

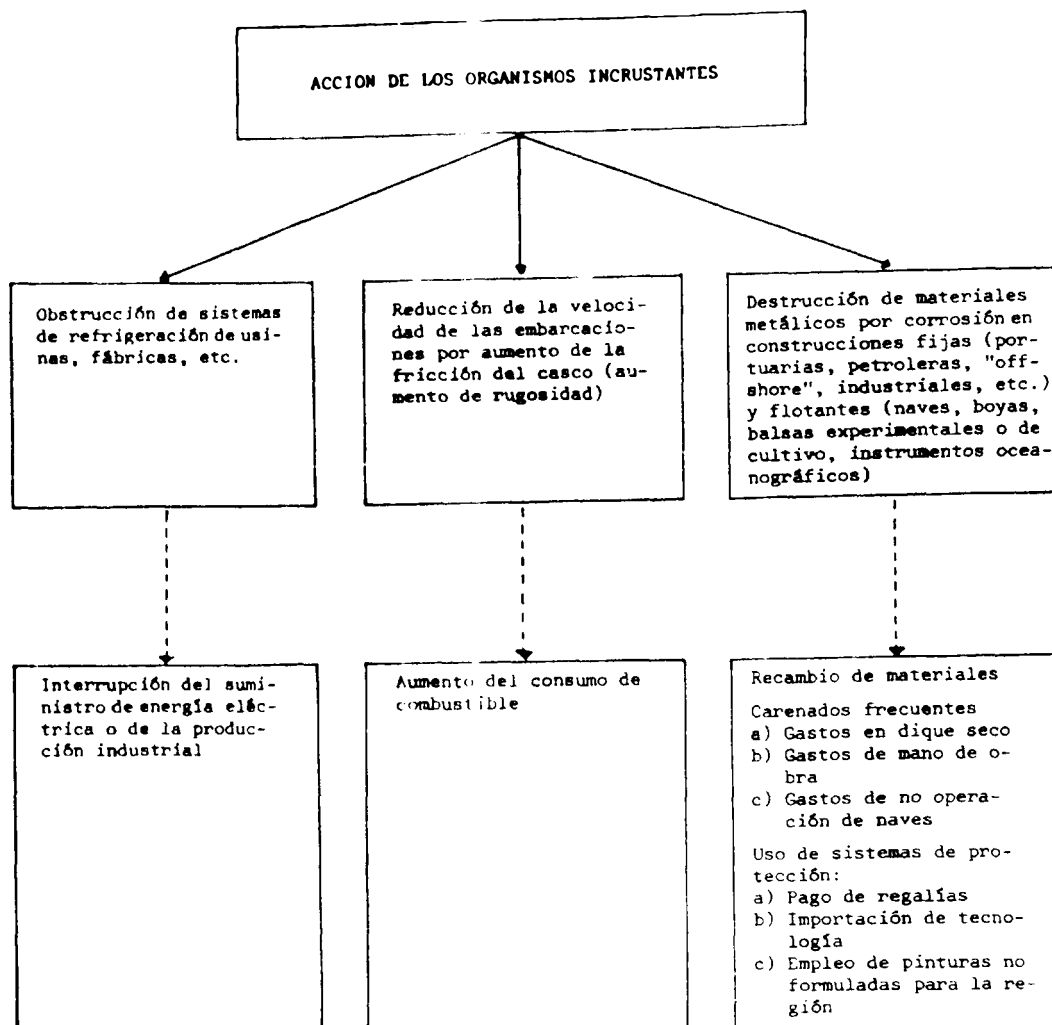
ACCION DE LAS INCRUSTACIONES BIOLOGICAS O FOULING

Desde tiempos muy remotos, se ha conocido el hecho de que cualquier objeto sumergido en el mar es rápidamente colonizado por organismos de variado tipo. Este fenómeno comenzó a preocupar al hombre principalmente en relación a las embarcaciones, ya que las mismas debían ser carenadas periódicamente para librarlas de adherencias indeseables. En la actualidad, el conjunto de organismos animales y vegetales que colonizan sustratos artificiales se conoce con el nombre de "fouling" o *incrustaciones biológicas* y su estudio ha cobrado gran importancia a nivel mundial.

En primer lugar, cabe analizar la causa de la rápida colonización de cualquier sustrato que se introduce en el mar. En el ambiente marino, existen una *variedad de fondos* en los que habitan animales y vegetales característicos de cada uno de ellos. Estos fondos pueden dividirse en dos grandes tipos: los *fondos blandos* (arenas, fangos, etc.) y los de tipo *duro*, como rocas y tosca. El primer tipo predomina ampliamente sobre el segundo, por lo cual los organismos adaptados a vivir en fondos duros deben competir fuertemente entre sí para obtener un espacio donde fijarse y prosperar. Un gran porcentaje no logra hacerlo y muere durante las primeras etapas de vida, ya que es mayor la cantidad de organismos dispuestos a fijarse que los espacios disponibles para ello. Es por esta razón que cualquier superficie artificial expuesta en el medio marino resulta una interesante alternativa ante la escasez de fondos naturales adecuados.

El *problema del fouling* radica en las consecuencias negativas que ejerce sobre la actividad que el hombre desarrolla en el mar. Por ello, los estudios relacionados con el tema tienden a *diseñar sistemas de control* para evitar la fijación de organismos sobre estructuras sumergidas. Sin embargo, en otros casos el hombre ha sabido aprovechar este fenómeno para beneficio propio, principalmente en relación a *cultivos comerciales de moluscos*. Con este fin, se sumergen sustratos adecuados que incrementan la fijación natural de las especies que se desea obtener (mejillones, ostras, etc.), generalmente con excelentes resultados.

Las consecuencias del fouling son muy variadas, pero sin duda las mejor conocidas son las relacionadas con la industria naviera. Toda embarcación consume una cierta cantidad de combustible que le permite mantener una velocidad óptima y que depende fundamentalmente de la forma del casco. La fijación de organismos sobre la carena produce



una capa de espesor variable que altera la hidrodinámica de la embarcación, modificando su normal funcionamiento y produciendo un importante aumento en el consumo de combustible.

Por otra parte, ciertos organismos, mediante su acción mecánica, ocasionan problemas de corrosión, que hacen necesario el periódico retiro de las naves en servicio, su instalación en dique seco, el posterior carenado y pintado de las mismas e incluso, en los casos más serios, el recambio de chapas de acero del casco. Este costoso proceso trae como consecuencia la inactividad de la nave, provocando además lucro cesante por falta de operación en los casos de los barcos mercantes y problemas operativos en las embarcaciones de guerra. La acción de los organismos también se verifica sobre estructuras fijas tales como construcciones portuarias, si bien con consecuencias menos graves que las mencionadas.

Esencialmente, el fouling es un fenómeno vinculado con ambientes portuarios, ya que el mismo adquiere significativa magnitud

cuando las embarcaciones se encuentran *fondeadas* en dichas áreas.

Esto obedece a varios factores: primeramente, debe considerarse que la mayor parte de los organismos incrustantes al estado adulto, poseen estructuras especiales que les permiten vivir adheridos a un sustrato o en íntimo contacto con él. A partir de su nacimiento, estos organismos atraviesan por una serie de estados larvales muy diferentes a los adultos en su morfología y forma de vida. Se trata de larvas microscópicas, planctónicas, que viven suspendidas en la masa de agua y permanecen allí un cierto tiempo. Finalizada la etapa larval y en presencia de un sustrato adecuado, estas larvas se fijan y sufren una serie de cambios hasta transformarse en individuos adultos. El *proceso de fijación* se ve *dificultado* cuando el sustrato se encuentra en movimiento, como en el caso de una embarcación en navegación y en cambio, se ve *facilitado* durante los períodos de inactividad de la nave y en aguas poco agitadas, condiciones que se conjugan en el interior de los puertos.

Otro factor a tener en cuenta es la *alta productividad* que caracteriza a las zonas portuarias, y que se debe en gran medida a la eliminación de *desechos industriales y domésticos* en sus aguas. Estos desechos representan un aporte adicional de materia orgánica que, siempre que no exceda ciertos límites, constituye una importante fuente de alimento para numerosos organismos y contribuye a un acelerado desarrollo de los mismos. A ello debe sumarse que, aún en condiciones naturales, las aguas costeras suelen ser más productivas que las correspondientes a zonas de mar abierto. En estas últimas, la densidad de larvas de organismos de fondos duros es significativamente menor que en zonas costeras.

En aguas abiertas, el fouling está relacionado fundamentalmente con estructuras diversas, tales como construcciones "off-shore", boyas oceanográficas, viviendas y estaciones submarinas, si bien su incidencia es menor que en zonas de puertos por los motivos mencionados anteriormente.

Los problemas creados por organismos incrustantes pueden ser agrupados en dos tipos: a) aquellos que resultan de la *fijación de organismos marinos en el exterior de las estructuras* y b) los que resultan de la *fijación de organismos en el interior de cañerías* o sectores igualmente inaccesibles de plantas industriales o de energía. Los primeros ya han sido comentados en los puntos precedentes y se vinculan fundamentalmente con cascos de embarcaciones y estructuras sumergidas de diverso tipo.

En cuanto a la segunda categoría, el problema del fouling adquiere especial importancia en el caso de centrales de energía o plantas industriales de otro tipo que utilizan agua de mar en sus sistemas de refrigeración. La obstrucción de estos sistemas por *fijación de organismos en el interior de las tuberías* trae aparejado

un elevado costo adicional debido fundamentalmente a la necesidad de interrumpir el funcionamiento de la planta para su limpieza periódica. Además, algunos organismos con caparazones duros (por ejemplo mejillones) pueden desprenderse e introducirse en los tubos de condensación induciendo procesos de corrosión por aireación diferencial, que causan perforaciones en dichos tubos. Un problema similar se presenta en las embarcaciones que utilizan agua de mar en sus circuitos de refrigeración.

El control del fouling en embarcaciones se realiza por medio de pinturas, tal como se indica en el capítulo correspondiente.

En el caso de las centrales refrigeradas con agua de mar se utilizan sustancias tóxicas incorporadas al agua que ingresa en la toma, en forma intermitente. El cloro es la más frecuentemente empleada. Otro sistema consiste en revertir periódicamente el flujo del agua circulante, de forma que los organismos adheridos se vean sujetos a temperaturas elevadas y mueran.

ESTUDIO DEL FOULING

Un paso preliminar para encarar este estudio es el *relevamiento de las comunidades portuarias*, ya que los organismos incrustantes son esencialmente similares a los que pueden encontrarse en estas construcciones y en fondos duros de áreas naturales aledañas. Un panorama de estas comunidades puede servir como patrón de referencia para evaluar la incidencia del fouling, principalmente en relación con los sistemas de control.

Un segundo método y el más difundido en la actualidad es el *empleo de paneles experimentales suspendidos en balsas* diseñadas a tal efecto. Este tipo de investigaciones ha sido particularmente útil para obtener información sobre el desarrollo de las comunidades incrustantes. Estas comunidades sufren una sucesión de cambios desde la colonización inicial de la superficie original y limpia del panel hasta alcanzar un estado de complejidad y estabilidad denominado *climax*, que es característico de cada zona. La secuencia de colonización sobre paneles experimentales puede completarse en unos pocos meses o en un año y transcurre mucho más rápidamente en los ambientes portuarios que en las áreas naturales.

En los estudios en los cuales los paneles permanecen sumergidos sólo por períodos mensuales, puede observarse que las diferentes especies tienen un período de fijación característico, relacionado con su ritmo estacional de reproducción. Estos cambios estacionales son más marcados en aquellas zonas que presentan fluctuaciones notables en la temperatura del agua a lo largo del año, como es típico en las regiones templadas. En estas zonas el fouling es más intenso durante el verano, mientras que durante la estación fría la fijación es escasa.

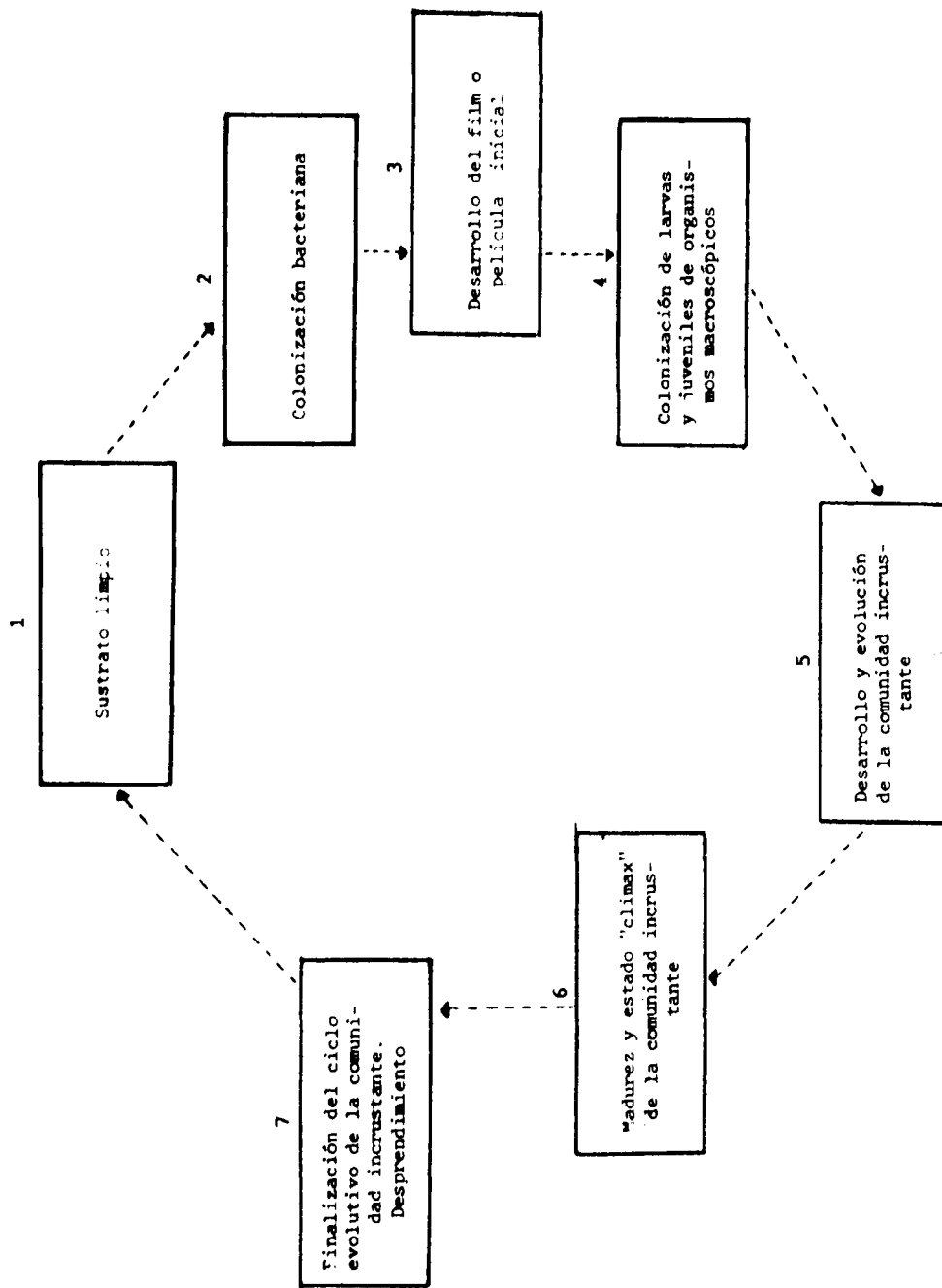


Si bien las comunidades incrustantes de cualquier puerto que se considere presentan rasgos propios, es posible detectar ciertos aspectos comunes entre ellas. Por una parte, las especies de distribución geográfica amplia o cosmopolita pueden estar presentes en casi todos los puertos del mundo; por otra parte, las comunidades incrustantes, al margen de la ubicación geográfica, atraviesan por una serie de etapas semejantes en su desarrollo.

El esquema adjunto representa en forma simplificada los pasos que se suceden en el desarrollo de las incrustaciones biológicas, independientemente de las especies presentes durante cada uno de ellos. Cabe mencionar que el tiempo que transcurre entre una etapa y otra puede ser variable, dependiendo de la ubicación geográfica de la zona considerada, las características ambientales (temperatura, salinidad, pH, oxígeno disuelto, grado de contaminación, etc.) y la época del año.

Así, en el puerto de Mar del Plata, que corresponde a una zona con claras variaciones de temperatura a lo largo del año, se observan diferencias estacionales en el tiempo de desarrollo de las comunidades incrustantes. Si la inmersión del sustrato se realiza en la época estival, el ciclo evolutivo puede cumplirse en tres meses, mientras que si la experiencia se inicia en otoño-invierno, su duración se puede extender por seis meses o más.

Como puede observarse en el esquema, luego de cierto tiempo la comunidad comienza a desprenderse, iniciándose un nuevo ciclo de colonización. Esto debe tenerse en cuenta en la evaluación de sistemas de control antiincrustantes, ya que la observación de zonas con fijación escasa o nula podría inducir a conclusiones erróneas sobre el funcionamiento de los mismos, si no se conocen paralelamente los períodos de desprendimiento y recolonización.



ETAPAS PRINCIPALES EN EL DESARROLLO DE LAS COMUNIDADES INCRUSTANTES

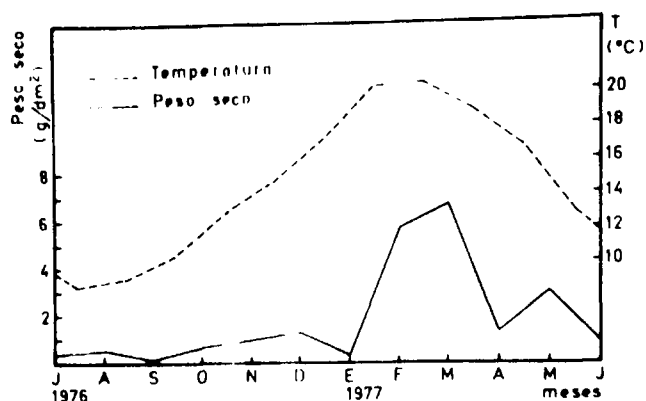


Figura 28.- Fluctuaciones estacionales del fouling de zonas templadas en función de la temperatura del agua

Un tercer método se basa en el análisis del casco de las embarcaciones, para lo cual se establece la fijación de organismos sobre diferentes partes del casco que presentan condiciones ecológicas diferentes. Esta información se complementa con los movimientos e itinerarios del buque y con el tipo de pinturas antiincrustantes empleadas.

Los estudios sobre fouling y sistemas de control a nivel mundial han sido encarados en forma profunda en las últimas décadas. En las épocas en que predominaban las embarcaciones construidas en madera el problema se limitaba a la *alteración de la hidrodinámica del casco* pero cuando comenzaron a predominar las naves con cascos de acero a dichos inconvenientes se sumaron los relacionados con los *problemas de corrosión* producidos por la fijación de organismos.

ORGANISMOS QUE COMPONEN LAS COMUNIDADES INCRUSTANTES

Entre los mismos se encuentran representantes de prácticamente todos los grupos de plantas e invertebrados marinos, desde simples organismos unicelulares hasta otros de organización muy compleja. Sin embargo, en muchas partes del mundo los organismos dominantes pertenecen a unos pocos géneros y especies, que resultan los mejor adaptados a las condiciones particulares en las que se desarrollan las incrustaciones biológicas.

La amplia distribución a nivel mundial de los organismos incrustantes puede deberse al hecho de que son transportados por las embarcaciones y así se van estableciendo en áreas diferentes.

1. BACTERIAS

Son organismos microscópicos que viven tanto en el mar y ríos

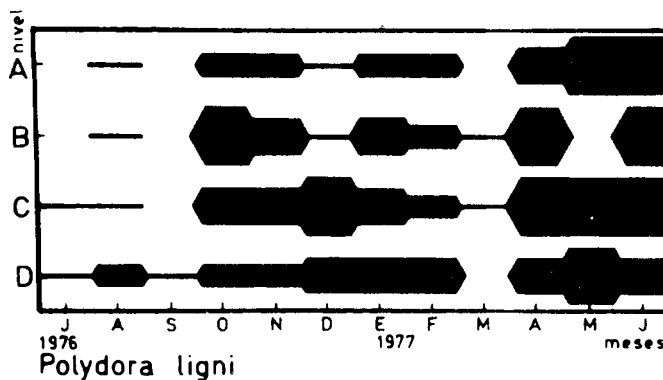
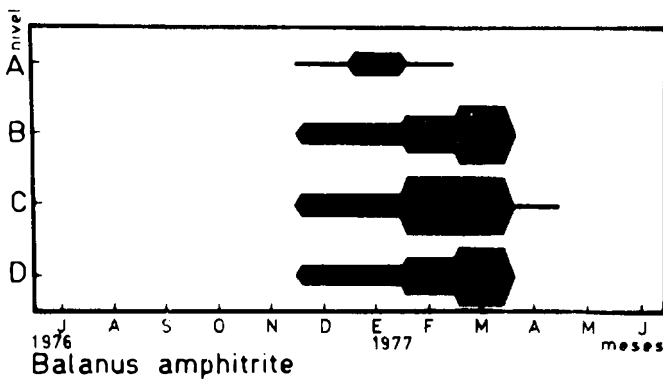
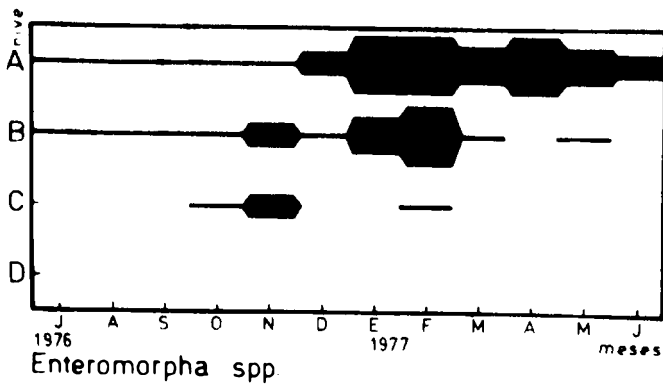


Figura 29.- Los ciclos de fijación de las diferentes especies que componen el fouling suelen graficarse como se observa a la izquierda. Sobre la ordenada se indican los diferentes niveles de profundidad de los paneles de la balsa experimental, correspondiendo el A a línea de flotación y D al más profundo de carena. Los diferentes grosores de trazo representan el grado de abundancia relativa en la fijación. El ciclo del alga verde *Enteromorpha* es de clara estratificación vertical, en donde la densidad va disminuyendo desde la superficie hasta el nivel C, debido a los requerimientos luminosos de estos vegetales; el cirripedio *Balanus amphitrite* es un ejemplo típico de fijación estacional vinculada con la temperatura del agua; el correspondiente al anélido *Polydora ligni* es de tipo anual, con fijación en todos los meses del año

como en la tierra y aire, resistiendo en la mayoría de los casos condiciones ambientales extremas que producirían la muerte de cualquier organismo superior. Por esta razón pueden vivir en cualquier tipo de ambiente y existe un grupo que no requiere luz ni oxígeno (bacterias anaeróbicas).

Las bacterias son los primeros organismos que colonizan cualquier objeto sumergido en el medio marino, formando una delgada película. Dado que se reproducen por simple división y a gran velocidad, en un breve lapso la superficie expuesta se encuentra cubierta por millones de bacterias. La película bacteriana, casi imperceptible a simple vista, promueve la fijación de otros organismos, creando condiciones favorables para su adhesión o brindando una fuente de alimento. Incluso puede actuar como protección para ciertos organismos, aislándolos de la acción de los tóxicos de las pinturas.

En las zonas del casco donde la película protectora se rompe, puede producirse corrosión, que se extiende rápidamente debajo de la misma. Esta corrosión se caracteriza por la presencia de un depósito negro de sulfuro de hierro. El proceso es anaeróbico (es decir transcurre en ausencia de oxígeno) y en él se encuentran involucradas las bacterias reductoras del azufre (*Desulphovibrio* spp.). Anteriormente se creía que las cepas de bacterias que contenían hidrogenasas producían una despolarización catódica del hierro. Más recientemente se ha propuesto que la principal contribución de las bacterias reductoras del azufre es la formación de ácido sulfhídrico que, junto con otros compuestos de azufre, actuaría en los procesos de corrosión del metal.

2. DIATOMEAS

Se trata de algas muy simples, microscópicas y unicelulares, que poseen una cubierta externa de sílice. Pueden encontrarse como individuos aislados o formando colonias de variados tipos. Dado que son organismos vegetales son capaces de sintetizar materia orgánica en presencia de luz y sales minerales. Son fundamentales en el ambiente marino donde constituyen el primer eslabón en la cadena de alimentos y los principales productores de oxígeno. Forman también parte de la película inicial, junto con las bacterias.

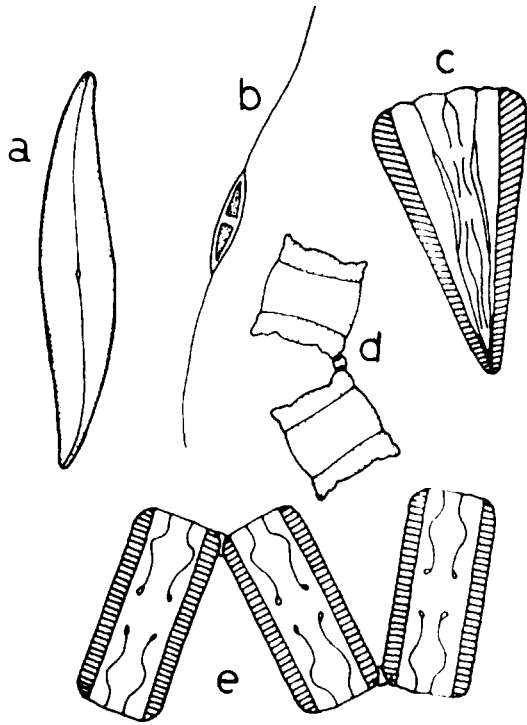


Figura 30.- Diatomeas, componentes microscópicos del fouling: (a) Synedra; (b) Nitzschia; (c) Licmophora; (d) Biddulphia; (e) Grammatophora

3. CIANOFITAS

Representan un grupo de algas de organización muy simple, microscópicas, de coloración azul verdosa. Son resistentes a cambios en los factores ambientales (salinidad, temperatura, grado de humedad, etc.) y a la acción de los tóxicos; se presentan frecuentemente como incrustaciones en barcos y en construcciones portuarias.

4. CLOROFITAS

Son las algas superiores más importantes del fouling. En algunos casos son unicelulares, si bien la mayoría son pluricelulares, de ta-

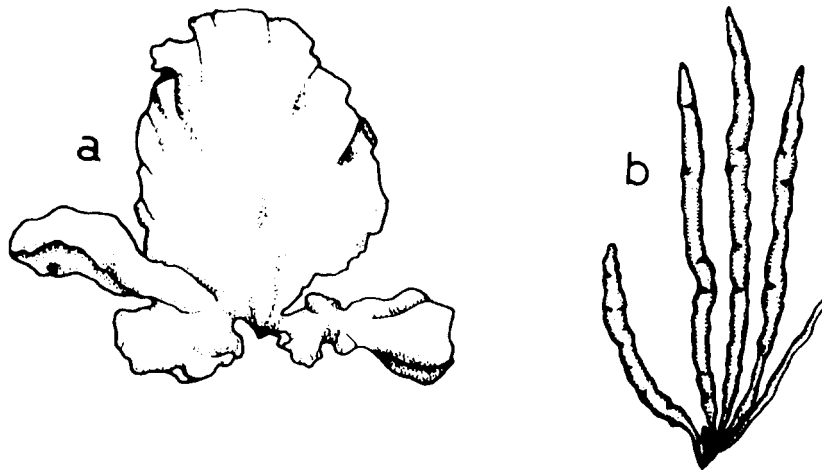


Figura 31.- Algas verdes: (a) Ulva; (b) Enteromorpha

maño macroscópico y de forma variada. Son organismos fotosintetizantes que se desarrollan en zonas bien iluminadas. En el caso de embarcaciones, las clorofitas *forman un cinturón a nivel de línea de flotación*. Son de crecimiento rápido y muy resistentes a los tóxicos de las pinturas (figura 31).

5. PROTOZOOS

Son animales unicelulares, de organización muy simple. Su tamaño puede variar desde micrones hasta algunos milímetros y pueden ser sésiles o de vida libre. Se reproducen y desarrollan con gran facilidad y en muy corto tiempo. Colonizan las superficies sumergidas casi inmediatamente luego de la fijación de las bacterias y diatomeas, que constituyen su principal alimento. Son a su vez utilizados como fuente de alimentación por numerosos organismos que le suceden en la colonización, especialmente por las larvas de casi todos los invertebrados marinos.

6. CELENERADOS

Se trata de organismos simples, cuyas células se encuentran organizadas en tejidos. Las diversas especies e incluso una misma especie en diferentes etapas de su vida incluyen formas de dos tipos: una de vida libre y otra fija (medusa y pólipo). Los organismos correspondientes a esta última pueden ser de vida solitaria, como las anémonas de mar, o formar colonias arborescentes y muy ramificadas. Son de crecimiento acelerado y constituyen un problema muy serio en el caso de centrales de energía, donde pueden llegar a obstruir los sistemas de refrigeración.

7. ANELIDOS (Poliquetos)

Estos animales poseen un cuerpo alargado, de aspecto vermiforme, segmentado, con estructuras pares que utilizan para desplazarse.

Figura 32.-
 Protozoos: (a) Forami-
 nifero; (b) Ciliado sé-
 sil solitario (Vortice-
 lla); (c) Ciliado libre;
 (d) Foliculnido; (e)
 Tintínido; (f) Ciliado
 sétil colonial (Zootham-
 nium)

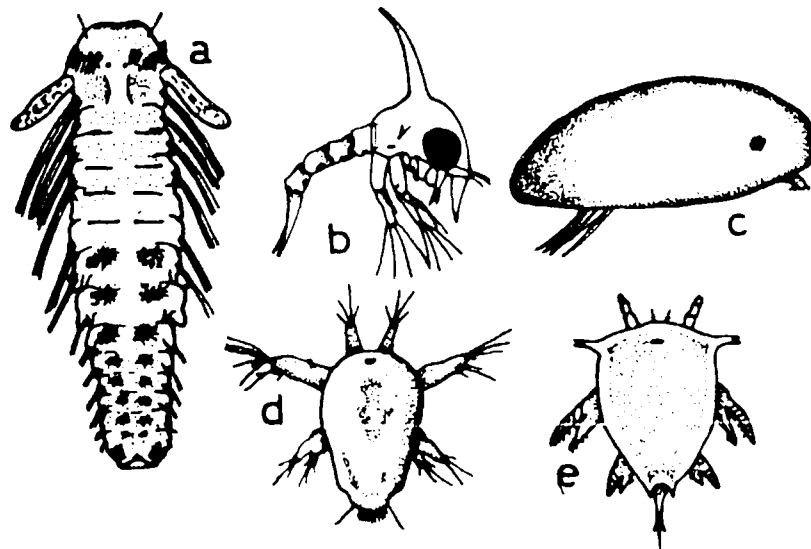
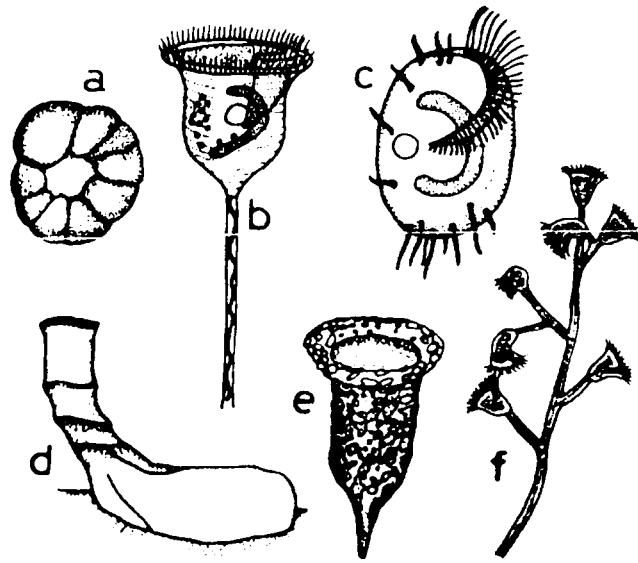


Figura 33.- La mayoría de las especies del fouling, previamente a su fijación, atraviesan por estadios larvales microscópicos que presentan formas y hábitos de vida muy diferentes a los de los adultos según puede observarse en la figura: a) larva del anélido *Polydora*; b) larva (zoea) del cangrejo *Cyrtograpsus*; c) larva (cypris) del cirripedio *Balanus* correspondiente al estadio previo a la fijación; d) larva (nauplius) de copépodo; e) larva (nauplius) del cirripedio *Balanus* correspondiente a un estadio más temprano que el ilustrado en c

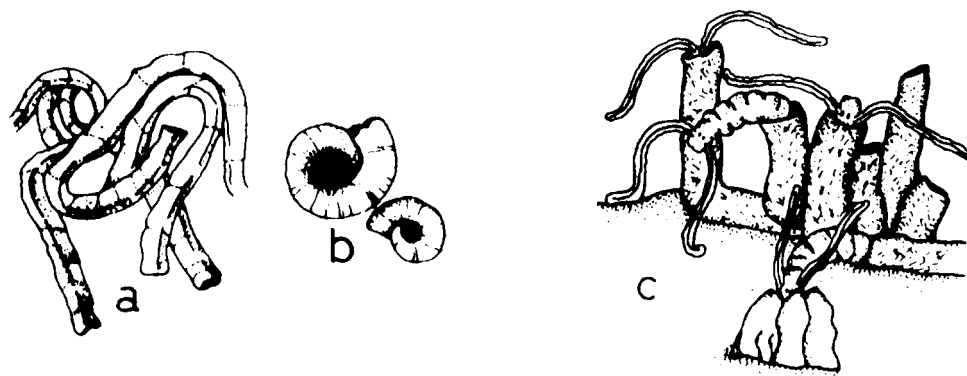


Figura 34.- Anélidos (poliquetos): (a) Mercierella; (b) Spirorbis; (c) Polydora

se. Los poliquetos son anélidos que viven exclusivamente en el ambiente marino y son conocidos vulgarmente como "gusanos de mar". De acuerdo a su forma de vida pueden agruparse en errantes y en sedentarios. Los primeros son capaces de desplazarse sobre el fondo, mientras que los segundos viven dentro de tubos calcáreos que ellos mismos secretan. Estos últimos son los más perjudiciales para las estructuras sumergidas ya que los tubos se adhieren fuertemente a los distintos sustratos y no se desprenden fácilmente.

8. MOLUSCOS

Constituyen uno de los grupos más numerosos del reino animal y es en el ambiente marino donde han alcanzado su mayor desarrollo. Se caracterizan por poseer un cuerpo blando, protegido por una conchilla calcárea que adopta diversas formas según los grupos. La gran mayoría de las especies viven relacionadas con los fondos marinos.

Entre las especies importantes en el fouling pueden mencionarse las lapas y los mejillones. Estos últimos constituyen serios problemas en las centrales eléctricas pues se adhieren fuertemente a las tuberías mediante unos filamentos especiales y por otra parte los adultos son muy resistentes al tratamiento con cloro.



Figura 35.- Moluscos: (a) El mejillón Mytilus; (b) la lapa Siphonaria

9. CRUSTACEOS

Se trata de organismos cuyos cuerpos se encuentran recubiertos por una capa de quitina. Esta cu-

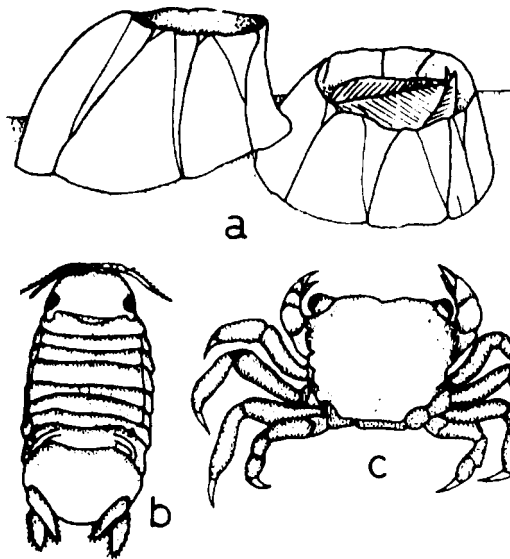


Figura 36.- Crustáceos: (a) Balanus; (b) Sphaeroma; (c) Cyrtograpsus

bierta es articulada y es reemplazada periódicamente por una nueva a medida que el animal crece. Son de hábitos muy variados y su tamaño oscila entre menos de 1 mm hasta 3,5 metros en los casos extremos.

Los crustáceos relacionados con las incrustaciones pertenecen a distintos grupos y ofrecen características muy diversas. El grupo más importante en relación con el fouling está constituido por los cirripedios o "dientes de perro". Son organismos totalmente adaptados a la vida sésil, que viven dentro de

una cubierta calcárea. Poseen larvas de vida libre, que luego se fijan, sufriendo una serie de transformaciones hasta llegar al estado adulto. Los individuos adultos viven permanentemente fijados, batiendo el agua con sus apéndices para crear corrientes y obtener así su alimento. Son organismos de crecimiento rápido y si bien su vida suele ser relativamente breve, su cápsula calcárea permanece adherida aún después de su muerte.

Los cirripedios se cuentan entre los organismos incrustantes más comunes y ciertamente entre los más perjudiciales. Algunas especies son muy resistentes a la acción de los tóxicos y una vez adheridos resulta muy difícil desprenderlos. Debido a su forma particular de crecimiento son capaces de romper la película de pintura sobre la cual se fijan, acelerando de esta forma la corrosión del casco.

10. BRIOZOOS

Este es un grupo de animales sésiles, coloniales, conocidos como animales musgo, ya que sus colonias en muchos casos tienen el aspecto de vegetales. La mayoría de las especies son marinas y las colonias están constituidas por individuos unidos entre sí de diferentes maneras. Cada uno de ellos consiste en una cubierta protectora en el interior de la cual vive un pequeño pólipo. Esta cubierta puede ser de consistencia blanda o encontrarse total o parcialmente calcificada.

Las colonias exhiben una gran variedad de formas y hábitos. Algunas son de tipo erecto, ramificado, constituyendo densas matas; o-

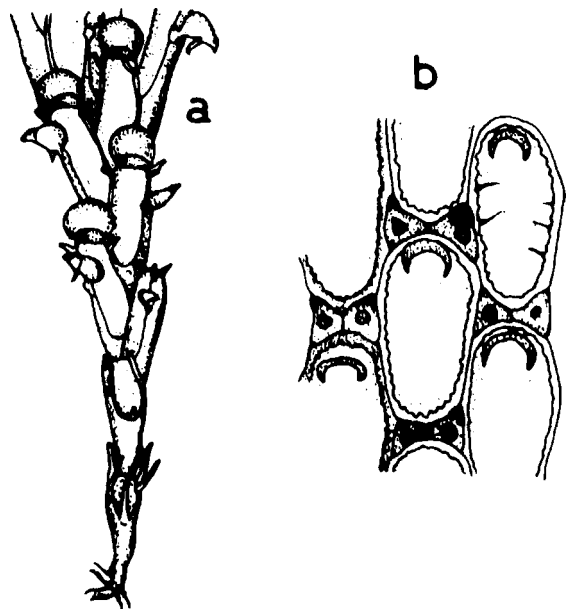
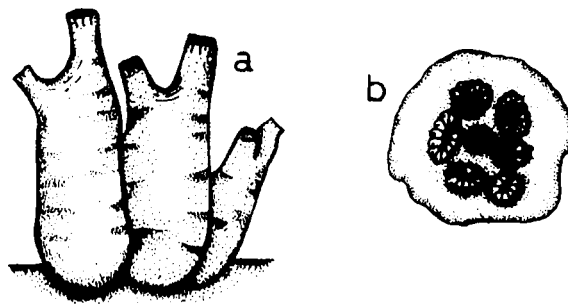


Figura 37.- Briozoos:
(a) Bugula; (b) Cono-
peum

Figura 38.- Tunicados:
(a) Ciona; (b) Botry-
llus



tras son de tipo incrustante y se adhieren al sustrato formando una capa blanda o calcárea.

Los briozoos son organismos de rápido crecimiento, que llegan a dominar ciertas etapas en el desarrollo de la comunidad; muchos de ellos son resistentes a los tóxicos. Además de formar densas matas sobre los cascos de las embarcaciones aumentando la resistencia friccional, en el caso de las colonias incrustantes de tipo calcáreo forman una capa que cubre grandes sectores y sobre la cual pueden fijarse otros organismos más perjudiciales.

11. TUNICADOS

Son organismos que viven exclusivamente en el ambiente marino distribuyéndose desde los polos hasta los trópicos. Muchas especies son costeras, mientras que otras habitan hasta los 5000 metros de profundidad. El tamaño de las diversas especies es variable, desde microscópico hasta 30 cm de diámetro.

Los tunicados se dividen en varios grupos, interesando en relación al fouling aquellos pertenecientes a la clase de las ascidias o "papas de mar". Los ejemplares adultos de este grupo, si bien presentan el aspecto de invertebrados, constituyen un grupo que se separa claramente de ellos y que se conoce bajo la denominación de cordados.

Las ascidias pueden ser solitarias o coloniales. Las primeras son generalmente de forma cilíndrica y globulosa y suelen adherirse al sustrato por su base. Otras ascidias viven agrupadas formando especies de colonias que macroscópicamente presentan un aspecto gelatinoso o coriáceo.

Las ascidias son típicos componentes del fouling de casi todos los puertos del mundo y presentan, en general, un crecimiento acelerado, pudiendo alcanzar en un par de meses la talla máxima.

Desde el punto de vista aplicado las ascidias no presentan mayores problemas ya que pueden ser eliminadas fácilmente con pinturas tóxicas.