nendeln/Liechtenstein, 494 pp. (1977).
- [147] Kinne, O. "Cultivation of animals: Annelida". Marine ecology. A comprehensive, integrated treatise on life in oceans and coastal waters (Kinne, O., ed.), Vol. III: Cultivation, Part 2, John Wiley & Sons, 720-742 (1977).
- [148] Amaral, A. C., Nonato, E. F. "Anelídeos poliquetos da costa brasileira. Características e chave para famílias. Glossário". CNPq, Série Manuais de Identificação da Fauna Brasileira, Vol. 1/2, 47 pp. (1981).
- [149] "Serpules tubicoles". Catalogue des principales salissures marines, Vol. III, OCDE, 79 pp. (1967).
- [150] DeVore, D. P., Engebretson, G. H., Schachtele, C. F., Sauk, J. J. "Isolation and characterization of adhesive proteins secreted by the sea mussel, *Mytilus edulis*". Proc. 6th Int. Congr. Mar. Corr. Foul., Marine Biology, Athens, Greece, 245-258 (1984).
- [151] Nanishi, K., Murase, M., Yonehara, Y., Kishihara, M., Hiramata, T. "Surface properties of non-toxic antifouling paint film". Preprint 7th Int. Congr. Mar. Corr. Foul., Valencia, España, sección II, 10 pp. (1988).
- [152] Southward, A. J., Crisp, D. J. "Barnacles of european waters". Catalogue of main marine fouling organisms, Vol. I, OECD, 46 pp. (1963).
- [153] Pilsbry, H. A. "The sessile barnacles (Cirripedia) contained in the collections of the U. S. National Museum; including a monograph of the american species". Bull. 93, United States National Museum, 442 pp. (1916).

- [154] Bassindale, R. "The development stages of three English barnacles *Balanus balanoides* (Linn.), *Chtamalus stellatus* (Poli), and *Verruca stroemia* (O. F. Müller)". Proc. Zool. Soc. London, 106, 57-74 (1936).
- [155] Barnes, H., Barnes, M. "Egg size, nauplius size, and their variation with local, geographical, and specific factors in some common cirripedes". J. Anim. Ecol., 34, 391-402 (1965).
- [156] Freiburger, A., Cologer, C. "Rearing acorn barnacle cyprids in the laboratory for marine fouling studies". Naval Engineers Journal, 881-890 (1966).
- [157] Lacombe, D. "Criação de balanídeos em laboratório". Trab. V Congr. Latinoam. Zool., 1, 168-174 (1973).
- [158] Saroyan, J. R. "Countdown for antifouling paints". Proc. 2nd Int. Congr. Mar. Corr. Foul., Athens, Greece, 469-494 (1968).
- [159] Saroyan, J. R., Lindner, E., Dooley, C. A. "Attachment mechanism of barnacles". Proc. 2nd Int. Congr. Mar. Corr. Foul., Athens, Greece, 495-512 (1968).
- [160] Walker, G. "The adhesion of barnacles". J. Adhesion, 12, 51-58 (1981).
- [161] Yule, A. B., Walker, G. "Settlement of *Balanus balanoides*: the effect of cyprid antennular secretion". J. Mar. Biol. Ass. UK, 65, 707-712 (1985).
- [162] Walker, G., Yule, A. B. "Temporary adhesion of the barnacle cyprid: the existence of an antennular adhesive secretion". J. Mar. Biol. Ass. UK, 64, 679-686 (1984).
- [163] Yonge, C. "On the nature and permeability of chitins. I. The chitin lining the foregut of decapod crustacea and the function of the tegumental glands". Proc. Roy. Soc. London, B 111, 298-329 (1932).
- [164] Thomas, H. "Tegumental glands in the Cirripedia Thoracica". Quart. J. Micr. Sci., 84, 257-282 (1954).
- [165] Harris, J. "Report on antifouling research, 1942-1944". J. Iron Steel Inst., 154, 297-333 (1946).
- [166] Pyefinch, K. "Notes on the biology of cirripedes". J. Mar. Biol. Assoc. UK, 27, 464-503 (1948).
- [167] Crisp, D. J. "Mechanisms of adhesion of fouling organisms". Proc. 3rd Int. Congr. Mar. Corr. Foul., National Bureau of Standards, Gaithersburg, Maryland, USA, 691-709 (1972).
- [168] Lindner, E. "Experiments in synthesis of barnacle adhesive". Proc. 5th Int. Congr. Mar. Corr. Foul., Biología Marina, Barcelona, España, 189-212 (1980).

- [169] Naldrett, M. J. "The importance of sulphur cross-links and hydrophobic interactions in the polymerization of barnacle cement". *J. Mar. Biol. Ass. UK*, 73, 689-702 (1993).
- [170] Ryland, J. S. "Catalogue of main marine fouling organisms, 2, Polyzoa". Organization for Economic Co-operation and Development, París, 82 pp. (1965).
- [171] Bastida, V. L. de, Bastida, R. "Los briozoos de las comunidades incrustantes de puertos argentinos". *Proc. 5th Int. Congr. Mar. Corr. Foul., Biología Marina, Barcelona, España*, 371-390 (1980).
- [172] Millar, R. H. "Ascidians of european waters". *Catalogue of main marine fouling organisms, Vol. IV, OECD*, 34 pp. (1969).
- [173] Stoner, D. G. "Recruitment of a tropical colonial ascidian: relative importance of pre-settlement vs. post-settlement processes". *Ecology*, 71(5), 1682-1690 (1990).
- [174] García Solá, E., Mendivil, A., Leiva, A., Díaz, E. de, Báez, L., Niveyro, G. "Fluvial corrosion in the Plata River drainage basin". *Corrosion Reviews*, XII (1-2), 61-70 (1994).
- [175] Carlton, J., Geller, J. "Ecological roulette: the global transport of nonindigenous marine organisms". *Science*, 261, 78-82 (1993).
- [176] 2nd International *Corbicula* Symposium, Little Rock, AR (USA), 21-24 June 1983.
- [177] International Zebra Mussel Conference '90, Columbus, Ohio (USA), 5-7 December 1990.
- [178] 2nd International Zebra Mussel Research Conference, Rochester, NY (USA), 19-22 November 1991.
- [179] Neumann, D., Jenner, H. A. "The zebra mussel *Dreissena polymorpha*". *Limnol. Akt. Stuttgart Gustav. Fischer-Verlag*, 4, 262 pp. (1992).
- [180] 3rd International Zebra Mussel Conference '93, Toronto, ON (Canada), 23-26 February 1993.
- [181] 36th Conference of the Int. Association for Great Lakes Research, De Pere, WI (USA), 4-10 June 1993.
- [182] Nalepa, T. F., Schloesser, D. W. (eds.). "Zebra mussels biology, impacts and control". Boca Raton, Fl. USA, CRC Press (1993).
- [183] Stupak, M., Pérez, M., García, M., García Solá, E., Azuaga, A., Mendivil, A., Niveyro, G. "Preliminary study of the biofouling of the Paraná River (Argentina)". *Corrosion Reviews, Special Issue on Industrial Paints for Corrosion Control*, 14 (1-2), 145-155 (1996).

- [184] Sinclair, R. M., Isom, B. "Further studies on the introduced asiatic clam (*Corbicula*) in Tennessee". Tennessee Stream Pollution Control Board, Tennessee Dept. Publ. Health, 79 pp. (1963).
- [185] Ituarte C. "Primera noticia acerca de la introducción de pelecípodos en el área rioplatense (Mollusca, Corbiculidae)". *Neotrópica*, 27 (77), 79-82 (1981).
- [186] Darrigran, G. "Moluscos del área rioplatense. I. Aspectos biológicos. Importancia económica y sanitaria". *Anales de la Sociedad Científica Argentina*, 219, 15-35 (1989).
- [187] Darrigran, G. "Variación temporal y espacial de la distribución de las especies de *Corbicula* Megerle, 1811 (Bivalvia, Corbiculidae), en el estuario del Río de la Plata, República Argentina". *Neotrópica*, 38 (99), 59-63 (1992).
- [188] Darrigran, G., Pastorino, G., Martín, S., Lunaschi, L. "Reciente introducción de otro bivalvo invasor en aguas del Río de la Plata". *Resúmenes XVI Reunión Argentina de Ecología*, Pto. Madryn, Chubut, Argentina, 328 (1993).
- [189] Pastorino, G., Darrigran, G., Martín, S., Lunaschi, L. "*Limnoperna fortunei* (Dunker, 1857) (Mytilidae), nuevo bivalvo invasor en aguas del Río de la Plata". *Neotrópica*, 39 (101-102), 34 (1993).

AGRADECIMIENTOS

Las autoras agradecen al Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET) y a la Comisión de Investigaciones Científicas de la Provincia de Buenos Aires (CIC) por el apoyo financiero brindado para llevar a cabo el presente trabajo. Asimismo expresan su agradecimiento a la Srta. Mónica García y al Dr. Vicente Rascio por la lectura crítica del manuscrito.