

2. El medio

2.1. Estudio de las características del medio

El medio marino

La importancia del conocimiento del medio es fundamental para desarrollar la acuicultura, ya que constituye uno de los pilares fundamentales de esta actividad. Comenzaremos analizando las tres características básicas de dicho medio, es decir, su heterogeneidad, su variabilidad y su diversidad.

La cualidad de heterogeneidad se debe a su propia inmensidad, observándose que existen diferencias de temperatura según las latitudes y el relieve submarino y diferencias de salinidad según la evaporación o los aportes de agua dulce procedentes de los ríos o de las lluvias, etc. De hecho, el mar está constituido por masas de agua yuxtapuestas, con distintas propiedades, que se desplazan sin cesar unas respecto a las otras bajo el impulso de los vientos y de la rotación de la tierra. Estos fenómenos son bien conocidos cuando estamos frente a grandes corrientes oceánicas, pero sin embargo se mantienen en una pequeña escala cuando las diferencias de temperatura, salinidad o presión se establecen en masas de agua próximas. Otro ejemplo de la heterogeneidad en la zona litoral lo constituye el flujo de aguas dulces procedentes de los ríos, aguas menos densas y generalmente más cálidas. Por otra parte, se podría uno imaginar que allí en donde existen mareas se produciría un fenómeno de remoción del agua suficiente para homogeneizar el medio, sin embargo no sucede así, ya que las masas de agua se deslizan unas sobre otras en un movimiento horizontal, mientras que los movimientos verticales son muy limitados.

En cuanto a la variabilidad, ésta se debe a las corrientes que se establecen por los aportes de agua dulce que son fluctuantes en el espacio y en el tiempo, ya que el flujo de agua transportada por los ríos varía considerablemente según las estaciones, debiendo de añadir a estas variaciones las diferencias de orientación, pues estas aguas ligeras están bajo las influencias de los vientos, de forma que pueden ser desplazadas de una orilla a otra según se den unas condiciones de vaciado, de marea o de viento.

La diversidad de poblaciones es muy grande, se trata de un ecosistema ocupado por representantes del reino vegetal y del reino animal, siendo ambos muy profusos en cuanto a la variedades de especies. La densidad de estas especies es máxima en la capa superficial (0-10 m) y decrece con la profundidad. Las variaciones específicas, que se superponen a las variaciones espacio-temporales, se traducen en una sucesión de poblaciones diferentes a lo largo de todo el año. El que aparezcan unas u otras en cada momento va a depender de las características del medio —temperatura, iluminación, sales nutritivas, etc.— y de la capacidad de reproducción y velocidad de crecimiento de cada especie.

Por otra parte, la distribución vertical distingue tres zonas sucesivas, establecidas en función del nivel de iluminación, siendo éstas:

- *La zona eufótica*, donde la intensidad luminosa es máxima, llegando a alcanzar una profundidad de 50 m en promedio. El límite inferior de esta zona se corresponde con la profundidad de compensación para los vegetales clorofílicos, es decir, aquella en la que la respiración y las demás pérdidas del metabolismo estén exactamente equilibradas por el proceso de fotosíntesis, y donde la cantidad de materia orgánica de las algas sea sensiblemente constante. Esta zona es la que está más sujeta a las variaciones de las condiciones físico-químicas, y precisamente es en ella en la que se van a desarrollar los procesos necesarios para la actividad acuícola.

- *La zona oligofótica*, en la que sólo se señalan algunas radiaciones muy penetrantes, tiene una profundidad media de 500 m, tomándose como referencia el límite de sensibilidad del ojo humano. Es más constante en sus características que la zona precedente pues es menos sensible a las variaciones de las condiciones ambientales.

- *La zona afótica*, donde la oscuridad es total, es la zona profunda que presenta una temperatura baja, la cual disminuye a medida que se va descendiendo.

La riqueza del medio acuático va a depender de la cantidad de alimento de que disponen las especies y en definitiva de la producción primaria, entendiendo ésta como cantidad de materia orgánica que fabrican los diferentes niveles tróficos, vegetales (algas y macrófitas, función clorofílica) que sintetizan la materia orgánica a partir de las sales disueltas, los gases y la energía solar y también ciertas bacterias y hongos inferiores autotróficos, constituyendo así la primera forma viva del edificio trófico (producción primaria).

Entre los factores que determinan la riqueza del medio hay que citar el papel que tiene la circulación de las corrientes, cuya acción favorece el hecho de que los cuerpos de los animales, plantas, heces y detritos tienden a hundirse por debajo de la zona eufótica, en aguas más profundas, o incluso hasta el fondo del océano antes de que se hayan completado los procesos de mineralización por parte de las bacterias, trayendo como consecuencia que las aguas profundas sean más ricas en nutrientes en estado de disolución que las aguas superficiales; por otra parte, la presencia de una gran masa de fitoplancton puede agotar los alimentos disueltos y ocasionar un empobrecimiento de las capas superficiales si estos alimentos no son repuestos. En definitiva, los movimientos ocasionados por los vientos en el mar favorecen el desarrollo de los elementos fundamentales para disponer de un medio productivo.

Otra característica que presenta una gran importancia, ya que modifica las condiciones de la vida pelágica, es la temperatura que actúa en el sentido de intervenir en los procesos de desarrollo de las especies. La existencia de las capas térmicas trae aparejada a menudo una diversidad de especies, pues algunas permanecen prisioneras de un estrato de agua de igual temperatura; son éstas las especies estenotermas que sólo pueden reproducirse cuando se cumplen determinadas condiciones térmicas, frente a las euritermas que son menos sensibles.

La energía luminosa que afecta a la superficie de los mares va a estar en función de la nebulosidad y de las estaciones, así como de la profundidad y la velocidad de penetración de esta energía en el agua, ya que su composición espectral se modifica. La acción fotosintética ocupa el primer plano de la productividad de una zona marina pues es la que proporciona el punto de partida para la creación de la reserva fitológica que servirá de base nutritiva a los diversos ciclos zoológicos de población de los espacios marinos. Las sales nutritivas constituyen igualmente un elemento determinante para la evolución del medio. Las plantas tienen necesidad de nitrógeno y de fósforo que, como en el suelo, se hallan disueltos en el mar en forma de nitratos, nitritos, amoníaco y fosfatos. El crecimiento de los vegetales marinos produce con bastante rapidez la utilización completa de estas reservas, que son renovadas por las corrientes.

En resumen, los ecosistemas costeros son extremadamente diversificados y productivos pero frágiles y expuestos a múltiples perturbaciones, de modo que la producción de organismos cultivados puede estar limitada por las características naturales del medio pero también por la concurrencia de otras actividades humanas en cuanto a la ocupación y la utilización del litoral, por lo que conviene administrar y estudiar estos espacios y más concretamente analizar los factores que inciden no sólo en su calidad sino también aquellos que van a ser decisivos para el éxito o fracaso de cualquier tipo de explotación acuícola, como son factores del agua (salinidad, oxigenación, sales nutritivas, etc.), el conocimiento y control de micropoluentes acumulados en la materia viva, la prevención sobre los fenómenos accidentales, tales como las proliferaciones de especies fitoplanctónicas, mareas rojas, fenómenos de anoxia, etc, como también definir las tasas de contaminación ordinaria de los organismos representativos de las poblaciones locales, etc.

El medio continental

Los diferentes ecosistemas de aguas continentales pueden agruparse en dos tipos extremos de caracteres definidos por la ausencia o presencia de un flujo permanente, independientemente de las diferentes corrientes variables debidas a los vientos y a los fenómenos de convección o densidad. En un primer grupo se sitúan las aguas estancadas o ecosistema de transición entre los medios terrestre y acuático, las charcas, los embalses y los lagos, mientras que en un segundo grupo colocaríamos a las aguas corrientes, los cursos de agua desde los nacimientos a los ríos grandes y profundos, algunos de cuyos tramos pueden compararse con las aguas no fluyentes.

Bajo el punto de vista de este estudio, cabría referirse al primer tipo de medios, si bien éstos suelen ser malos productores de alimento para las especies (García de Jalón *et al.*, 1993), si bien la utilización de estos medios se hace de forma intensiva, lo que va a implicar la necesidad de un aporte externo de nutrientes a la vez que un control de los determinados parámetros físico-químicos que dependerán asimismo del control externo. En este sentido se tendrán en cuenta las siguientes variables:

- La masa o la columna del agua, que es el medio donde se mueven los peces. Entre las dimensiones de dicha columna, hay prestar atención a la anchura y la profundidad.

- La dureza del agua y presencia de carbonatos, que son parámetros a tener muy en cuenta pues son los que mejor definen la cantidad de macroconstituyentes. Los peces que viven en aguas duras son capaces de asimilar más energía en invierno y gastar menos en verano, disponiendo a la vez de mas energía que pueden emplear para su crecimiento.

2.2. Características biológicas

El medio acuático se caracteriza por poseer propiedades bioquímicas que le permiten el mantenimiento de la vida celular. En este medio el plancton es el eslabón más importante de la cadena trófica. El primero en usar el vocablo plancton fue Homero en *La Odisea* y Aristóteles lo utilizaba para designar cuanto flotaba en el agua y ya el oceanógrafo Hensen lo ha escogido y definido como «el conjunto de organismos vivientes, de naturaleza vegetal o animal, sin unión directa con el suelo y que pasan total o parcialmente la vida en el medio líquido, en el cual flotan de una manera más o menos pasiva». Esta definición traza la línea divisoria que lo separa del necton, constituido por los animales marinos, cuya potencia o agilidad permite su propio desplazamiento, sin tener en cuenta las corrientes ni los vientos que arrastran las masas líquidas y el bentos u organismos que viven en los fondos de los océanos y los mares y que comprenden desde las praderas de Laminarias hasta la fauna poco corriente asociada a los fondos blandos de la zona abisal.

Es importante destacar el carácter variable y dinámico de las poblaciones de plancton y el hecho de que su distribución en el agua no sea uniforme; en cualquier lugar pueden sucederse cambios acentuados a causa de modificaciones en las condiciones estacionales, las cuales son susceptibles de favorecer la aparición de especies diferentes como consecuencia de las interacciones ocurridas dentro de las mismas poblaciones, o bien como respuesta a los cambios a determinados niveles sobre los elementos con valor nutritivo, o producidos por la presencia en un momento dado de ciertos movimientos del agua que pueden transportar plancton de unas determinadas características a otras zonas diferentes y alejar de las áreas receptoras a las especies presentes. Todas estas variaciones producen efectos que se manifiestan sobre el crecimiento y desarrollo de los diferentes organismos.

Según el tamaño de las partículas que integran el plancton se puede hablar de macroplancton, mesoplancton, microplancton, nanoplancton o picoplancton (Fincham, 1986).

La clasificación biológica que nos interesa en el contexto de este trabajo se basa en el plancton de tipo vegetal capaz de sintetizar sus propias sustancias, o sea, el fitoplancton y aquel de tipo animal que se alimenta de bacterias, fitoplancton y presas, es decir, el zooplancton. Por otra parte, el picoplancton o bacterias, que cons-

tituyen la fracción más pequeña del plancton, son la base de numerosos fenómenos bioquímicos participando en los diversos metabolismos del medio acuático.

Bacterias o picoplancton

El conjunto de la flora bacteriana del medio acuático, tanto marino como continental, está constituida por aerobios y anaerobios facultativos. Las especies más abundantes son las pertenecientes a los géneros *Pseudomonas*, *Achromobacter*, *Acinetobacter*, *Flavobacterium*, *Serratia*, *Cellvibrio*, *Bacterium*, *Bacillus*, *Clostridium* y numerosas especies de Caulobacteriáceas y Tiobacteriáceas (Aubert, 1968).

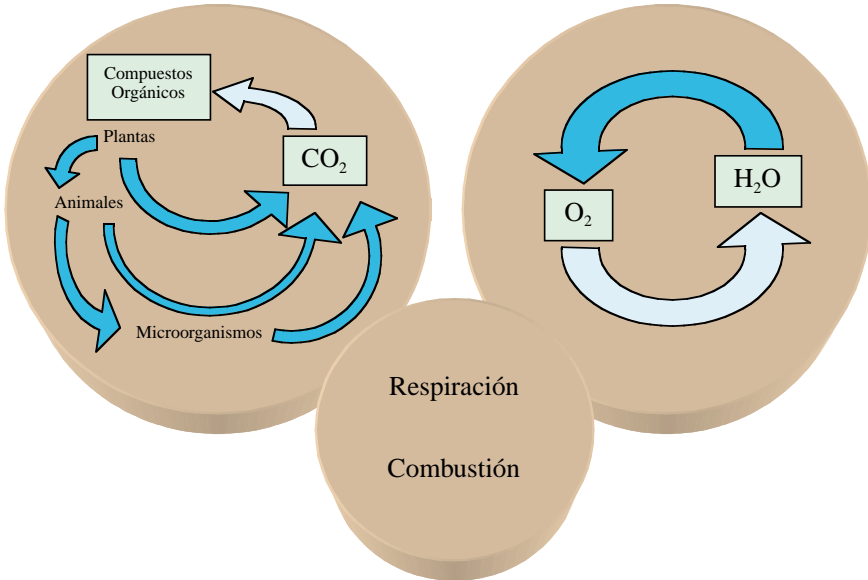
Estas poblaciones bacterianas presentan una densidad variable en función de diversos factores, de los cuales los más determinantes son los biológicos, relacionados con la riqueza en materia orgánica, mientras que los factores físicos parecen desempeñar un papel completamente secundario. La presión no hace disminuir la densidad bacterial sino que ejerce un cometido selectivo entre las especies, las bajas temperaturas también desempeñan un papel selectivo, pero únicamente entre las especies de las grandes profundidades y respecto a la distribución batimétrica la densidad de población aumenta de la superficie hasta los 50 m de profundidad, para disminuir progresivamente a medida que es mayor la profundidad, y adquirir de nuevo mayor densidad a nivel de los sedimentos. El factor que parece tener una acción predominante para favorecer la aparición de las bacterias es la cantidad de materia orgánica nutritiva puesta a su disposición en las aguas o en los sedimentos.

El papel de las bacterias resulta fundamental por intervenir de manera directa en los ciclos biológicos, contribuyen a la formación del humus, favorecen la aparición de las praderas submarinas, aceleran la precipitación de la caliza, del hierro y del manganeso, modifican el pH de algunos sedimentos influyendo así en la selección de otras especies vivientes y, por último, su abundancia en la superficie del fondo es una reserva nutritiva para los animales que viven en ellos y que, por su acción excavadora, encuentran allí su alimento. En la vida acuática forman el primer eslabón de las cadenas biológicas, siendo a partir de ellas y de su acción química que podrán florecer todas las restantes formas de vida.

Las bacterias pelágicas ejercen una acción igualmente importante sobre la base de la evolución del medio, por ejemplo en los procesos de nitrificación, mientras que las bacterias bentónicas contribuyen a descomponer y oxidar parte de las materias orgánicas en suspensión, liberando sus elementos en formas simples de gas carbónico, de nitrógeno y de fosfato y otra parte de ellas se transforman en productos del metabolismo y en sustancias celulares. Es preciso en este contexto referirse a los papeles concretos sobre los ciclos en que intervienen las bacterias para así mejor comprender el interés de estos organismos en los estudios del medio.

Ciclo del carbono (Fig. 1): Las fuentes de carbono son los azúcares, la lignina, la celulosa y la quitina que finalmente se oxidan convirtiéndose en gas carbónico y agua. En la zona eufótica las bacterias fotosintéticas actúan transformando, mediante una oxidorreducción, el CO₂ en productos celulares gracias a un donante de hidrógeno.

Figura 1
Ciclo del carbono

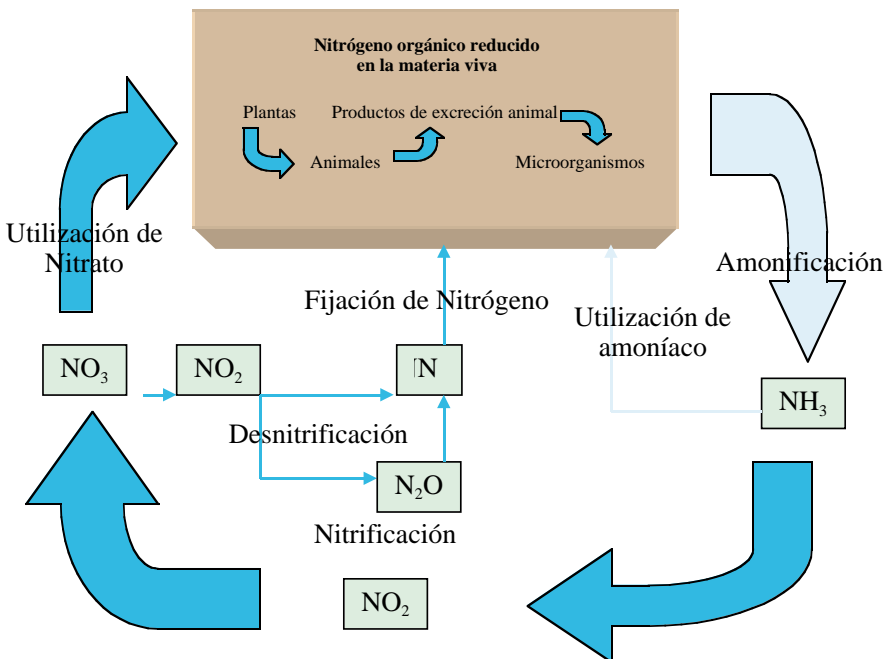


Fuera de la zona iluminada, el ciclo está asegurado por las bacterias quimio-
trofias y heterotrofias, las sulfobacterias, las bacterias nitrificantes y algunas bacte-
rias ferruginosas. Las responsables de esta acción química son las Pseudomonaceae,
las Actinomycetaceae, Vibrionaceae y numerosas Micrococcaceae. La acción sobre
la celulosa parece ser que se debe a los gérmenes aerobios, como los Pseudomona-
ceae, los Myxobacteriales, los Vibrionacea o los anaerobios de las especies gasóge-
nas, los cuales la transforman para unos en glúcidos que darán gas carbónico y agua
y para los otros en $CH_4 + H_2$ que serán tomados de nuevo por otros organismos. La
fuente de celulosa marina está constituida principalmente por la sustancia misma de
las algas en deriva, el agar-agar, donde se vuelve a encontrar una abundante pobla-
ción bacteriana celulolítica. La actuación sobre la lignina es mucho menos impor-
tante, se debe a hongos inferiores aerobios, ésta se ejerce a expensas de los vegetales
muertos en presencia del oxígeno, lo que explica la conservación relativamente
buena de los pecios que yacen en el fondo de los mares. Sobre la quitina la transfor-
mación es a expensas del esqueleto de los moluscos y de los caparzones de los crus-
táceos, el causante de esta acción es una microflora particular, entre otras especies
actúan *el Bacillus chitinovor*, o el *B. chitinophylum* y el *B. chitinochroma* (Aubert,
1968).

En cuanto a las grasas, éstas sufren el ataque de bacterias aerobias especialmente las pertenecientes a los géneros *Pseudomonas*, *Vibrio* o *Serratia*, y las anaerobias *Clostridium* y *Wetchia perfringens*. Por su parte, los hidrocarburos representan masas importantes en los fondos marinos procediendo en parte de los campos de diatomeas, esas algas monocelulares que, como las *Rhizosolenia*, poseen una vesícula de hidrocarburo y que, una vez muertas, se sedimentan en los fondos marinos; su oxidación se efectúa gracias a la acción de las *Pseudomonas*, las *Actinomyces*, las *Mycobacterium*, y las *Microsporum*.

El ciclo del nitrógeno (Fig. 2): Las bacterias que proliferan en el seno del medio acuático desempeñan un papel particularmente interesante, pues contribuyen a su mineralización a partir del nitrógeno combinado y asimismo lo restituyen a los vegetales en su forma mineral utilizable. Este ciclo comprende diversas etapas sucesivas, la primera es la de la amonificación, consistente en que los residuos orgánicos liberan su nitrógeno en forma de amoníaco, una pequeña cantidad del cual sirve para la síntesis de las proteínas celulares y para ciertos organismos del plancton y de las algas, pero que en su mayor parte sufren una oxidación secundaria, convirtiéndose en nitrito y nitrato. La amonificación se efectúa tanto en el agua como en los sedi-

Figura 2
Ciclo del nitrógeno



mentos, siendo los gérmenes responsables de la descomposición especies de los generos *Pseudomonas*, *Flavobacterium*, *Vibrio*, *Acinetobacter* y *Bacillus*. Es preciso observar que la liberación de amoníaco puede producirse asimismo a partir de la urea por intermedio de las gérmenes ureoríficos.

Una segunda etapa es la de nitrificación, que se opera por oxidación en dos tiempos (nitritación y nitratación), da nitritos y después nitratos siendo los responsables de la misma microorganismos quemolitotrofos que operan en aerobiosis estricta y con pH alcalino, éstos son, *Nitrosomas* para la nitritación, y *Nitrobacter* para la nitratación, asimismo ciertos heterotrofos libres o asociados podrían oxidar a los derivados amoniacales (*Mycobacterium rubrum*).

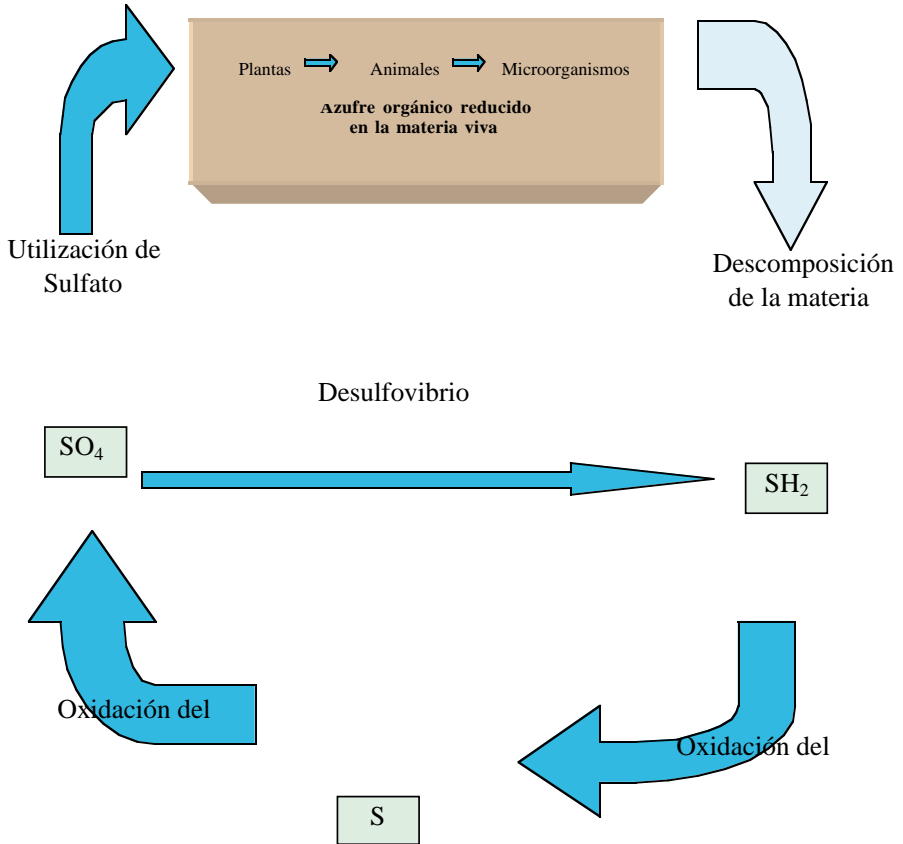
La última etapa, la de desnitrificación, la llevan a cabo las bacterias desnitrificadoras y reductoras de los nitratos, que si bien presentan una gran diversidad, éstas pueden agruparse en bacterias reductoras de nitrato en nitrito, bacterias reductoras de nitrato en amoníaco, bacterias desnitrificadoras propiamente dichas y bacterias reductoras de nitratos en nitrógeno. Esta acción se debe a toda una flora dispersa por el agua y los sedimentos pertenecientes a los géneros *Vibrio*, *Pseudomonas*, *Achromobacter*, *Acinetobacter*, *Erwinia* y *Flavobacterium*.

El número de las bacterias reductoras de nitrato es poco importante, pero los organismos fitoplanctónicos pueden utilizar directamente el amoníaco, los nitratos o los nitritos. Las bacterias desnitrificadoras verdaderas, si bien raras, son a pesar de ello importantes, pues empobrecen el medio en nitrógeno asimilable. La pérdida resultante de la desnitrificación que da lugar al nitrógeno gaseoso se halla parcialmente compensada por la actividad de bacterias y de algas fijadoras del nitrógeno.

El ciclo del azufre (Fig. 3): Son también importantes los compuestos azufrados, ya que además de ser donantes de hidrógeno pueden ser receptores, favoreciendo así la síntesis celular y reduciendo el gas carbónico. Numerosos gérmenes intervienen en estas transformaciones, unos liberando el azufre unido a las sustancias orgánicas y otros oxidando o reduciendo estos compuestos. De la oxidación del azufre se encargan las bacterias *Thiobacillus thiooxydans*, haciendo que se liberen sulfatos y sulfitos. Entre las bacterias responsables de estos procesos, algunas toman la energía necesaria para su crecimiento de la oxidación bioquímica del hidrógeno sulfurado (*Achromatium*, *Beggiatoa*, *Thitrix*), otras (gracias a la presencia de un pigmento fotosintético) exigen luz, son éstas las pertenecientes a las Rhodobacteriaceae y las Chlorobacteriaceae. La reducción de los sulfatos se hace gracias a gérmenes anaerobios (*Desulfovibrio desulfuricans*) que los transforman en hidrógeno sulfurado; esta acción ejerce considerable influencia.

El ciclo del fósforo: El fósforo es un elemento de primordial importancia, tanto si se utiliza como fuente de energía como si sirve para el crecimiento de los organismos. Por lo tanto, la fertilidad de un medio estará siempre en relación con el valor del binomio N/P. Esta relación debe ser particularmente elevada (de 9 a 10). Es posible que los microorganismos desempeñen cierto papel en la concentración de los

Figura 3
Ciclo del azufre



fosfatos en el seno de los biotopos. El ciclo se cierra con el agua y los sedimentos y no hay intercambio con la atmósfera.

El ciclo del hierro: Sigue la ley general del ataque de los microorganismos, tanto por las bacterias sulfatorreductoras y oxidantes como por las ferruginosas. Existen bacterias especializadas que oxidan el hierro ferroso convirtiéndolo en hierro férrico, con precipitado de hidróxido de hierro y bacterias no específicas que modifican la composición del agua y favorecen la solubilidad del metal. De manera particular, un aumento en el índice de gas carbónico provoca una mayor solubilidad del hierro, en cambio, una disminución de este índice favorece su precipitación. Las bacterias ferruginosas son del género *Gallionella*, de acción autotrofia, y *Creno-*

chrix, de acción heterotrofia. Las bacterias no especializadas corresponden al orden de las Clamidobacteriales y de las Caulobacteriáceas.

Fitoplancton

El fitoplancton está formado por organismos unicelulares que contienen diversos pigmentos —entre otros clorofilas— y que son capaces a partir del anhídrido carbónico, sales minerales y luz, de producir proteínas, ácidos grasos e hidratos de carbono, constituyendo, por tanto, la principal fuente de alimento de los consumidores primarios.

Las especies de fitoplancton tienen la necesidad de permanecer en la zona eufótica, ya que la actividad fotosintética está restringida a los 15 primeros metros de profundidad (Fincham, 1986) para poder crecer y reproducirse. Es esta necesidad, en parte, uno de los factores responsables del pequeño tamaño y de las formas extrañas de estos organismos en comparación con las plantas de la tierra. Por otra parte, la absorción de elementos nutritivos esenciales es de igual importancia, ya que éstos se encuentran básicamente en la zona eufótica. La gran relación de superficie a volumen capacita a la célula para absorber los alimentos muy diluidos del agua que les rodea más eficientemente, y de este modo compensar el hecho de una mayor dilución de las sustancias nutritivas. Sin embargo, cuando el fitoplancton es abundante, el aporte nutritivo en los estratos más superiores del agua se empobrece, motivo por el cual se ocasiona un cierto hundimiento que ayuda a las células a obtener los alimentos. El sumergimiento en sí aumenta la profundidad de la zona eufótica, permitiendo una mayor penetración de la luz, en verano se encuentran las máximas concentraciones de clorofila próximas al límite de dicha zona, la difusión vertical es mínima en esa época del año y la cantidad de sustancias nutritivas en la superficie es baja. En invierno la proporción de difusión es más alta y el crecimiento, aunque más lento, es mayor en la superficie existiendo una disminución lineal de la clorofila en relación con la profundidad. Al aumentar la temperatura de la superficie del agua, disminuye su densidad y aumenta la tendencia a hundirse de los organismos del fitoplancton, esto hace al agua más transparente, y la zona eufótica se hace más profunda (Bayard y Mc Connaughey, 1975).

Las especies fitoplanctónicas se desarrollan muy rápidamente, algunas de ellas ante condiciones favorables se dividen varias veces al día y responden fácilmente a los cambios de las condiciones ambientales, lo que provoca explosiones de fitoplancton. Este fenómeno puede suceder en cualquier tiempo y lugar siempre que se den las condiciones locales favorables, con frecuencia existen varios afloramientos entre la primera y última manifestación primaveral; en algunas localidades costeras, en condiciones especiales, se producen también floraciones invernales. Durante uno de estos afloramientos la cantidad de fitoplancton puede duplicarse al día, produciendo grandes acumulaciones de billones de células, hasta que el empobrecimiento del material nutritivo de las plantas y la disminución del crecimiento a causa de las poblaciones zooplanctónicas que se desarrollan con mayor lentitud, rebajan

suavemente el aumento de la población, provocando un equilibrio o un fuerte descenso del fitoplancton total en la zona, que es reemplazado por zooplancton. Cuando aparece un repentino y patente afloramiento en un área dada tienden a dominar un número reducido de especies que esperan ser las más favorecidas por las condiciones locales, o que esperan comenzar un crecimiento numérico cuando las condiciones benefician este *bloom*. Por otra parte, si una mezcla de poblaciones está sujeta a un aumento repentino en la capacidad de transporte, así como a un aumento del material nutritivo junto con una mejora en las condiciones de crecimiento durante la primavera, diferentes especies adquieren ventaja a causa de sus proporciones respectivas de reproducción, variando dichas proporciones considerablemente de una especie a otra, siendo la más rápida la que primero comienza su ciclo reproductor. Ante estos fenómenos se habla de *blooms* fitoplanctónicos, que se denominan con el adjetivo de la especie dominante, si bien con frecuencia son varias las especies que pueden estar presentes en gran número. En una fase posterior sucede que con la capacidad de transporte de las condiciones ambientales, la sucesión de etapas ecológicas y la diversidad aumentan, se produce un equilibrio más estable.

Cuando dos masas de agua se ponen en contacto y se mezclan, los resultados pueden ser completamente distintos, dependiendo de las características de estas aguas. Si cada masa aporta algún nutriente que se haya agotado en la otra, las condiciones del afloramiento pueden prevalecer en la región límite, dando como resultado un gran aumento de la productividad, aunque un decrecimiento en la diversidad. Si además, no hay aportes de materiales nutritivos complementarios, las poblaciones se mezclan en la zona límite y el resultado será simplemente un aumento de la diversidad.

Otra característica de las especies de fitoplancton es su capacidad de flotación y de distribución vertical, la cual se debe a diferentes propiedades tales como al hecho de que el protoplasma es por lo general ligeramente más pesado que el agua y tiende a hundirse pero no llega a realizarse tal hundimiento porque algunas especies están provistas de cerdas para la flotación, otras poseen vacuolas que contienen gotitas de un fluido menos denso o de aceite que las hace flotar y otras, en algunos casos como los Dinoflagelados, pueden nadar activamente.

Entre los principales componentes del fitoplancton en el medio marino están las Diatomeas que son algas unicelulares existentes en todas las aguas superficiales donde se encuentre un substrato utilizable dentro de la zona eufótica. Estas Diatomeas constituyen un elemento importante en el nivel de las algas al ser la principal fuente de nutrición para muchos animales que se alimentan de fitoplancton, incluyendo gasterópodos, chitones y especies fijas a rocas y a otras superficies sumergidas. Gran número de Diatomeas mueren como consecuencia de los cambios estacionales, como por ejemplo aquellos que provocan el empobrecimiento local del material nutritivo, bien sea por consumo del zooplancton o bien por alteraciones medioambientales, o de su transporte por movimientos verticales del agua, o bien al encontrarse localizadas por debajo de la zona eufótica, etc. El resultado de estas incidencias lleva a una acumulación de Diatomeas muertas y de sus frústulas en el fondo

del mar y ello a su vez provoca que en determinadas zonas constituyan el principal componente del fango marino.

La mayoría de las Diatomeas acumulan aceites o ácidos grasos en vez de azúcares como producto final de la fotosíntesis, por lo que bajo condiciones excepcionales, un crecimiento particularmente rico de Diatomeas puedan producir suficiente aceite como para llegar a formar una capa oleosa en la superficie del mar de varias millas de extensión. El tamaño de estas algas va desde menos de 10 micras de longitud o de diámetro hasta 1 mm para las especies mayores, e incluso dentro de una misma especie la diferencia de tamaños puede alcanzar hasta unas treinta veces o más, como resultado de un característico método de reproducción.

Un segundo grupo bien definido de algas unicelulares son los Dinoflagelados, los cuales, al igual que las Diatomeas, constituyen un elemento abundante e importante en el plancton de todos los mares. Las especies más típicas y conocidas tienen la superficie del cuerpo provista de dos surcos, cada uno con un flagelo. Dentro de este grupo los representantes más comunes se encuentran en los Gymnodiniales, que forman los Dinoflagelados desnudos o desprovistos de caparazón, y los Peridinales, constituidos por los Dinoflagelados con el cuerpo recubierto por un caparazón. Entre las especies de Dinoflagelados típicos se encuentran los Adeníferos o Adenidos y los Eystoflagelados. El género más representativo es *Noctiluca*, así denominado a causa de su bioluminiscencia ya que emite un destello luminiscente cuando es molestado.

Otros componentes del fitoplancton son las denominadas algas verdeazuladas y algunos flagelados que pertenecen a las Chrysophyceae y Chlorophyceae los cuales aparecen a veces en el plancton en suficiente número como para ser considerados de importancia. Las más abundantes son las especies pertenecientes al género *Trichodesmium* que son delgadas células que flotan en la superficie del agua, de un color rojizo, debido a la abundancia que poseen del pigmento ficoeritrina. Cuando se presentan en gran número, pueden llegar a formar extensas superficies y producir un olor característico a cloro. Se caracterizan otras especies por su selectividad respecto al parámetro temperatura, encontrándose distribuidas por diferentes masas de agua, especies con estas propiedades son, por ejemplo, las pertenecientes a los géneros *Pontosphaera* y *Syracosphaera*.

En cuanto al medio continental, la composición específica del fitoplancton es extremadamente variable, tanto cualitativa como cuantitativamente, si bien el crecimiento estará determinado en cada instante por el factor más desfavorable, llamado *factor limitante*. Respecto a la evolución, se pueden dar dos acontecimientos a tener en cuenta, por una parte la aparición de un *bloom* y por otra la desaparición total del mismo o *die-off*.

La aparición del *bloom* es un fenómeno normal, produciéndose generalmente de forma más o menos regular a lo largo de las estaciones del año a partir del recalentamiento primaveral de las aguas. A estos *blooms* se les conoce bajo el nombre de la especie dominante, se habla de un *bloom* de Clorofíceas, o un *bloom* de Euglenofíceas, o de *bloom* de Cianofíceas, etc. Un *bloom* puede ser muy favorable a la pro-

ducción púscicola si la especie que lo provoca constituye una buena fuente de alimento, como por ejemplo, los *bloom* de Clorofíceas, o bien, por el contrario, pueden ser muy desfavorables si están producidos por algas no asimilables para los organismos consumidores y que a su vez desvían una cantidad importante de materia que no es aprovechada por la cadena trófica (es el caso del *bloom* de Cianofíceas).

Tras la aparición de un *bloom* se observa generalmente una fase de crecimiento seguida de una desaparición (debida a la muerte de los organismos fitoplanctónicos) casi total de fitoplancton, llamada *die-off*. Existen varias hipótesis que justifican las causas de esta desaparición brutal, entre otras, Smith (1988) ha observado en ciertos casos de *die-off* la presencia de agentes patógenos, bacterias y virus que provocan la destrucción de las células. Este mismo autor atribuye la aparición de estos fenómenos a la respuesta ante acontecimientos como deficiencias de nutrientes que pueden paralizar la formación de las proteínas y entrañar una fotólisis de las células, o bien reducir sus defensas quedando más susceptibles a un ataque bacteriano o viral. Boyd *et al.* (1978) explican los *die-off* como alteraciones debidas a variaciones en las condiciones meteorológicas, tales como la sucesión de períodos de fuertes ensolamientos, con vientos al inicio, seguidos de algunos días de calma, etc. Podemos por tanto decir que los *die-off* pueden ser provocados o estar favorecidos por alguno de estos factores, actuando solos o bien en combinación unos con otros.

En el medio continental el fitoplancton está representado principalmente por los siguientes grupos: Chlorophytas, Euglenophytas, Cyanophytas, Pyrrophytas y Chromophytas. Si bien la clasificación de estas algas reposa sobre similitudes biológicas a nivel de los pigmentos y de los productos de almacenaje de la energía fotosintética, las diferentes especies presentan especificaciones biológicas y fisiológicas extremadamente variadas y generalmente una gran capacidad de adaptación a las condiciones medioambientales (Angeli, 1979).

Zooplancton

El zooplancton, al igual que el fitoplancton, está constituido por organismos unicelulares, si bien éstos son heterótrofos, es decir, dependen para su existencia de la ingestión de otros organismos, tales como bacterias y fitoplancton. Los principales componentes del zooplancton son, dentro de los Metazoos, los Crustáceos; y de los Protozoos, los Foraminíferos, los Radiolarios y los Tintínidos, además de todas las larvas libres de los diferentes grupos de invertebrados y de vertebrados.

Los Crustáceos son los constituyentes más numerosos e importantes, allí donde el zooplancton es particularmente rico en Crustáceos atrae y soporta una gran población de peces y otros depredadores. Dentro de este grupo, son los Copépodos los más representativos, tanto en cuanto al número de individuos como a la variedad de especies, que sobrepasan al resto de los otros Metazoos componentes del plancton. Los Copépodos libres son generalmente muy pequeños, estando su tamaño en límites comprendidos entre los 0,2 mm y los 2 cm de longitud. Los Copépodos planctónicos se alimentan fundamentalmente de Diatomeas y muchos de ellos, como

es el caso de los géneros *Diaptomus* y *Calanus*, utilizan los apéndices bucales que están provistos de cerdas que baten muy deprisa (entre 600 y 2.640 vibraciones por minuto) creando remolinos de agua que pasan a lo largo de los lados del cuerpo. Estos movimientos le facilitan la captura de los alimentos y algunos de ellos que son totalmente depredadores capturan organismos mayores, además del fitoplancton o detritos (Bayard y Mc Connaughey, 1975).

Las especies más representativas, más abundantes y de más amplia distribución, de entre los Copépodos planctónicos, son las pertenecientes al género *Calanus*, las cuales se caracterizan por presentar migraciones verticales diurnas bien marcadas en diversas áreas, así como por el fenómeno de la sumergencia en latitudes más templadas. El comportamiento de estas migraciones varía según las zonas y las estaciones y en una región determinada los dos sexos y varios estados inmaduros pueden diferir considerablemente en su distribución y movimientos verticales. Una de las especies más conocidas es *C. finmarchicus*, cuya distribución batimétrica es amplia. El género *Nannocalanus*, y concretamente la especie *N. minor*, está ampliamente distribuido en aguas tropicales y templadas de todos los océanos, es completamente euritermal y eurihalino y aunque principalmente superficial, puede ser observado en una amplia localización batimétrica. Dentro del género *Pseudocalanus*, la especie *P. elongatus* es la segunda de las especies más frecuentes del Atlántico Norte y casi siempre está asociada con enjambres de *Calanus finmarchicus*. Otro género, *Euchaeta*, comprende Copépodos que son grandes depredadores, entre otros la especie *E. norvegica* que es una de las especies mayores y más bonitas que abundan en el Atlántico Norte, alcanzando su cuerpo una longitud de 8 mm es más bien transparente y de un color rojo parecido al del *Calanus finmarchicus* (Bayard y Mc Connaughey, 1975).

Los Foraminíferos son Rizópodos provistos de caparazón, principalmente bentónicos o sésiles, aunque existe un número importante de especies pelágicas. Poseen un citoplasma que es más bien homogéneo y que sale al exterior a través de una o más aberturas de la concha y en las formas perforadas a través de muchos y pequeños poros en forma deseudópodos largos, finos y ramificados que se anastomosan en forma radiada o reticular, llamados reticulopodios, que son característicos de este grupo. Estos pseudópodos están en constante actividad, extendiéndose, contrayéndose, fusionándose, etc., generalmente el tamaño de estas especies no sobrepasan el milímetro de diámetro o de longitud, aunque algunas alcanzan varios milímetros. La alimentación de los Foraminíferos es en su mayoría a base de Diatomeas, pero las especies pelágicas pueden también capturar otros organismos como protozoos y microcrustáceos.

Los Radiolarios son Rizópodos pelágicos y en su mayoría grandes, esféricos, de 50 a varios milímetros de diámetro, que a veces forman agregados coloniales de hasta varios centímetros de diámetro. Los pseudópodos son axópodos o filópodos radiantes y en muchos existen también elementos esqueléticos radiales. Son holozoicos, se alimentan de diatomeas y de zooplancton de pequeño tamaño, que capturan

con susseudópodos. Aquellos que contienen zooxantelas pueden asimismo obtener de ellos algún material nutritivo.

Los Tintínidos constituyen una gran familia de la Clase de los Ciliados que se caracterizan por segregar una lóriga quitinosa o pseudoquitinosa dentro de la que viven. La lóriga tiene comúnmente la forma de un vaso o cuenco y en muchas especies incorporan también partículas extrañas, como granos de arena, cocolitos o detritos fecales. El cuerpo tiene forma como de trompeta y se fija por el extremo aboral, mediante una porción final estrecha en la base de la lóriga y gracias a la acción de poderosos mionemas les permite contraerse rápidamente, retrayéndose en la lóriga. Se trata de especies pelágicas libres y fijas que también se encuentran representantes en aguas dulces y salobres.

El zooplancton en los medios dulceacuícolas está constituido por especies pertenecientes a los tres grupos siguientes de Metazoos: los Rotíferos, los Cladóceros y los Copépodos. Algunos grupos de protistas pueden alcanzar un predominio en ciertos casos de aportes extraordinarios de materia orgánica, éstos son principalmente los Ciliados, Rizoflagelados y Acinetiáceas. También pueden encontrarse (si bien de forma esporádica) otros diversos grupos, tales como Heliozoos, Tecamebáceas, Celentéreos, Turbelarios, Plelmintos, Gastrotricos, larvas de moluscos, huevos y larvas de insectos, etc.

La variedad de alimentación de los Ciliados, Rotíferos, Cladóceros y Copépodos es más o menos amplia según sean las especies consideradas: la más variable es sin duda la de las grandes dafnias —tales como *Daphnia magna*— que utilizan eficazmente numerosos elementos en suspensión tales como tripton variado, bacterias, pequeños protistas vegetales o animales y numerosas algas verdes, siendo incluso capaces de utilizar los compuestos orgánicos en solución coloidal. En el lado opuesto, el espectro alimentario más estrecho se encuentra entre los Ciliados del género *Nassula*, los cuales no suelen alimentarse más que de una sola especie de Cianofíceas (Angeli, 1979).

2.3. Factores medioambientales

La mayor parte de los recursos biológicos, tanto si son cultivados como si son objeto de pesca costera se desarrollan en una pequeña franja litoral cuyas condiciones ambientales se caracterizan por importantes fluctuaciones naturales achacables a la mezcla de las aguas continentales y marinas. Esta zona, frágil y especialmente limitada, está también afectada por numerosas actividades humanas, en general menos exigentes respecto a la calidad de las aguas, pero que en definitiva son fuentes de desechos diversos de los que el mar es el receptáculo final. La calidad del agua depende entonces de su capacidad para integrar los vertidos urbanos, industriales y agrícolas en los grandes ciclos biogeoquímicos. Cuando los residuos son demasiado elevados como para ser asimilados, los equilibrios básicos de los ecosistemas que-

dan perturbados y la vida marina amenazada, se habla entonces de alteraciones o contaminaciones del medio.

Cualquiera que sea el origen de una polución, terrestre, aérea o subterránea, se encuentra tarde o temprano en el mar, tal como se puede comprobar con la simple observación del ciclo del agua (Fig. 8): mar + calor + viento → evaporación →nubes → precipitaciones (lluvias y nieves) → río → mar. En cada etapa de este ciclo abundan los ejemplos de polución: vertidos industriales y urbanos, mareas negras accidentales, etc., es decir, la diversidad de población y el comportamiento de las especies tiene como consecuencia una susceptibilidad variable en función de los diversos contaminantes.

La polución es la introducción o la presencia de un agente alterante en una zona determinada y que como resultado de dicha presencia se da un cambio en el medio, con o sin la intervención del hombre. El grupo de la GESAMP (expertos científicos de la polución marina) definió la polución de las aguas del mar como: «la introducción por el hombre en el medio marino, directa o indirectamente, de sustancias o de energía que pueden entrañar efectos perjudiciales tales como daños en los recursos biológicos, peligro para la salud humana, obstáculos para las actividades marítimas, incluyendo la pesca, disminución de la calidad del agua desde el punto de vista de su utilización para la acuicultura, etc. La contaminación o polución, tal como hemos dicho, puede ser el resultado de un fenómeno crónico o bien accidental, y consecuentemente el impacto en los recursos naturales tiene un carácter permanente o temporal. Generalmente se toman precauciones para proteger los acuicultivos de los efectos de las contaminaciones crónicas, por ejemplo eligiendo los emplazamientos de cultivo a salvo de vertidos urbanos e industriales, por el contrario, el impacto de los vertidos accidentales es más difícil de evitar.

Es evidente que las perturbaciones causadas por un contaminante o poluante serán tanto menores cuanto antes se rebaje la concentración de estos en el agua, lo cual puede realizarse por dilución, difusión, precipitación o por evaporación. Conviene por tanto preocuparse del devenir de los poluantes según sus vías de penetración en el medio marino y según las particularidades del mismo. Un poluante se caracteriza en función de su toxicidad, su persistencia en el medio, su biodegradabilidad y su acción eutrofizante. La contaminación llegará al mar por diferentes vías, tales como accidentes, vertidos, precipitaciones atmosféricas, etc. El peso relativo de los poluantes para la vida marítima varía según la vía de penetración, por ello hay que hablar de su nocividad relativa, pudiendo establecer diversas clasificaciones en función del modo de acción física, química, biológica, importancia cuantitativa, procedencia, persistencia en el medio, grado de toxicidad, etc. Vamos, por tanto, a hacer una breve relación de los posibles agentes y su acción en el medio, comenzando por analizar las diferentes formas de actuación sobre los acuicultivos:

- Poder de modificación de las características hidrobiológicas del agua (temperatura, oxígeno disuelto, contenido en sales nutrientes, etc.), lo cual favorecerá la

aparición de fenómenos distróficos, proliferaciones algales, mareas rojas y de procesos de anoxia, que ponen en peligro la supervivencia de las especies explotadas.

- Poder tóxico por la acción directa de sustancias biocidas que acarrear perturbaciones fisiológicas graves o mortalidades masivas.
- Poder de alteración o destrucción de los tejidos animales a través de biotoxinas, microorganismos patógenos y sustancias químicas diversas que hacen que la producción no sea apta para el consumo humano.

Respecto a las características químicas de los agentes que provocan los efectos contaminantes podemos agruparlos en dos categorías, los productos cuya nocividad desciende con el tiempo o contaminantes orgánicos y aquellos cuya nocividad aumenta con el tiempo o contaminantes inorgánicos.

Contaminaciones orgánicas

Los contaminantes orgánicos son aquellos cuyos perjuicios a los recursos marinos están en función de la sensibilidad de los organismos al propio poluante y a la velocidad de degradación del mismo, pero que también van a depender de las condiciones de difusión y dilución que existen en la zona contaminada. En la práctica, estos agentes poluantes intervienen esencialmente en la franja litoral después de que son degradados o diluidos. Las principales contaminaciones que originan estos poluantes son:

1. Poluciones de origen doméstico o residuos urbanos: que son el resultado de la utilización del agua de mar como medio de transporte y de dilución de los desechos domésticos de toda naturaleza, aguas cargadas de excrementos, así como los vertidos de las industrias alimentarias o aquellas contaminaciones provocadas por derrames de hidrocarburos. La composición de las aguas de origen doméstico varía según la importancia de la colectividad humana de la zona, pero siempre son ricas en microorganismos, materias orgánicas y en diversos constituyentes que provienen de la actividad diaria. Cuando estas aguas son vertidas en estado bruto en el mar las materias minerales que contienen en suspensión decantan más fácilmente que las materias orgánicas, ya que a menudo son de mayor tamaño y tienen tendencia a flotar aglutinándose en las zonas abrigadas.

En estos residuos siempre se encuentran detergentes, productos que pueden ser muy tóxicos, dependiendo su grado de toxicidad de la categoría y fórmula química. Los efectos sobre los organismos pueden variar dentro de una misma especie. La acción de los detergentes se debe esencialmente a sus propiedades tensoactivas que modifican la permeabilidad celular, a lo que son particularmente sensibles los vegetales acuáticos y los peces, sin embargo los crustáceos son más resistentes. Los detergentes se catalogan dentro del grupo de contaminantes inorgánicos, si bien, dado que forman parte de los residuos urbanos, nos referimos a ellos en este contexto.

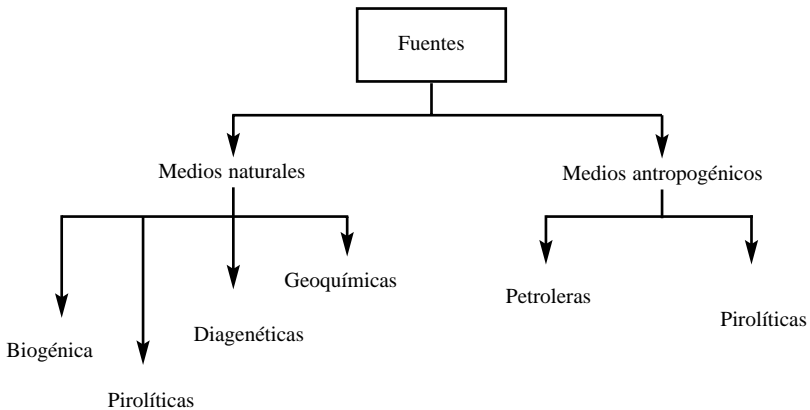
2. Poluciones por las industrias alimenticias: estas industrias son de naturaleza muy diversa, lecherías, conserveras, mataderos, etc. las cuales expulsan al medio efluentes ricos en materia orgánica que se van a comportar como las aguas

usadas urbanas. Su biodegradación consume una gran cantidad de oxígeno disuelto, provocando en ciertos casos la asfixia del medio y la muerte de los organismos que viven. Ciertas industrias (lecherías, destilerías) vierten además aguas enfriadas que agravan el déficit de oxígeno del medio. En el caso de industrias con un carácter estacionario (destilerías) se han podido constatar, durante su período de actividad, numerosas mortalidades de peces en los cursos de agua que reciben sus efluentes, provocadas por las sustancias tóxicas que contienen (Barnabe, 1991).

3. Poluciones por hidrocarburos: las contaminaciones debidas a estos productos son las que suscitan mayor atención ya que son particularmente visibles y relativamente frecuentes, siendo sus causas muy diversas, tales como vertidos de efluentes de refinerías, limpiezas de los puertos, pérdidas en las descargas o en los transportes, fugas en perforaciones submarinas, etc. Abarcan por tanto los dos ámbitos que describíamos anteriormente, es decir, se trata de un tipo de poluentes que se encuentran tanto en el ámbito telúrico como en el pelágico (Fig. 4).

Los hidrocarburos contienen una amplia clase de productos, algunos de los cuales son constituyentes normales de los tejidos animales, como el fitano, el pristano o el escualeno. Los residuos de hidrocarburos derivados del petróleo o dispersados en forma de emulsión, son ingeridos por los seres vivos y se incorporan al metabolismo lipídico.

Figura 4
Principales fuentes de hidrocarburos en el medio marino



- Biogénicas: forman parte de la composición normal de la materia viva, animal y vegetal.
- Diagénicas: compuestos resultantes de la transformación de la materia orgánica en los sedimentos bajo los efectos de agentes de origen externo.
- Geoquímicos.

4. Poluciones causadas por la propia actividad de acuicultura: las alteraciones en el medio ambiente generadas por la práctica de la acuicultura se deben, en el caso de los cultivos intensivos, a los vertidos de aguas cargadas de materia orgánica fecal y restos de alimentos, estos vertidos se caracterizan por una fuerte carga de amoníaco y materia orgánica particulada, variable según las especies y densidad de población. Respecto a los cultivos extensivos o semiintensivos en el medio natural se pueden provocar, cuando la carga de población es importante, modificaciones de los fondos por depósitos biológicos y en el caso de las instalaciones ancladas en los fondos, afectar las condiciones hidrodinámicas, ejemplo de estos casos son la acumulación de pseudoheces de mejillón en las rías gallegas o las instalaciones de parques intermareales.

5. Poluantes sin toxicidad propia: se engloban en este apartado a aquellas situaciones que pueden producir alteraciones que afecten al desarrollo de las especies aunque en sí no estén provocadas por sustancias concretas, si bien sus efectos implican la participación de componentes que pueden ser tóxicos al medio. Dentro de esta categoría situamos las poluciones térmicas y las materias inertes. Las poluciones térmicas son causadas por una rápida y anormal elevación de la temperatura debida a las aguas de enfriamiento que pueden emanar de determinadas industrias. Estos flujos de aguas cálidas empobrecen el agua del mar en contenido de oxígeno enriqueciéndola por otra parte en sales metálicas diversas a partir de las tuberías de conducción, que transportan productos químicos procedentes de las fabricaciones, o aquellos que son adicionados como el cloro, etc. Respecto a las materias inertes en suspensión, son las responsables de la turbidez, que al aumentar se convierten en perjudiciales por el hecho de limitar la penetración de la luz en el medio y por tanto entorpecer los procesos fisiológicos esenciales para la vida, tales como la respiración, la nutrición, la reproducción, etc.

Como norma general, las materias orgánicas se degradan muy fácilmente en el medio gracias a la acción de las bacterias, transformándose en compuestos elementales de los grandes ciclos de la biosfera, en agua y gas carbónico (Figs. 1, 2 y 3). La velocidad de degradación depende de la riqueza del medio en microorganismos y de la estructura molecular de las materias a diluir, siendo las sustancias naturales, en general, las que se degradan con mayor facilidad. Los efectos que pueden provocar los poluantes orgánicos en el medio tendrán un doble carácter, por una parte efectos positivos, tal es el caso de las materias orgánicas que contribuyen a un enriquecimiento del medio con lo que se favorece la producción biológica, frente a otros negativos ya que si este aporte de materia orgánica es excesivo en relación a la capacidad de absorción del medio, se estimulan fenómenos de anoxia además de afectar la fisonomía de la mayor parte de los animales y de los vegetales. En general, las poluciones de origen orgánico provocan como mínimo alteraciones, es decir, fenómenos que modifican las características hidrobiológicas del agua, tales como temperatura, oxígeno disuelto, contenido en sales nutrientes, etc., y estas modificaciones favorecen la aparición de fenómenos fisiológicos en las especies y fenómenos dis-

tróficos (proliferaciones algales, mareas rojas) o de anoxia, poniendo en peligro la supervivencia tanto de las especies que se desarrollan de forma natural en el medio como aquellas que son objeto de un cultivo.

Contaminaciones inorgánicas

Los contaminantes inorgánicos están constituidos por los productos fabricados especialmente para resistir el paso del tiempo, tales como los insecticidas clorados o los cloruros de polivinilo que presentan un grave riesgo ya que son difícilmente degradables por los procesos fisiológicos, se acumulan en los organismos y alcanzan, antes o después, la dosis letal para el organismo en que se acumula. La importancia del impacto de los contaminantes químicos sobre los organismos acuáticos depende de sus propiedades ecotoxicológicas. Otros productos, dentro de este grupo, son los llamados metales pesados, los cuales jamás forman parte de la constitución normal de los tejidos vivos, como son el mercurio, el cadmio o el plomo. Este tipo de poluentes, fijados por los organismos más elementales, se transmiten a lo largo de las cadenas tróficas por vía digestiva de tal forma que su concentración, después de pasar por varios hospedadores intermediarios alcanza un factor superior a 10^5 .

Las principales fuentes de contaminaciones inorgánicas son:

1. Poluciones ligadas a las actividades agrícolas: se deben fundamentalmente a los pesticidas, y suelen estar provocadas por los residuos de los tratamientos fitosanitarios o insecticidas y por los vertidos de las industrias de transformación de los productos agrícolas.

2. Poluciones provocadas por vertidos de compuestos organometálicos: se trata de compuestos que son introducidos en el medio marino por vertidos directos (biocidas) o bien como desechos en las aguas industriales residuales, pero que también pueden ser el resultado de una síntesis de los sedimentos por parte de determinados microorganismos. El origen de estas contaminaciones parte de la producción industrial de compuestos de arsénico, mercurio, plomo y estaño asociados con grupos alifáticos y aromáticos para formar organomercúricos, organoestánicos y organoplúmbicos, los cuales son utilizados como biocidas, antioxidantes en los carburantes, agentes de síntesis, etc.

Los compuestos organoestánicos y más concretamente los tributil estaños, han sido ampliamente utilizados en la protección de los cascos de los buques contra las colonizaciones biológicas. El TBT liberado por las pinturas «antifouling» es altamente tóxico para las larvas de moluscos cuyo desarrollo se ve inhibido por concentraciones del orden de $0,1 \mu\text{g/l}$ (Heral *et al.*, 1981).

Otros metales, como es el caso del cadmio, pueden ser considerados como peligrosos si existe un proceso de concentración en los organismos vivos, se trata de un metal que tiende a ser retenido sobre todo por los crustáceos y moluscos. Respecto al cobre, éste es un constituyente normal de los invertebrados marinos debido a que su pigmento respiratorio, la hemocianina, contiene una media de 0,25% de dicho metal, pero puede presentar problemas cuando se encuentra en tasas elevadas

en el medio, así, por ejemplo, las ostras, cuando viven en aguas ricas en cobre, pueden fijar cantidades muy superiores a las que son necesarias. El plomo en dosis elevadas puede causar la muerte de organismos marinos, se da igualmente un proceso de acumulación en los organismos.

En conclusión, los derivados de algunos metales constituyen un serio riesgo tanto para las poblaciones acuáticas como para el consumidor debido fundamentalmente a su carácter de acumulación. Parece que algunos peces como el salmón pueden detectar débiles concentraciones de zinc o de cobre y modificar así su migración, pero a su vez, la sensibilidad de los órganos olfativos puede ser perturbada por ejemplo por los detergentes o los hidrocarburos. Este sería uno de los ejemplos conocidos de sinergia entre los polutantes (Barnabe, 1991).

Contaminaciones bacterianas

Se trata de un tipo de poluciones a las que no queremos dejar de referirnos ya que, como hemos visto al estudiar las bacterias, éstas desempeñan un papel importantísimo en el medio acuático, a todos los niveles, interviniendo en los ciclos vitales, en los metabolismos bioquímicos, fisiológicos, etc. y fundamentalmente, bajo el aspecto que estudiamos en este apartado de contaminación, actúan a nivel de la materia orgánica, degradando substancias que suministran a la microflora un material que favorecerá su desarrollo.

Dentro de la flora bacteriana, las especies predominantes son las pertenecientes al género *Pseudomonas*, seguidas por *Achromobacter*, *Acinetobacter*, *Flavobacterium*, *Serratia*, *Vibrio*, etc. En la zona litoral esta microflora se enriquece de especies que vienen de la tierra, aportadas por las aguas fluviales, los vientos o los arroyos. Generalmente, el número de bacterias disminuye en función de la distancia del punto de vertido en razón de la dilución, de su adsorción sobre las materias vivas y de las materias inertes en suspensión que, según su peso específico, son transportados por las corrientes o por el contrario son sedimentadas rápidamente, y también en razón de acciones antagonistas que encuentran en el medio.

La dispersión, es decir la desaparición de bacterias, está unida asimismo a numerosos factores que tienen una acción favorable o retardadora. Parece que se efectúa sobre todo por dilución, adsorción y sedimentación de microorganismos. Por otra parte, la dilución interviene inmediatamente después de la emisión, ésta se ve favorecida por la mezcla de las aguas, corrientes, turbulencia y acción de las mareas y por el contrario retardada por los motivos inversos y por la persistencia del fluido superficial de agua dulce a lo largo de un efluente que no abandona más que lentamente sus contaminantes.

La adsorción es un fenómeno mediante el cual las bacterias se enganchan (adhieren), estas materias suministran un soporte y un vehículo a los organismos aislados de la alcantarilla, la adsorción contribuye entonces a un aislamiento de los gérmenes y a una primera y eficaz disociación de la carga poluante. La sedimentación (directa o indirecta después de la adsorción), determina la desaparición momentánea

de las bacterias, observándose efectos positivos cuando las aguas son tranquilas, pero ante la turbulencia del medio los efectos serán negativos.

Los factores que influyen sobre el contenido bacteriano global pueden ser de tipo físico, tales como las mareas que intervienen para arrastrar los contaminantes hacia la lejanía o los llamados fenómenos de depuración basados en el efecto depurador de los rayos ultravioleta que se dan en las capas superficiales, si bien la acción de este efecto no pasa de una profundidad comprendida entre 0,05 m y 0,20 m en función de la turbidez.

2.4. Mareas rojas

Referirnos a las mareas rojas nos parece imprescindible en el contexto de cualquier análisis acuícola marino, ya que éstas forman parte del desarrollo del medio en la mayoría de los países situados entre los paralelos 60 Norte y Sur. La situación dentro de un apartado u otro nos hizo dudar, ya que si bien no se trata de procesos contaminantes en sí, por los efectos que pueden ocasionar cabría verlas como tal, sin embargo no creemos que deba dársele este contenido. Por otra parte, dentro del análisis del fitoplancton encajaría su estudio, pero dados los efectos que provoca requiere un análisis más individualizado.

Haciendo algo de historia, encontramos alusiones a las mareas rojas en los versículos 20 y 21 del Libro VII del Éxodo en los se narra cómo en el doloroso viaje de los hebreos capturados por el faraón de Egipto *el mar se vuelve de sangre*. Más próximas a nosotros son las referencias sobre los primeros compañeros de Hernán Cortés cuando comienza la conquista y evangelización de México en las que se relata cómo los indígenas consideraban *un mal presagio* la presencia de aguas rojas que con relativa frecuencia hacían su aparición sobre las costas. Estos fenómenos que eran descritos por diversas culturas como fenómenos sobrenaturales, encontraron su primera explicación científica en C. Darwin con ocasión de su participación en un viaje alrededor del mundo a bordo de la corbeta «Beagle» en 1835 y en la que, a lo largo de la costa chilena, analizó al microscopio los primeros organismos vivos que estaban presentes en ciertas *aguas rojas*, concluyendo que *un agua roja perceptible al ojo, visto desde el puente de un barco, es un fenómeno esencialmente superficial y se debe a organismos que están localizados entre la superficie y dos o tres metros de profundidad*. Tales fenómenos, según el propio Darwin, *pueden manifestarse con una intensidad de color muy irregular, pudiendo observar manchas rojas en algunas decenas de metros cuadrados o largas bandas con un color intenso al lado de otras cuya coloración no es perceptible al ojo. Por otra parte las mayores intensidades se desarrollan en las zonas costeras*.

Por tanto, entre las alteraciones que se producen en el medio existen las de origen biológico, las llamadas mareas rojas, que son el resultado de una proliferación intensa de diversos organismos fitoplanctónicos, cuya concentración en la

superficie da a las aguas marinas una coloración inhabitual, que puede variar del amarillo al rojo vivo, pasando por tonos ocres, según la densidad y la naturaleza de los organismos responsables. La coloración es sobre todo visible en la superficie, y no suele pasar de los 5 m de profundidad. La brevedad relativa del fenómeno, algunas horas a varios días, va a la par con la variabilidad en las sucesiones de las poblaciones planctónicas que las producen, es decir, los organismos microscópicos pertenecientes, en su mayoría, al reino vegetal, siendo los Fitoflagelados los más abundantes, y dentro de ellos, los Dinoflagelados. También se pueden dar manifestaciones de estas características a partir de bacterias marinas implicadas en el ciclo del azufre, esto puede suceder en medios más o menos cerrados, tales como lagunas costeras, salinas, etc.

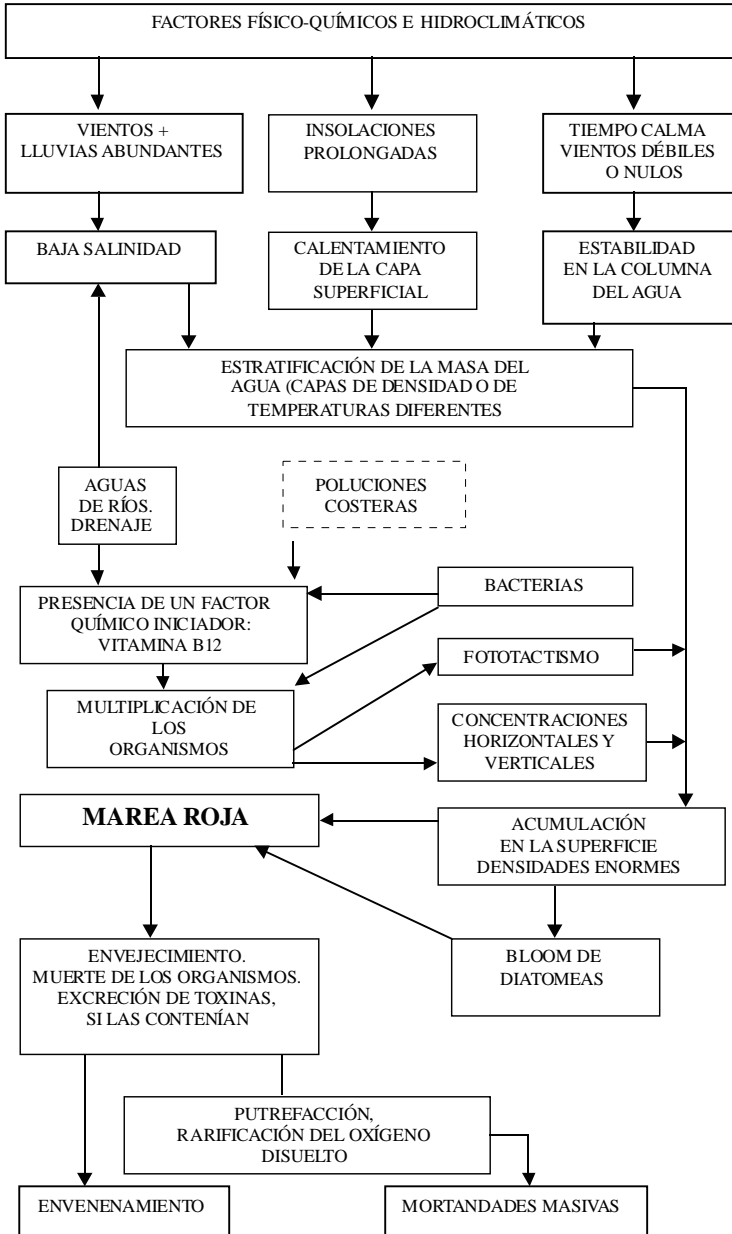
En definitiva, la aparición de las mareas rojas se debe a dos tipos de mecanismos, por una parte, a la multiplicación importante de los organismos planctónicos, favorecida por factores hidrológicos, climáticos y químicos y por otra, a la concentración de estos organismos, mantenida por las propias condiciones favorables a este agrupamiento, en la que están implicados factores físicos, meteorológicos y/o hidrológicos. En estos medios y en las condiciones propicias de desarrollo de floraciones excesivas de fitoplancton, se puede producir un desequilibrio temporal que afecta a las aguas aumentando el contenido en oxígeno disuelto durante el día hasta saturaciones del 200% pero que caen durante la noche, pudiendo llegar a ser nula. La demanda biológica en O_2 en las aguas, en el curso de estos fuertes desarrollos fitoplanctónicos es muy elevada, pudiendo sobrepasar la que se requiere ante altas tasas de contaminación. Cuando el aporte de O_2 no es satisfactorio, se darán condiciones anaerobias en el medio, lo que ocasionará una descomposición de la materia orgánica particular en medio reductor con eventual liberación de hidrógeno sulfuroso cuya toxicidad es motivo de preocupación en los medios acuícolas.

Entre los factores que influyen en los procesos de formación de estas mareas rojas son importantes los siguientes (Fig. 5):

- Temperatura del agua: La aparición de estos fenómenos suele darse después de un período prolongado de temperaturas altas del aire y del agua, coincidiendo con ausencia de agitación de su masa. Aunque la elevación brusca de la temperatura del agua puede ceder a veces en invierno, es evidente que debe darse con mayor frecuencia a principios y/o finales del verano, acompañándose incluso con la formación de una termoclina.
- Salinidad: Se favorece el fenómeno de las mareas rojas ante una bajada de salinidad, que se da por aportes de agua dulce de tierra o por una fuerte pluviosidad.
- Sales nutritivas: Los Dinoflagelados, causantes de las mareas rojas, se desarrollan con facilidad en concentraciones extremadamente bajas de nitratos y fosfatos (sales necesarias para el desarrollo del fitoplancton), de ahí que estas poblaciones puedan subsistir ante concentraciones casi indetectables de sales nutritivas, frente a otros organismos del fitoplancton que frenarían su desarrollo por carencias o bajas concentraciones de sales nutritivas.

Figura 5

Situaciones que influyen en la aparición de las mareas rojas
(Polanco, 1984)



- Aportes de poluentes: Las fuentes de polución, particularmente las de origen urbano, se invocan como factor amplificador del fenómeno, sin embargo, aunque constituye un factor favorecedor, no por ello representa un elemento necesario para el desencadenamiento de estos episodios, de ser así, la frecuencia de observación de las mareas rojas debería de ser máxima en las zonas más contaminadas, tales como los estuarios del Mediterráneo, por el contrario, se puede constatar que si bien se dan acontecimientos de este tipo sobre dicho litoral, estos no son mas importantes que los ocasionados en las costas Atlánticas.

- Movilidad: Los Dinoflagelados causantes del episodio se reagrupan por un fenómeno de concentración hidrológica, que explica el considerable número de células observadas en la superficie, ya que a pesar de su fototactismo positivo son inhibidas por una luminosidad demasiado fuerte, motivo por el cual el factor de movilidad del agua es decisivo en la acumulación o no de dichos organismos.

- Procesos de acumulación: Son producidos por el empuje de las aguas superficiales hacia la costa por la acción de los vientos, acumulándose los Dinoflagelados a lo largo de la zona, en donde las aguas se sumergen a una débil profundidad para regresar mar adentro.

- Fenómenos de convergencia: Basados en que los Dinoflagelados se concentran a lo largo del frente, separando dos masas de agua de densidades diferentes; éste puede ser el caso del agua caliente costera y del agua fría interna, o bien agua oceánica y agua dulce aportada por los desbordamientos o por el drenaje terrígeno debido a las lluvias.

- Movimientos de convención: Al igual que en el caso de los procesos de acumulación son fenómenos que dependen de la acción de los vientos, los cuales pueden dar lugar a movimientos ciclónicos y anticiclónicos, facilitando la concentración de los Dinoflagelados a lo largo de las líneas de convergencia.

Hemos relatado las causas que favorecen la aparición de las mareas rojas, pero también existen numerosos factores que pueden interrumpir el proceso, entre otros cabe destacar como limitantes la insuficiencia de elementos nutritivos para sostener una densidad de organismos tan elevada como la que se produce en estos fenómenos, o el envejecimiento de éstos, haciendo que las células pierdan movilidad y provoquen su sedimentación sobre el fondo, o bien modificaciones hidrológicas o climáticas, tales como un régimen de vientos que perturben las condiciones favorables, o una bajada de las temperaturas del agua, etc., o incluso la intervención de depredadores, como pueden ser las especies de Dinoflagelados *Noctiluca scintillans*, o bien de ciliados, como *Favela ehrenbergii*.

Por otra parte, Mariño y Maneiro (1993) han constatado que los episodios de mareas rojas pueden ser pronosticados con cierta antelación si se conocen las condiciones ambientales, lo cual según estos autores permitiría *advertir al sector de la acuicultura del peligro existente, disminuyendo o anulando en ambos casos el problema económico y haciendo desaparecer el problema sanitario en conjunción con los bioensayos.*

2.5. Descripción de zonas: zonas útiles o aprovechables

La evolución histórica nos muestra cómo la selección de zonas ha ido paralela a la elección de especies, de tal forma que podemos afirmar que para una buena gestión de espacios y éxito en la elección de especies, estas últimas han de ser adaptables a las condiciones climáticas y geográficas de las zonas a considerar, y en este sentido, las características a las que deben atenderse, por ser determinantes en la definición de formas de explotación, son básicamente, para el caso de pretender desarrollar moluscos y/o algas, que las zonas sean relativamente cerradas, protegidas de los temporales y caracterizadas por tasas de renovación del agua moderadas, con tiempos de residencia altos y por tanto nutricionalmente elevados; si por otra parte, las especies que se van a cultivar son peces y/o crustáceos, hemos de tener en cuenta la existencia de un substrato arcilloso favorable al establecimiento de estructuras de cultivo en tierra, así como los regímenes hidráulicos, definidos por el ritmo bicotidiano de marea y el ciclo mareas vivas-mareas muertas. Un buen conocimiento de la riqueza orgánica de los fondos (parques intermareales, marismas, etc.) es, asimismo, la base de una buena gestión del medio, por lo que es aconsejable realizar un análisis de los parámetros mas fundamentales, sabiendo que los resultados permitirán evaluar la eficacia de la preparación de las zonas así como el tipo de acciones deseables para un mejor resultado de las explotaciones, unido a una gestión favorable de los espacios.

Para abordar el análisis de las zonas de utilidad para el desarrollo acuícola es preciso no solo hacer los exámenes de las características de los espacios litorales sobre los que caben acciones de aprovechamiento sino que hay que referirse asimismo a aquellas zonas húmedas cuyo desarrollo acuícola está claramente justificado. Igualmente hay que prestar atención a las características geomorfológicas de los fondos intermareales y por supuesto que las zonas naturales sean accesibles administrativamente hablando.

A la hora de plantearse cualquier tipo de desarrollo acuícola es preciso disponer de una zona que reúna las mínimas condiciones para implantar el cultivo de la especie o especies que se adecúen al mismo, si bien de una manera general la acuicultura puede desarrollarse en cualquier espacio en el que las condiciones climatológicas, medio-ambientales y/o sociales lo permitan. Tal como estamos viendo a través de este estudio, será preciso mantener unos criterios claros respecto a la clasificación del litoral por zonas, las cuales obligan a la inclusión de una serie de factores de cuya elección dependerá en buena medida el éxito de la producción. Partiendo de una clasificación teórica, basada en aspectos tales como parámetros climáticos, valores físico-químicos del agua, corrientes marinas, etc., podemos hacer tres grupos:

- Zonas óptimas para el desarrollo de especies acuícolas.
- Zonas potencialmente utilizables para el desarrollo de especies acuícolas.
- Zonas no aptas para el desarrollo de especies acuícolas o declaradas especialmente para otros fines.

Respecto a la acuicultura marina, debido a que está íntimamente ligada a las zonas costeras, el conocimiento de las características de éstas es del máximo interés a la hora de seleccionar las zonas aptas para esta actividad. Cuantos más kilómetros de costa tenga una región, tanto más fácil será encontrar en ella la ubicación óptima para los cultivos, lo mismo para aquellos que vayan a desarrollarse en espacios abiertos como en estructuras ubicadas en tierra.

Generalizando, se puede decir que la Península Ibérica presenta un clima con carácter mediterráneo, con temperaturas medias altas, escasa pluviosidad, especialmente en la estación veraniega, e inviernos suaves, contraponiéndose el carácter continental de gran parte del territorio a una zona periférica abierta a las influencias directas del Mediterráneo y del Atlántico, siendo precisamente las zonas costeras las que gozan de un régimen más uniforme. Respecto a las corrientes marinas, es imposible dar una idea general por cuanto las que interesan, desde el punto de vista de la acuicultura, son corrientes costeras cuyo conocimiento y variaciones estacionales son muy locales, por lo que habrá, siempre que se pretenda realizar alguna implantación de cultivo, que particularizar las condiciones de cada zona en estos aspectos. El conocimiento de la insolación es también importante, principalmente por dos razones, por lo que significa en el control de la época de puesta de peces y crustáceos, que depende de la evolución estacional de las horas de sol al día, ya que están controladas por la temperatura y las horas de luz, por lo que conociendo estas variables y la época natural de puesta de una especie, puede atrasarse o adelantarse ésta mediante su manipulación artificial. Otra de las razones es por el aprovechamiento de la energía radiante para calentar el agua, lo que depende, asimismo, de la intensidad de la radiación. El aumento de temperatura y el aumento de horas de luz al día van correlativos, ya que el primero es el resultado de una mayor insolación.

El estudio de los datos de ubicación delimitará algunas características de diseño para resolver los problemas que se planteen en cada caso. Las soluciones se pueden prever de antemano si el terreno se conoce bien y si se tienen todos los datos recopilados, ya que puede haber datos críticos que por sí solos pueden hacer la zona inútil para la ubicación de una *hatchery*, por ejemplo, la existencia de metales pesados en el agua. Además de estos, a partir de los climatológicos, los fisicoquímicos y los valores de fitoplancton y zooplancton, se pueden construir mapas en los que se identifiquen las zonas óptimas de un cultivo, y ello va a permitir por un lado evaluar la aptitud probable de un emplazamiento apto, en función de la presencia o ausencia, escasez o abundancia, de especies conocidas y por otra parte facilitar la comprensión de los fenómenos accidentales (reducción o retardo de la tasa de crecimiento, mortalidades eventuales, etc.), difícilmente explicables de otra manera, posibilitando todos estos conocimientos las comparaciones entre zonas de producción próximas.

Zonas litorales

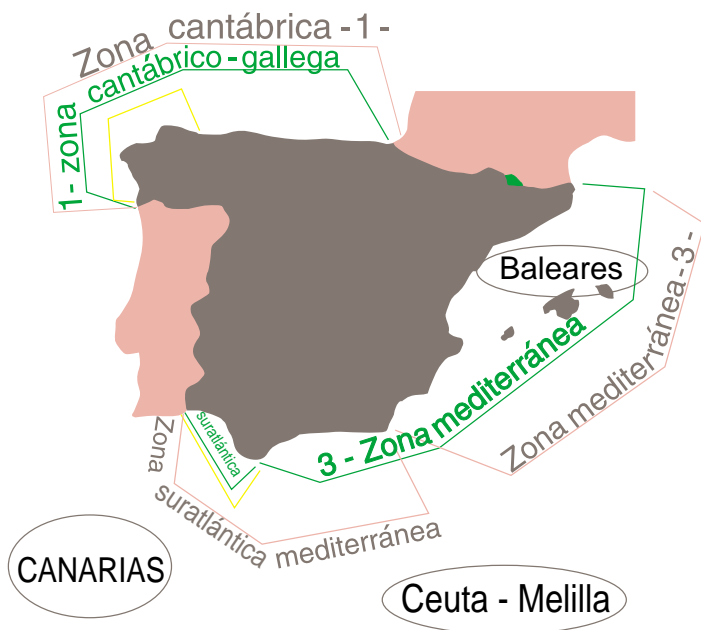
El perímetro de costa del territorio del Estado español es de 5.968 km, de los cuales 3.904 corresponden a la península y 2.064 km a las islas, y que los diversos paráme-

tros que influyen en el desarrollo de las especies difieren de unas zonas a otras. Se ha realizado una primera distribución de zonas útiles con motivo de la incorporación de España a la Comunidad Europea (Vázquez *et al.*, 1995) quedando finalmente dividido el litoral en cuatro grandes áreas (Fig. 6):

1. Zona cantábrica, que abarca las Comunidades de el País Vasco, Cantabria, Asturias y Galicia.
2. Zona suratlántica-mediterránea, comprende Andalucía, Ceuta y Melilla.

Figura 6

División del litoral por zonas acuícolas



ZONAS ACUÍCOLAS TRADICIONALES

1986: DIVISIÓN DEL LITORAL SEGÚN P.O.P. 1986: Se añade posteriormente Canarias, Ceuta y Melilla.

1987: DIVISIÓN DEL LITORAL SEGÚN O.C.D.E. 1989:

1. Zona cantábrica (País Vasco, Cantabria, Asturias y Galicia).
2. Zona suratlántica-mediterránea (Andalucía, Ceuta y Melilla).
3. Zona mediterránea (Murcia, Valencia, Cataluña y Baleares).
4. Zona canaria.

3. Zona mediterránea, con los siguientes territorios, Murcia, Valencia, Cataluña y Baleares.

4. Zona canaria, comprende todo el Archipiélago de Canarias.

Brevemente, vamos a referirnos a las características generales de los entornos de estas zonas:

1. Zona cantábrica

A la vertiente atlántica y cantábrica corresponden aguas con gran dinamismo (corrientes, mareas, etc.) y una salinidad media de 35-36‰. Las condiciones ecológicas dotan a estas costas de una extraordinaria riqueza ictiológica, presidida por la múltiple variedad de clase en la fauna marina y dentro de estas clases y sus órdenes por una sorprendente diversidad de familias zoológicas, divididas a su vez en una rica gama de variedades. En las costas correspondientes a esta primera zona deben distinguirse dos secciones, la cantábrica, que se extiende desde el Bidasoa a la ría del Eo, o límite entre Asturias y Galicia y la gallega, que abarca desde ese punto hasta la frontera portuguesa.

El litoral cantábrico presenta ciertas particularidades, entre las que se pueden citar el carácter rectilíneo de sus costas longitudinales respecto a las estructuras de la cordillera, hundimiento rápido en el mar, formas acantiladas dominantes, escasez de playas, costas bajas y existencia de pequeñas rías. En general, las condiciones hidrográficas de las aguas superficiales de estas zonas presentan una clara variación estacional, las temperaturas con valores mínimos en invierno, del orden de los 11-12 °C, y máximos en verano, entre 20 y 22 °C. Los valores de salinidad están así mismo comprendidos entre los aceptables oscilando alrededor del 35‰, es decir, las condiciones ambientales, hidrográficas y climatológicas son excelentes para la reproducción y el crecimiento de numerosas especies (Pardellas y Polanco, 1987).

La costa correspondiente al País Vasco abarca desde el río Bidasoa hasta la punta del Corvaron y a pesar de que en estudios realizados anteriormente (Arnal, 1980) sobre la potencialidad de este litoral para el desarrollo de la acuicultura, se llegaba a la conclusión de que se trataba de una zona no aconsejable, en la actualidad debe de tenerse en consideración ya que según la evaluación de zonas de producción de moluscos y otros invertebrados (*BOE* del 12-II-97) existen poblaciones de los mismos en diversas áreas de la ría de Hondarribia, la de Lekeitio, la de Mundaka y la de Plencia. Esta riqueza de especies significa que las condiciones naturales de esas zonas son favorables para el desarrollo de las mismas y de otras que precisen de esas condiciones ambientales y biológicas.

La Comunidad cántabra comprende desde el tramo limitado por la punta del Corvaron al este y la desembocadura del río Cares al oeste; a lo largo de este litoral existen zonas abrigadas que son muy favorables para el desarrollo de diversas especies en régimen de cultivos (Polanco, 1997), en cuanto a la región asturiana, comprende desde el río Cares (ría de Tinamayor) hasta la desembocadura del río Eo, la

costa es en general muy expuesta siendo la ría del Eo la que presenta mejores características para el desarrollo acuícola.

Especial atención hemos de dedicar a las costas gallegas, no solo por la peculiaridad de sus características sino porque (debido en gran parte a ellas) es la región de España en la que los cultivos están más desarrollados. Se extienden desde Estaca de Bares, que es la punta más septentrional del norte de la península, hasta la frontera portuguesa y constituye la costa más ricamente articulada del litoral español, con las llamadas rías. A nivel de análisis de estas rías hay que distinguir entre las Altas, que abarcan desde la ría de Ribadeo hasta la de Corcubión y las Bajas desde la ría de Muros-Noya hasta la ría de Vigo. Estas rías son un ejemplo de circulación estuárica positiva, en las que se da una entrada de agua dulce por su parte interior procedente del aporte de los ríos, la cual al ser menos densa fluye por la parte superficial mezclándose con el agua salada a medida que avanza hacia la boca de la ría, por lo que existe un transporte superficial de agua salada hacia el océano que viene compensado con la entrada de agua oceánica por el fondo de la ría que se va mezclando verticalmente con el agua superficial que sale (Margalef, 1974).

Las rías Altas son más estrechas que las Bajas, explicándose la magnitud de estas últimas como debidas a fracturas excavadas y a la pendiente de los ríos que en ellas desembocan. Existen también diferencias a nivel biológico y ecológico, así como en cuanto a la aplicación del desarrollo tecnológico, por las distintas acogidas respecto a las estructuras de cultivo. Las rías Bajas son embudos anchos y profundos y muy sinuosos y han sido originadas por fracturas paralelas entre sí, producidas ya sea por fallas únicas (Vigo, Arosa), ya sea por fosas de hundimiento limitadas por fallas (Noya, Pontevedra). Existe una zona que se puede catalogar como rías Centrales (La Coruña, Ferrol, Betanzos, etc.), que son simplemente valles fluviales inundados pertenecientes a un fragmento de costa sumergido en bloque.

En general, el clima es suave, con pequeñas variaciones estacionales, encontrando que a medida que bajamos desde el N-W hasta el S-E o S, sucede que hay un aumento general en la temperatura, así como en las máximas y mínimas mensuales, a la vez que es mayor la oscilación térmica. Las medias anuales más bajas aparecen en las áreas más interiores como resultado de existir una estación invernal más o menos acusada. En cuanto a las lluvias, aparece una franja septentrional con precipitaciones abundantes, debido al paso frecuente de ciclones por el norte (Polanco, 1985).

2. Zona suratlántica-mediterránea

En esta zona se sitúa todo el litoral de Andalucía, Ceuta y Melilla, es decir, abarca parte del litoral Atlántico y parte del Mediterráneo. En la costa Mediterránea los caracteres son más variados, se trata, a diferencia de lo que decíamos respecto a las rías gallegas (tomado como un ejemplo a macroescala) de zonas en las que la circulación estuárica es negativa, es decir, la evaporación puede superar a los aportes interiores de agua dulce, dándose entonces una entrada superficial de agua oceánica para

compensar el exceso de evaporación y una salida inferior del agua concentrada. En estas aguas hay un dinamismo muy escaso, apenas puede hablarse de mareas, las temperaturas son más altas y la evaporación más intensa, oscilando la salinidad entre 37 y 38‰. Por otra parte, al ser las mareas insignificantes y menor intensidad del oleaje que en las costas del Atlántico y Cantábrico, los sedimentos arrastrados por los ríos se acumulan en las desembocaduras, hecho por el cual son tan frecuentes los deltas fluviales y las llanuras aluviales en estas costas.

La parte de esta segunda zona, correspondiente al litoral Atlántico, comprende desde la desembocadura del Guadiana, junto a la frontera portuguesa, hasta el peñón de Gibraltar, a lo largo de 294 km, en la cual se extiende la planicie del golfo de Cádiz, con las desembocaduras de los ríos Guadiana, Tinto, Odiel, Guadalquivir, Barbate y Guadalete. Aparece aquí un tipo de costa baja, completamente diferente por sus dimensiones a las restantes de la península, a la que corresponde la parte más abatida de la gran depresión del Guadalquivir. La costa es un relleno construido por capas horizontales de materiales blandos, arcillosos o margosos que progresivamente se ha ido transformando en marismas, mientras en el antiguo cordón litoral o restinga que cerraba el lago se ha desarrollado la gran extensión de las Arenas Gordas, en las que existen dunas. Las actuales desembocaduras fluviales son estuarios, en los cuales la intensidad de las corrientes marinas ha impedido, hasta ahora, la formación de deltas, proceso mucho más lento que en el litoral Mediterráneo.

Respecto a la zona situada en el litoral Mediterráneo, que abarca desde Gibraltar hasta las costas de Águilas, se trata de una costa bravía o acantilada, sin embargo, es muy diferente a la costa Cantábrica, pues con las costas acantiladas alternan largas secciones de costas bajas. Los roquedos que llegan al mar están formados de materiales esquistosos blandos y la celeridad de los procesos sedimentarios ha originado, en grandes sectores de este litoral, acumulaciones de potentes conos torrenciales y una estrecha llanura litoral casi continua. Toda la costa registra un levantamiento continuado, lo cual ha acelerado todavía más el ritmo sedimentario propio del Mediterráneo, de aquí que falten las rías, propias de una costa de hundimiento menos evolucionada (Coll Morales, 1991).

3. Zona Mediterránea

Se incluyen en esta tercera zona los siguientes territorios, Comunidades de Murcia, Valencia, Cataluña y Baleares, todos ellos bañados por el Mediterráneo.

El litoral correspondiente a la Comunidad de Murcia comprende desde las costas de Águilas hasta San Pedro del Pinatar, se caracteriza por los fuertes cantiles que caen sobre el mar y que dejan algunas depresiones transversales por las que desaguan ramblas, las cuales con sus aluviones contribuyen, junto con las corrientes de deriva litoral, a configurar las áreas de playas arenosas existentes, como por ejemplo La Manga, fruto de la lengua de arena formada, principalmente, con aluviones del río Segura, que ha separado un trozo de mar configurando la laguna del Mar Menor.

La Comunidad valenciana abarca el litoral que va desde San Pedro del Pinatar hasta el sur del delta del Ebro. Hasta el cabo de La Nao, las características del litoral y climatológicas son similares a las correspondientes al litoral de Murcia, sin embargo, en la costa que va desde el cabo La Nao al delta del Ebro, los deltas existentes se adentran poco en el mar, en parte por ser de tipo torrencial y pertenecer a ríos poco importantes y, en parte, porque la corriente de dirección sur que bordea el litoral arrastra los sedimentos hacia el sur, extendiéndose una planicie litoral que en algunos puntos, como en Castellón y Valencia, alcanza de 20 a 35 km de ancho, la cual desciende suavemente hacia el mar.

El litoral catalán se caracteriza por poseer aspectos muy contrastados, con pequeñas llanuras litorales, costas acantiladas, algunos deltas, principalmente el del Ebro, que es el mayor existente en el litoral peninsular, y las formas abruptas de la Costa Brava. El delta del Ebro forma una gran llanura aluvial de forma típicamente triangular, alargada de este a oeste, con una boca única y punta aguzada y dos lóbulos muy desarrollados, uno al norte, que forma el puerto de Fangar, y otro al sur que forma el de los Alfacs, ambos de escasa profundidad. Abundan en esta costa las lagunas y albuferas.

La región balear abarca las costas de las islas que se caracterizan en general por ser abruptas y poseer numerosas calas, en las cuales la renovación del agua no es frecuente, lo que hace que la temperatura de ésta alcance valores elevados, como por ejemplo, la costa este de Menorca, la bahía de Palma o el suroeste de Mallorca.

4. Zona Canaria

Comprende el archipiélago canario, cuyas costas se caracterizan por sus acantilados escarpados y ser poco abrigadas debido al origen volcánico de su geomorfología, presenta temperaturas y salinidades elevadas y prácticamente constantes con una productividad primaria muy baja. Según Arnal (1980) existen zonas que poseen características favorables para el desarrollo de la acuicultura en Gran Canaria, en Lanzarote y en Fuerteventura, asimismo existen varias salinas en las que se pueden llevar a cabo los cultivos.

Zonas de esteros y marismas

Como muchos de los medios que tienen relación con el mar, los esteros y marismas poseen una elevada productividad primaria, debida fundamentalmente a la poca profundidad y a los aportes regulares de elementos nutritivos por la marea entrante y por las aguas fluviales, con fuertes producciones vegetales de fitoplancton y algas. Estos componentes biológicos pueden verse modificados por las estructuras que ha ido creando el hombre, tanto en dirección positiva como negativa, y en tal sentido, las alteraciones producidas sobre estos ecosistemas han tenido múltiples aspectos, influyendo no solo en la determinación de los usos locales en materia de explotación diversificada de los recursos naturales o de los aprovechamientos tradicionales,

agropecuarios, silvícolas, cinegéticos, pesqueros y marisqueros, etc. sino también en lo que respecta a la aplicación de la gestión colectiva del agua, etc.

El papel ecológico de las marismas saladas y su interés a nivel del medio litoral son ampliamente conocidos y defendidos por los científicos y evidenciados por los profesionales. Se trata pues de un papel de zona tampón entre las aguas dulces y las aguas saladas que permite regular los aportes del agua dulce y los elementos fertilizantes a nivel de los sitios de producción y limitar el impacto de las cargas contaminantes provenientes de los depósitos vertientes sobre el medio de cultivo o arenal (Polanco, 1998).

Las zonas húmedas representan para numerosas especies biotopos irremplazables, entre todas ellas son los pájaros migratorios o sedentarios los ejemplos mejor conocidos, sin embargo es preciso destacar que la riqueza biológica de las marismas reposa sobre la existencia de biotopos de comunidades naturales de plantas y animales de todos los órdenes que viven en interdependencia, de tal forma que encontramos especies animales y vegetales en las siguientes áreas de influencia de las marismas:

— Las zonas de arenal, en los canales y las depresiones de las mareas salobres, que están pobladas por juveniles de peces marinos.

— Los canales y las fosas que constituyen las vías de circulación de alevines de peces migradores y además son ecosistemas de los que forman parte esencial las comunidades ictiológicas.

— Las praderías naturales.

— Las depresiones húmedas de marismas dulces.

El funcionamiento normal de las marismas permite que éstas efectúen la depuración natural de sus aguas y que a la vez actúen de tampón contra las crecidas realizando para ello los siguientes movimientos:

a) Intercambios de materia con el arenal.

b) Recogida de alevines de peces y crustáceos procedentes de la zona costera (disponibilidades tróficas).

c) Invernada, herbaje y nidificación de numerosos pájaros.

Por último, decir que existen varios tipos de agua a lo largo de un ciclo de marea y que presentan diversas características según el momento de marea a que corresponda, así, al inicio de la bajada de la marea, son aguas mixtas, saladas y a veces dulces, provenientes de las marismas, recalentadas en verano y refrigeradas en invierno; en medio de la bajada, las aguas de vaciado de la marisma son sobre todo dulces pero cargadas de materia orgánica y de algas muertas y con frecuencia enriquecidas en oxígeno por el flujo turbulento en la superficie del depósito que se forma para el agua de la marea alta y al final de la bajada de marea son aguas de chorro sobre la superficie del depósito que se forma para el agua de la marea alta (reservorio) y sobre el fondo de los canales del mar a las marismas, estas aguas son muy turbias y a veces muy ricas en amoníaco, en definitiva, son poco favorables para la acuicultura a pesar de que su contenido en oxígeno suele ser suficiente.

En las marismas se desarrollan de forma natural numerosas especies pesqueras y marisqueras, por ser unas zonas biológicamente ricas y constituir hábitats apropiados para albergar tanto semillas de moluscos como alevines de peces y crustáceos que se introducen por los movimientos de mareas, favoreciendo la reproducción y el desarrollo de dichos grupos de especies que sin duda erigen una riqueza tanto si se dirige a actividades de repoblación de la costa con especies autóctonas como si se potencian aquellas que por su interés económico pueden ser comercializadas. En definitiva, las marismas bien gestionadas han demostrado ser excelentes herramientas en la ordenación de los recursos vivos litorales, pudiendo formar una fuente generadora de riqueza para los habitantes de esas zonas húmedas. Las especies pesqueras que ya se encuentran de forma natural en estos ecosistemas, pueden verse incrementadas mediante el desarrollo de prácticas de cultivo, que contribuyen por una parte a la variedad y al atractivo del paisaje litoral y por otra al mantenimiento de unas poblaciones permanentes sobre los territorios.

Con vistas al aprovechamiento acuícola de las marismas conviene estudiar la situación geográfica de las mismas, la calidad biológica del espacio y el cuidado que requiere para su adaptación a la función que se pretende, aunque en general, ante este tipo de ecosistemas es deseable realizar cultivos extensivos, ya que para dicha modalidad de cultivo no se requieren aportes de nutrientes ni fertilización del medio, por lo que se mantiene un equilibrio ecológico natural y estable. Por tanto, el desarrollo de la actividad acuícola en zonas de marismas debe de planificarse atendiendo a los diversos factores que las caracterizan, tales como:

- Las restricciones naturales.
- Las limitaciones derivadas de las tradiciones históricas debidas a los modelos de los espacios y a las estructuras sociales.
- Las limitaciones que impone la preservación del medio natural, ligadas al deterioro progresivo del medio ambiente y en particular de las zonas húmedas.

Adaptaciones a las restricciones naturales: Cada una de las características, morfología costera, fenómenos de mareas, propiedades del suelo, clima, etc., aportan ventajas e inconvenientes, variando el grado de importancia de éstas con las especies y las técnicas de cultivo utilizadas, pudiéndose citar, por ejemplo, las corrientes y la circulación de los aportes marinos y terrígenos, aportes que son nutrientes favorables para los cultivos de moluscos pero perjudiciales para el mantenimiento de las estructuras, ya que contribuyen a la colmatación de las mismas a nivel de los parques y las albercas. Otro ejemplo son las mareas que sumergen el terreno y enriquecen las aguas litorales, pero que al retirarse limitan las posibilidades de intensificación de cultivos piscícolas, gravando los costes y disminuyendo la seguridad y finalmente el suelo que está constituido esencialmente por arcillas favorables a la edificación de depósitos impermeables, pero que pueden plantear problemas de calidades físico-químicas.

Adaptación a las limitaciones derivadas de las tradiciones y estructuras sociales: En un principio las instalaciones acuícolas en las zonas de marismas con-

servaron las formas originarias y mantuvieron las reservas hidráulicas. Las instalaciones más modernas han seguido dos direcciones, por un lado los proyectos con limitación de medios se caracterizaron por un proceso de adaptación en el que se conservaban las estructuras preexistentes pero manteniendo el carácter extensivo, mientras que otros proyectos ambiciosos han creado instrumentos adaptados a las nuevas condiciones de producción. Respecto a las limitaciones de tipo social, las adaptaciones a los nuevos sistemas se hacen progresivamente como reacción a los acontecimientos y bajo la presión de necesidades económicas, sociales y ambientales. Ciertas medidas pueden significar el inicio de las evoluciones, con modificaciones de los reglamentos, ayudas financieras, formación de nuevas profesiones, etc.

Adaptación a la preservación del medio natural: Para que no se vea perjudicado el equilibrio del ecosistema es preciso no realizar obras de encauzamiento de las marismas mediante estructuras o diques ya que ello constituiría un atentado contra el medio ambiente debido a que los movimientos de la marea sobre las zonas de arenal son, sin duda, un factor importante para la riqueza costera del mar, por lo que el acondicionamiento ha de hacerse con sistemas y medios naturales formando como una especie de estanques tal como realizaron en la costa francesa, que se separan unos de otros por muros de tierra insumergibles que protegen las marismas (Fig.7). La alimentación del agua se hace por los canales generales y los múltiples pequeños canales que serpentean entre los estanques. Bajo el efecto de la marea el flujo de agua penetra periódicamente en dichos estanques y en el reflujos se escapa el exceso.

Figura 7

Estanque con paredes de tierra

El primer elemento que condiciona las posibilidades de desarrollo de la acuicultura en zonas de marismas es la disponibilidad de agua de mar, de modo que si ésta existe se pueden desarrollar, en principio, las siguientes actividades:

- Ostricultura.
- Venericultura.
- Preengorde de moluscos.
- Piscicultura extensiva.

Ostricultura: Si bien, tal como se puede comprobar a través de los resultados obtenidos en este modelo de cultivo, quedó claro que el desarrollo de esta especie en las marismas no puede rivalizar con el que se logra en los terrenos costeros cuando se pretende realizar un ciclo completo de cultivo de ostras en densidades fuertes, con un mantenimiento del animal en el medio que va de tres a cuatro años, por el contrario, numerosas operaciones ostrícolas pueden ser desarrolladas de forma favorable, tales como es el afinamiento y el engorde, siendo sin duda el mejor complemento a la producción intermareal.

Venericultura: Esta actividad nació a partir de la producción de semilla en *hatcheries* cuando los productores han ido perfeccionando las técnicas de cultivo, sembrando las semillas en densidades óptimas y protegiéndolas a base de cubrirlas con mallas especiales, realizando limpiezas periódicas, rareándolas, etc. La tendencia actual es la de mantener un semicultivo en marismas, es decir, durante etapas anuales, en cantidades que pueden oscilar entre 3 y 4 Tm por hectárea, para terminar el ciclo en parques intermareales, en los cuales la recolección final puede haber aumentado de 5 a 10 veces la biomasa por m². Es decir, el cultivo de almejas en las marismas, al igual que para las ostras, debe de ser complementario con el intermareal.

Preengorde de moluscos: Las marismas son espacios que están particularmente bien adaptados para estas fases de cultivo de los moluscos. El preengorde a partir de semilla de *hatchery* (ostra, almeja) se realiza por siembra directa en la marisma.

Piscicultura extensiva: Se dirige hacia la producción de especies sin ningún aporte alimentario y a partir de alevines y juveniles procedentes del medio natural. Esta forma de explotación acuícola es la que ocupa mas espacio y su explotación permite la generación de unas zonas marismales que si no se hubiera aprovechado su riqueza estarían abandonadas.

En el territorio español existen numerosas zonas húmedas que pueden reunir características favorables para un desarrollo acuícola, siendo la comunidad Andaluza la que posee más espacios marismales, en los cuales se ha desarrollado una extraordinaria actividad a partir de los años 80 (Polanco, 1991a).

Los fondos de las zonas intermareales

Los fondos intermareales forman parte del medio de cultivo en la medida en que constituyen el hábitat de especies que se entierran (almejas, berberechos) o el sustrato de organismos sésiles de poca movilidad (mejillones, ostras, pectínidos, etc.).

Por otra parte, los intercambios entre los sedimentos y el medio líquido influyen en la calidad fisicoquímica y biológica de las aguas. Las características físicas y químicas de los sedimentos, así como la naturaleza e importancia de los fenómenos de intercambio juegan un papel determinante en la elección de las técnicas de cultivo, particularmente para el desarrollo de los moluscos.

La granulometría determina la talla de las diferentes partículas constitutivas del sedimento y permite establecer una clasificación de los fondos en función de la naturaleza física de las fracciones dominantes, de forma que los fondos excesivamente fangosos apenas son aprovechados porque, por una parte, su inestabilidad no permite el manejo de las estructuras de cultivo y, por otra, la resuspensión de las fracciones finas por las corrientes provoca un nocivo aumento de la turbidez del agua.

La porosidad de los fondos representa la proporción del volumen total no ocupado por las partículas sólidas, así, las porosidades elevadas aseguran la oxigenación del sedimento, al facilitar la renovación de las aguas intersticiales y como la materia orgánica presente en los sedimentos procede de los aportes detríticos de múltiples orígenes, tales como el plancton, los microorganismos, los vegetales, etc., así como de los residuos metabólicos de los organismos béticos, la relación entre los contenidos en carbono total y nitrógeno total (C/N) es un índice del grado de mineralización de la materia orgánica.

Los intercambios entre los fondos y el agua se producen fundamentalmente por la renovación de las aguas intersticiales y también a través de la resuspensión de partículas sedimentarias, lo que ocasiona la disolución de ciertas sustancias. Los sedimentos son medios de intensa actividad microbiana ligada a la mineralización de la materia orgánica, de modo que si la oxigenación es suficiente, la degradación se efectúa siguiendo la vía aerobia y proporciona sales nutrientes —nitratos y fosfatos— que pasan a las aguas circundantes y son recicladas; de esta forma, el sedimento constituye un «reservorio» importante de sales nutrientes.

Zonas lagunares

Los buenos emplazamientos en lagos deben tener un agua perfectamente limpia, preferiblemente neutra o ligeramente ácida, que favorezca menos el crecimiento de algas y presente un ambiente menos ventajoso para las bacterias que el que poseen las aguas alcalinas. El rango de temperaturas ideal suele estar entre 6-18 °C y el emplazamiento debe de estar protegido, la profundidad situada entre 6 y 15 m para el desarrollo de la piscicultura, de forma que las estructuras se emplacen en donde el acceso sea fácil.

La zona litoral, así como el fondo del vaso lacustre, constituyen el dominio del bentos y de un gran número de especies de peces en tanto que la zona central es del dominio del plancton. En dirección vertical cabe distinguir tres «capas»: las dos primeras, epilimnion, o capa trofógena, y termoclina, permiten una amplia penetración de la luz y son las más ricas en organismos planctónicos, en particular productores y

**Análisis del desarrollo de los cultivos:
medio, agua y especies**

consumidores primarios. La abundancia del zooplancton disminuye en el hiipolimnion conforme aumenta la profundidad de las capas.

En definitiva, el tipo de instalación, en producción de animales acuáticos, va a estar definido tanto por la especie cultivada como por las condiciones geográficas y climáticas en que se desarrolla el cultivo así como por las técnicas que se vayan a emplear.