

**EL ENTORNO MARINO DE LOS RESTOS
ARQUEOLÓGICOS**

Gerardo GARCÍA-CASTRILLO RIESGO
Paloma LANUZA ALONSO
Pablo LÓPEZ GARCÍA

1. Introducción

El entorno marino conglomerada un amplio espacio donde un extenso conjunto de factores físicos, químicos y biológicos, todos íntimamente relacionados, mantienen procesos dinámicos y evolutivos. Sin olvidar los geológicos de erosión y transporte, así como los aportes de aguas continentales, erupciones volcánicas submarinas y la actividad tectónica, entre otros.

Este entorno tan complejo alberga restos de distintas actividades del hombre que se ven inmersos a su vez en todos los procesos físicos, biológicos y químicos, los cuales les afectan y alteran de modo diverso y a su vez, según las condiciones ambientales. En el caso de restos arqueológicos de diferentes materiales, se asiste a procesos físicos de abrasión, transporte, deposición, flotación, floculación, entre otros; dentro de los químicos se asiste a la disolución y a distintas reacciones entre los elementos, destacando las de oxidación y reducción, que son las más patentes. Finalmente los organismos vivos dejan también sus afecciones, que van desde las reacciones bioquímicas de la biopelícula de contacto, hasta el asentamiento y crecimiento de organismos macrobentónicos sobre las estructuras, sin olvidarnos de las alteraciones derivadas de los comportamientos etológicos.

Los pecios y otros restos arqueológicos submarinos, por su propia naturaleza, están asociados al ambiente de los fondos, al medio bentónico, donde, junto a las características del agua, hay que añadir las peculiaridades asociadas a los distintos tipos de fondos, ya sean sedimentarios o de roca, y a las biocenosis asociadas a cada uno de ellos, en las que el recurso espacial tiene gran importancia en fondos rocosos, mientras que en los sedimentarios la tasa de renovación de agua, con todo lo que lleva asociado, es un factor de considerable importancia.

El medio acuático tiene como recurso principal el agua. Es el compuesto más abundante de la naturaleza, formado elementalmente por dos moléculas de hidrógeno y una de oxígeno. Sus propiedades y características definen, tanto los procesos abióticos como las condiciones de vida de este medio.

2. Propiedades físicas del agua de mar

Alguna de ellas son ciertamente curiosas. Si comparamos con compuestos homólogos (H_2S , H_2Se), debería presentarse en estado gaseoso en con-

diciones normales. Estas “anomalías” se deben principalmente a la propia estructura de la molécula de agua y a la formación de polímeros, tanto en estado sólido, como líquido. En estado líquido, el valor medio del polímero se acerca a dos moléculas y en estado de vapor, se aproxima a la unidad.

El agua posee un elevado calor específico, que decrece con la salinidad. Así la pérdida y la absorción de calor se realiza con variaciones mínimas de la temperatura. Por lo tanto, el mar se comporta térmicamente como un inmenso condensador en estrecha relación con la atmósfera e internamente relacionado con las masas de agua adyacentes.

La temperatura de los mares oscila, en términos generales, entre los 0° y 30°, aunque se dan valores más extremos. La distribución de la temperatura del agua muestra gradientes geográficos, pero también a microescala. Las variaciones en latitud y profundidad son las típicas y mejor descritas, pero existen otras, en unos caso de menor rango, pero biológica y termodinámicamente significativas que tienen su propia entidad.

La temperatura afecta en gran medida a todos los procesos físicos, químicos y biológicos, como viscosidad del agua, solubilidad del oxígeno, velocidad de las reacciones bioquímicas, entre otros. A bajas temperaturas, la conservación de la materia orgánica se conlleva mejor, existe un crecimiento más lento de los organismos y las aguas contienen más oxígeno.

La densidad del agua del mar lo es en función de la salinidad, la temperatura y la presión. Los gradientes de temperatura y densidad tienen gran importancia en la dinámica de las masas de agua.

La radiación solar que llega a atravesar la superficie del agua, además de ser absorbida en forma de calor, afectando a la temperatura y a los parámetros derivados, es dispersada por las moléculas del agua, las sustancias disueltas, la materia orgánica en suspensión y los propios organismos. A su vez, la absorción no se produce del mismo modo según la longitud de onda del espectro solar. Las longitudes del rojo, 420 nm, y el naranja, 460 nm, son las primeras en extinguirse, en el otro extremo del espectro, donde se encuentran los ultravioletas, 730 nm, ocurre otro tanto. En aguas claras es la banda de los azules, 620 nm, las que alcanzan mayor profundidad, mientras que en los ambientes turbios son las amarillas y verdes.

La penetrabilidad de las radiaciones en la columna de agua, íntimamente relacionada con la transparencia se mide tradicionalmente con el disco de Secchi.

Valores de la intensidad de irradianza

Los efectos ecológicos de la luz están relacionados con la capacidad de realizar la fotosíntesis, es decir, el crecimiento de algas está sujeto a una estrecha capa superficial de las mareas. Frente a este crecimiento fital, se desencadenan toda una serie de procesos ecológicos. La intensidad y la calidad de la luz afecta también a procesos de fotocinesis, visión y fotoperiodicidad.

La elevada constante dieléctrica del agua hace de ella un excelente disolvente de gran número de sustancias, permitiendo la disociación de sales en sus iones correspondientes. Esta disolución aumenta la conductividad, fren-

te al agua químicamente pura que prácticamente no conduce la electricidad ($0,038 \times 10^{-6} \text{ ohm}^{-1}$). Así depende de la concentración de sales disueltas (cationes y aniones) y de la temperatura, es decir, la resistencia eléctrica es función de la concentración de sales (salinidad) y la temperatura, de este modo su valoración permite conocer con exactitud la salinidad del agua.

3. La composición química

El agua de mar es una disolución de un extenso conjunto de compuestos químicos, en sus correspondientes iones, sumamente compleja, pudiendo admitirse en principio que la mayoría de los elementos químicos se encuentran representados en ella, desde amplias concentraciones a simples trazas. Es el resultado de la disolución de un amplio conjunto de sales inorgánicas que se encuentran disociadas en sus correspondientes iones. Los cationes principales son sodio, magnesio, calcio, potasio y estroncio y los principales aniones son cloruro, sulfato, bromuro y bicarbonato; constituyen prácticamente el 99,9 por ciento de los materiales disueltos. Probablemente, todos los elementos naturales están presentes en el mar, algunos en concentraciones infinitesimales y muchos de ellos, se conocen únicamente por aparecer en los organismos. Su composición está determinada por un equilibrio entre las tasas de adición y pérdidas de solutos, la evaporación, el aporte de agua dulce y la propia actividad biológica de los organismos que la pueblan. En sentido ecológico se distinguen dos conjuntos: sustancias conservativas y no conservativas. Las primeras son responsables de la salinidad y las segundas varían sus concentraciones ya que constituyen un recurso para los organismos (nitratos, fosfatos, oxígeno...)

La salinidad es la cantidad de sólidos disueltos en un kilogramo de agua de mar, su valor medio es de 35 g/kg, o sea, 35 partes por mil. Esta cantidad determina una presión osmótica sobre las membranas celulares de los organismos y entre otros factores, determinan la capacidad de oxidación reducción. Sus cambios afectan a la densidad, lo que influye indirectamente en los organismos pelágicos por sus efectos sobre la flotación y en la dinámica de las masas de agua.

Pese a esta gran complejidad, se da una constante proporcionalidad entre los elementos disueltos, aún ante la amplia variabilidad de la salinidad en todos los mares. Por lo tanto, la estimación de la concentración de cualquiera de estos iones permite calcular la salinidad total. Así, mediante el análisis volumétrico usando nitrato de plata y dicromato potásico como indicador se puede conocer la concentración de halogenuros. Éstos precipitan al reaccionar con la plata, sobre todo el ión cloruro y trazas de bromuro. Tan pronto como se han agotado, el primer exceso de plata produce una coloración rojiza. Así, la salinidad se puede determinar mediante la relación empírica con los halogenuros, expresada en el algoritmo de Knudsen: $S \text{ ‰} = 0,030 + (1,805 \times \text{Cl } \text{‰})$. Así, la clorinidad (Cl) es la cantidad de halógenos en un kilogramo de agua de mar. En la actualidad se emplea como indicador también la fluoresceína.

La complejidad del método ha permitido desarrollar otros más rápidos relacionados con la conductividad eléctrica y térmica, densidad e índice de refracción. Siendo el primer método el más utilizado y preciso. Como el agua de mar que no es otra cosa que un electrolito con una conductividad bien definida por las variables termodinámicas que la caracterizan: densidad, temperatura, presión y salinidad. Así, haciendo innumerables muestras es posible establecer una relación empírica (por mínimos cuadrados) entre conductividad y salinidad (ISMAEL NÚÑEZ RIBONI)

Como ocurre con la temperatura, la distribución de la salinidad muestra variaciones entre océanos y la profundidad. Únicamente existen fuertes variaciones en ambientes estuarínicos, donde la salinidad es baja en la cabecera de la ría y alta en la zona costera. En estos ambientes existe a su vez una variación estacional acusada, junto a cambios semidiurnos debidos al movimiento de las mareas y en la misma columna de agua, sin una distribución vertical homogénea.

Entre las sustancias no conservativas se encuentran iones tan importantes como silicatos, fosfatos, carbonatos y nitratos. Forman parte de estructuras esqueléticas, moléculas orgánicas y como nutrientes. El silicio está presente principalmente como ión silicato, es un constituyente de los esqueletos de algunos radiolarios y espículas de un grupo de esponjas, así como de la pared celular de diatomeas. El fósforo se encuentra, casi por completo, en forma de ortofosfato, también existen trazas de fósforo orgánico. Mientras que nitratos y nitritos tienen una estrecha relación con la excreción y descomposición de la materia orgánica. Las concentraciones de compuestos nitrogenados y fosfatos varían con la actividad biológica ya que son recursos explotados. Mientras que nitratos y silicatos fluctúan ampliamente sobre todo en la superficie y durante los meses de crecimiento planctónico, en los primeros 100 metros; cerca del fondo aumentan sus concentraciones y los valores son más estables. Cerca de la costa se pueden encontrar valores elevados de nitratos y fosfatos debido a la resuspensión de los sedimentos del fondo y a las grandes cantidades de nitratos y fosfatos procedentes de las escorrentías terrestres.

Muy pocos organismos marinos sobreviven en una solución que contenga tan sólo los principales constituyentes responsables de la salinidad en proporción correcta. Metales como el hierro, cobre y manganeso no son tóxicos para los organismos, en ciertas concentraciones, sino necesarios para su vida. El hierro se presenta sobre todo en forma de hidróxido férrico y trazas de fosfato férrico, ferricitrato o hematina, es necesario para las plantas, en los animales es un componente de los citocromos sanguíneos hemoglobina en vertebrados y algunos anélidos y moluscos, hemoeritrina en ciertos moluscos y crustáceos, y en la ciorocruorina de anélidos. Otro tanto ocurre con el cobre, presente en la hemocianina, también pigmento sanguíneo, de algunos moluscos y crustáceos. Algunas algas precisan molibdeno y vanadio, presentes en los pigmentos sanguíneos de ascidias. En otros casos los acumulan, así las algas concentran yodo, molibdeno, níquel, arsénico, cromo, vanadio, titanio, cromo y estroncio, mientras que las ascidias parecen especializadas en el

vanadio. Algunos peces son capaces de concentrar plata, cromo níquel, estaño, o cinc.

La mayoría de los elementos que se presentan de forma gaseosa en condiciones normales se encuentran también en solución en el agua de mar. Los gases atmosféricos son ligeramente solubles en el agua de mar, dependiendo sus concentraciones de la presión parcial y el coeficiente de solubilidad de cada uno. El contenido en oxígeno en el medio marino varía entre 0 y 8,5 ppm (ml/l), su coeficiente de solubilidad está afectado por la temperatura; así, sus concentraciones en las aguas superficiales es, por lo general, mayor en latitudes polares que en las ecuatoriales. Las aguas superficiales polares frías, densas y ricas en oxígeno se hunden hacia las cuencas oceánicas. Por debajo de los 2000 metros la concentración varía poco, entre 3 y 6 ppm, por encima, según los océanos existe una capa de mínima concentración derivada de la oxidación de la materia orgánica y deja en libertad, en la misma profundidad, cantidades de dióxido de carbono, fosfatos y nitratos.

El metabolismo aeróbico trae consigo el aumento del dióxido de carbono, que de por sí mantiene concentraciones relacionadas con el contenido atmosférico y con la concentración de sodio, potasio y calcio. Al tiempo, el dióxido de carbono constituye un recurso para las algas que lo asimilan en el proceso de la fotosíntesis y pueden producir puntualmente una sobresaturación de oxígeno en la zona bien iluminada.

El nitrógeno mantiene, como el oxígeno y el dióxido de carbono, un equilibrio con la atmósfera en las capas superficiales. Como en los otros casos, también tiene una fuerte relación con la actividad biológica. Por un lado existen bacterias fijadoras de nitrógeno; otras, como nitrosomonas y nitrobacter, que mineralizan restos de materia orgánica y por otro, hay una cierta devolución de nitrógeno a la atmósfera a través de la actividad de las bacterias desnitrificantes y de las algas cianofitas.

El dióxido de carbono mantiene un sistema más complejo que el oxígeno y el nitrógeno. El agua oceánica presenta unos valores totales de cationes por encima que el de los aniones, como resultado muestra una ligera alcalinidad, reflejada en los valores del pH. El dióxido de carbono y los iones carbonatos disueltos mantienen reacciones complejas afectadas por la salinidad y la temperatura. El sistema, de tipo tampón, está en constante regulación y se hace invariante con un pH 8,2.

Por cada molécula de oxígeno consumido se elimina otra de O_2C , lo contrario de lo que sucede en la fotosíntesis. El agua de mar está generalmente saturada de carbonato cálcico, proceso que se ve favorecido por pH y temperatura altos; lo que va ligado a altos niveles de oxígeno, aguas superficiales, luz intensa y fotosíntesis, entre otras. En estas condiciones los organismos que desarrollan estructuras calcáreas se ven favorecidos.

El pH del medio tiene interés biológico y químico, ya que muchos procesos y reacciones están regulados por determinados valores. La determinación del pH se suele hacer por potenciometría mediante electrodo de vidrio o con indicador. Oscilan generalmente entre 7,5 y 8,4. Los máximos suelen encon-

trase en superficie, donde el equilibrio del O_2C con la atmósfera es bueno, además de decrecer por la propia actividad fotosintética. En aguas profundas, en las que la concentración de oxígeno es menor, se alcanzan los mínimos, que aún pueden decrecer en ausencia de oxígeno, donde el metabolismo anaeróbico. Como el valor del pH depende principalmente de la concentración de O_2C y siendo ésta función de la temperatura, salinidad y presión, se comprende su influencia. A estos factores hay que añadir los factores biológicos

Por debajo de los 6.000 m la disminución del pH debido a la presión puede ser suficiente para provocar la disolución de algunas formas de carbonato cálcico que no es un constituyente normal de los sedimentos, viéndose sustituidas por silicatos.

DOM

En el agua de mar están presentes en solución, pequeñas cantidades de compuestos orgánicos muy variados. La determinación exacta de estas minúsculas proporciones de solutos orgánicos es difícil. Aunque la concentración es pequeña, la cantidad total en los océanos es muy grande y se calcula que existen alrededor de 15 kg de materia orgánica disuelta (DOM) por debajo de cada metro cuadrado del océano. Esta cantidad excede en mucho a la de la materia orgánica existente en forma particulada, ya sea como materia viva o como detritus orgánicos. El color amarillo, que en ocasiones presenta el agua del mar, está originado por varios componentes orgánicos en solución.

Estos solutos orgánicos tienen varias procedencias. En su mayor parte son de origen biológico. Algunos llegan al mar a través del drenaje de los continentes o por vía aérea en forma de partículas o de vapores. La mayor contribución debe proceder lógicamente de las actividades de los organismos marinos en procesos de fotosíntesis, excreción, rotura de tejidos muertos, etc. Posiblemente los tejidos vivos también desprenden trazas de materia orgánica y se sabe que algunos organismos liberan secreciones orgánicas en el agua como parte de su metabolismo fisiológico. Estos metabolitos externos se denominan productos exocrinos. En los últimos años se están produciendo compuestos orgánicos artificiales en cantidades crecientes y muchos de ellos acaban en el mar.

En aguas templadas la cantidad total de DOM muestra variaciones estacionales y un marcado incremento tras el "bloom" de fitoplancton primaveral (ver pág.000), lo que se traduce en valores altos durante el verano que descienden hasta un mínimo al final del invierno. Durante el verano se encuentran mayores cantidades de DOM por encima del termocline que por debajo de él. Parece posible que una fracción substancial de los productos orgánicos de la fotosíntesis reaparezca rápidamente en suspensión. Parte de este material puede desprenderse de las células vegetales durante la división celular; parte puede proceder de células viejas; otra parte, de células que están en una situación de stress, tal y como ocurre durante los "bloonis" de fitoplancton, y la mayoría puede llegar a través de la excreción y gestión de los animales.

4. El entorno dinámico

Los fenómenos básicos del desplazamiento costero de las masas de agua se centran en las corrientes, el oleaje y las mareas. El origen de cada uno de ellos es diferente pero, normalmente ocurren simultáneamente y manifiestan importantes interrelaciones.

Las olas comunes están producidas fundamentalmente por el viento; la marea astronómica está en relación con las diferencias de atracción entre la tierra, el sol y la luna, mientras que las corrientes marinas pueden ser debidas al viento, las descargas de ríos, diferencias termohalinas, o bien ser una consecuencia de la marea y el oleaje.

El oleaje constituye un movimiento circular de las moléculas de agua cuyo diámetro es el doble de la altura de la ola; sin desplazamiento horizontal, mientras que existe una interacción progresivamente menor con la profundidad, siendo mínima hacia la mitad de su longitud.

A pequeña escala, la dinámica general se debe traducir dentro del conjunto del concepto de hidrodinamismo, donde se conjugan todos los procesos que afectan al movimiento de las moléculas de agua. El hidrodinamismo determina condiciones ambientales características que van desde entornos muy expuestos a su acción hasta los muy protegidos, en ambos extremos las condiciones no son las más propicias para los organismos. Frente a lo negativo de su intensidad, se encuentra evitar el vaciamiento de los recursos tróficos especialmente para los organismos filtradores. Con igual consideración, un hidrodinamismo fuerte está íntimamente relacionado con la erosión, alteración de pequeñas estructuras e incluso rotura de ellas, mientras que valores bajos conducen a una sedimentación de materiales finos (fangos y limos).

5. Los ambientes de los fondos: sedimentarios y rocosos

La tipología de los fondos marinos se concreta en dos grandes conjuntos, los blandos o sedimentarios y los duros que agrupa, a los de roca y algas calcáreas. En ambos casos existen condiciones ambientales particulares, especialmente el hidrodinamismo, que afectan a los organismos que los habitan y a los restos arqueológicos allí depositados. De este modo las comunidades muestran estructuras biológicas relacionadas con esta componente ambiental definidas por la presencia de una o varias especies dominantes.

Las estructuras rocosas de los fondos duros determinan generalmente un relieve abrupto con una amplia variedad de "microambientes", donde las especies bénticas se desarrollan en una amplia variedad de comunidades que en ocasiones muestran modelos de distribución en mosaico, incluso a micro-escala. Las especies estructurantes son generalmente sésiles y están fijadas al sustrato, cubriendo la totalidad de la superficie rocosa, salvo en ambientes extremos, como muy expuestos al hidrodinamismo o en los fondos de las cuevas.

Los fondos sedimentarios, en apariencia más desérticos, albergan también multitud de poblaciones animales, en este caso, la mayoría entre los granos del sedimento. Es a su vez el tamaño del grano y en sentido más concreto, la granulometría, el factor determinante que afecta a la tasa de renovación de agua a través de la columna de sedimento. Una granulometría gruesa permite un mayor flujo de agua, con el consiguiente transporte de oxígeno. Mientras que a valores granulométricos bajos se reduce también el paso y el intercambio de agua de la masa superior; esto conduce a una reducción progresiva del oxígeno hacia el interior del sedimento. Las concentraciones de oxígeno pueden llegar a ser nulas, produciéndose un metabolismo anaeróbico característico con el desprendimiento de H_2S , siendo detectable a simple vista por el ennegrecimiento del sedimento y medible por los valores del pH y redox a diferentes profundidades. En fondos de limos, la capa anóxica de color negro puede llegar a ser superficial.

6. Los aspectos biológicos

Los fondos marinos se encuentran poblados por multitud de organismos bentónicos. Se encuentran en los fondos blandos de carácter sedimentario, tanto sobre la superficie como en el interior del propio sedimento, siendo la granulometría un factor muy importante para la presencia de especies y el desarrollo de las comunidades, mientras que en los fondos rocosos y superficies biogénicas la estrategia más generalista es crecer sobre el propio sustrato, con una variada panoplia de morfologías corporales, que van desde las tapizantes a las globosas y arborescentes. Este conglomerado es aprovechado a su vez por un conjunto de organismos que habitan sobre o entre las formas estructurantes. Este tipo de distribución lo podemos encontrar sobre los restos arqueológicos sumergidos que no han sido cubiertos por sedimento.

Las bacterias son tan importantes en el mar como en la tierra por su acción desintegradora de la materia orgánica; estas bacterias viven en comunidad con algas microscópicas, en suspensión en el agua, en agregados de materias orgánicas precipitadas y sobre el fondo. La materia orgánica no podría ser reciclada, es decir, mineralizada y transformada en nutrientes, sin la intervención de determinadas comunidades de bacterias.

La superficie de los organismos marinos vivos y muertos, sus conchas, caparazones, mudas, heces, etcétera tienen superficies sumergidas que tienden a atraer y retener una película donde se depositan restos moleculares de materia orgánica. Por ello constituyen zonas con abundantes recursos tróficos para las bacterias.

Esta incipiente biopelícula viene a enriquecerse con nuevas bacterias, que aportan una mayor variedad de enzimas digestivas con las cuales aumenta la diversidad de sustancias orgánicas a degradar. De este modo se aumenta la diversidad bacteriana y se amplía el rango de explotación del recurso. En los amplios fondos oceánicos, la producción bacteriana es amplísima. La propia estructura sedimentaria favorece la presencia de bacterias, al tiempo existe una lluvia y deposición constante de materia orgánica.

Las bacterias, además de llevar a cabo la transformación de la materia orgánica, producen a su vez nuevas moléculas orgánicas a través de propios procesos quimiosintéticos. De este modo se convierten en condensadores de materia orgánica y por lo tanto, un recurso trófico para numerosas especies del plancton y bentos.

Las diatomeas, algas unicelulares y microscópicas, se encuentran entre el plancton y sobre los fondos en aguas poco profundas, creciendo en la superficie junto con las bacterias formando una capa de barrillo amarronado sobre la arena, rocas, piedras y prácticamente cualquier objeto. Son parte de los primeros estadillos de colonización biológica y de la formación del biofiling. Su crecimiento, como otras algas, viene determinado por la luz y los nutrientes.

En zonas de sustrato duro bien iluminadas, dependiendo de las condiciones hidrodinámicas y la profundidad, crecen diversas especies de macroalgas, sus estructuras de fijación, especialmente en el caso de las laminariales ayudan a la formación de microambientes donde se alojan biocenosis muy características. El recubrimiento de algas esconde generalmente un sustrato duro biogénico, presente también en zonas umbrías, constituido por algas calcáreas de los géneros *Mesophyllum* y *Lithophyllum*. Forman una estructura laminar de tonalidad rosácea que tapiza, paracticamente cualquier superficie. Su morfología laminar alberga una biocenosis y la correspondiente acumulación de materia orgánica, a su vez facilita el asentamiento de macroalgas y un extenso conjunto de invertebrados.

La fracción faunística de la biocenosis, asociada a los fondos, está compuesta por representantes de casi todos los grupos zoológicos, muchos de los cuales pasan por tener una fase larvaria de vida plantónica. Algunas de estas especies son capaces de afectar o alterar el sustrato sobre el que crecen, mientras que otras simplemente lo ocultan, debido a la densidad de las comunidades.

Entre las esponjas destaca la especie *Cliona celata*, muy polimorfa, su forma perforante recubre y penetra los cuerpos calcáreos, como conchas de moluscos y rocas calizas, disolviendo la caliza, se reconoce fácilmente por la cantidad de poros que presenta la superficie atacada. Otras especies incrustantes son *Hymeniacidon sanguinea*, *Halichondria panicea* y *Myxocolla incrustans*.

Los anélidos poliquetos cubren un amplio espectro morfológico y biológico; el grupo es muy diverso. Un reducido grupo de especies, concretamente *Polydora ciliata* y *P. hoplura*, aprovechan orificios en estructuras calcáreas, donde construyen pequeños tubos e incluso siguen profundizando en el sustrato; es común observarlos en conchas de grandes ostreidos.

Otras especies de poliquetos sedentarios típicos de colonización de sustratos son *Potamilla reniformis*, sobre fondos blandos cuyos tubos tienen partículas de arena y fango, aunque los más típicos son los espirórbidos: *Hydroides norvegica* de aspecto blanquecino y fuertemente soldado a piedras, algas, conchas y cascotes de barcos; *Pomatoceros triquiter* forma tubos

curvados incrustados en otros tubos o conchas; *Spirobis borealis* en tubos pequeños en espiral sobre rocas y algas.

Otros tubos que también se cementan a la superficie de las rocas y a otras superficies, son las vermicularias. Los responsables son moluscos gasterópodos del género *Vermetus*; son de cuerpo alargado prácticamente vermiformes; en estado de larva, tienen la concha enroscada y al asentarse forman colonias de individuos pegados unos a otros.

El grupo de los invertebrados que cuenta con mayor número de especies perforadoras altamente especializadas, son los moluscos bivalvos, con su concha característica aunque en algún grupo es interna o está ausente. Los mecanismos de actuación varían de unas especies a otras, aunque el movimiento de sus valvas tienen mucho protagonismo, por lo general perforan durante toda su vida. Las especies perforadoras de roca como la *Hiatella artica*, excava en roca blanda de caliza o arenisca, ocupando a veces agujeros ya existentes, produce orificios profundos erosionados con sus valvas. Entre las especies que perforan mecánicamente las rocas blandas de arcilla o arena compacta sin alterar su composición destacaremos las especies, *Barnea spp*, *Zirfaea crispata* o *Gastochaena dubia* que forma una cavidad a modo de botella tapizada por partículas de concha y secreciones del animal.

Otros moluscos característicos de las costas mediterráneas como la *Petricola lithophaga*, de pequeño tamaño y color grisáceo, y *Lithophaga lithophaga*, dátíl de mar, de mayor tamaño que excava y ataca exclusivamente rocas limosas, disolviendo su superficie con el ácido producido en sus glándulas.

A veces la Barrena, *Pholas dactylus*, también molusco bivalvo, alarga la cavidad a medida que va creciendo utilizando su línea de dientes de la concha. Es una especie de tamaño grande con un pie adherente que se fija al fondo de la cavidad habitada y con los dientes duros situados en la mitad frontal de las valvas, horada la roca con movimientos de vaiven, realizando redondeados.

El erizo de mar, *Paracentrotus lividus*, no es un excavador nato, pero el movimiento de sus púas llega a dejar unas marcas redondeadas o pequeñas depresiones sobre las rocas blandas.

Entre los organismos xilófagos, perforadores de madera, cabe destacar los moluscos bivalvos y los crustáceos que se consideran una maldición para los barcos, machinas y pontones. En este grupo se encuentran nuevamente moluscos bivalvos. El más característico es el teredo obruma, *Teredo navalis* o *Calamitas navium*, taladra estructuras de maderas, tanto sumergidas como flotantes. Su cuerpo alargado realiza galerías con la concha reducida que recubre parte anterior del animal; funciona como un taladro, produciendo la abrasión de la madera que a su vez “ingiere” y acumula en el estómago, pero se desconoce si le sirve de alimento. Su vida es corta, no sobrepasan el año, durante el cual es capaz de realizar extensas galerías alargadas.

En las maderas flotantes también se pueden apreciar otras perforaciones redondas y poco profundas, son las producidas por la especie *Xilophaga dorsalis*, parecida a la broma pero no “digiere” la madera,

Entre los crustáceos podemos encontrarnos desde las especies que se fijan a las superficies flotantes, cascos de los barcos y estructuras duras del fondo, como los cirripedos, especialmente del género *Balanus*. Sobre objetos flotantes pueden encontrarse los falsos percebes o aguachones, *Lepas anatifera*. Perforando la madera, junto a los moluscos ya descritos, se encuentra un isópodo de pequeño tamaño pero tan destructivo como el Tereido, *Limnoria lignorum*, que produce en la madera agujeros superficiales y paralelos, parecidos a la carcoma terrestre; también se le ha encontrado en cubiertas aislantes de cables submarinos. A esta especie se encuentra asociado otro crustáceo anfípodo, *Chelura terebrans*, de tamaño mayor, que ocupa la parte superior de los agujeros ya practicados y los continúa alargando. Estas bioturbaciones permiten además el desarrollo de biocenosis particulares y acumulación de materia orgánica, con todo el conjunto de procesos biológicos, bioquímicos y químicos que conlleva.

Todos los organismos que viven, crecen y se reproducen sobre estructuras sumergidas, desde los cascos de embarcaciones, obras civiles, pilares de muelles, plataformas petrolíferas, instalaciones de acuicultura, hasta los restos arqueológicos y en general en sustratos artificiales, muestran una sucesión biológica desde la biopelícula formada fundamentalmente por agua, mucílago y bacterias, que constituyen inicialmente el biofiling, hasta las abigarradas comunidades de algas marinas, cnidarios (hidrozoos y antozoos), anélidos poliquetos, moluscos, crustáceos, ascidiáceos y briosos. Su nivel de fijación va a depender de la naturaleza de la especie, la competencia por el espacio, su velocidad de movimiento, los factores estacionales y el tipo de superficie.

Las interrelaciones del medio y los organismos en los restos arqueológicos

La presencia de organismos sobre los distintos tipos de materiales presentes en los pecios permite conocer algo de su historial sumergido.

A partir de su inmersión en el agua de mar, comienzan a verse afectados por los procesos químicos, especialmente por la capacidad de oxidación-reducción. Mientras que los parámetros físicos, especialmente la temperatura va a favorecer o a retardar determinados procesos.

El desarrollo de una biopelícula bacteriana madura, con gran cantidad de agua, se establece a los primeros treinta días de la inmersión.

En los fondos rocosos, donde los restos quedan sobre la superficie y entre las estructuras rocosas, la biopelícula va dando paso al asentamiento de especies ubicuas y oportunistas, como algas verdes, entre otros. Con el paso del tiempo van observándose nuevas especies bénticas que paso a paso muestran una típica sucesión biológica y de maduración ecológica, llegando a cubrir las por completo integrándolas en el paisaje, mientras que otras afectan a su estructura dependiendo del tipo de material.

Los restos enterrados entre los sedimentos, en apariencia más protegidos por los granos del sedimento, también tienen pistas biológicas sobre su historial subacuático, muy relacionado con los niveles de metabolismo anaeróbico.

Los restos calcáreos, como tubos de espiróbidos, caparazones de balánidos, cementaciones de otreidos y de algas calcáreas dan información sobre la disposición espacial, al menos durante un periodo de su historia arqueológica. El grado de afección o actuación biológica propia de los organismos aporta también información para conocer su historial.