

LA CIENCIA DEL MAR ⁽¹⁾

RAMON MARGALEF

Inst. Inv. Pesqueras

Hace más de veinte años que estoy unido, por mis actividades, al Consejo Superior de Investigaciones Científicas, y bastaría esta circunstancia para aceptar sumiso la invitación de la Delegación del Consejo en Barcelona para que pronunciara la conferencia reglamentaria en su fiesta patronal. Es ya tradición ilustrar y entretener al auditorio en esta ocasión con un tema ameno y de adecuada calidad intelectual. Posiblemente no conseguiré ni lo uno ni lo otro, pero no será por falta de calor, pues voy a hablar como propagandista y a favor de una causa difícil, si es cierto, como se ha dicho tantas veces, que vivimos de espaldas al mar.

La ciencia del mar, u oceanografía en su sentido más general, es la confluencia necesaria de varias disciplinas científicas en cuanto su objeto es el mar. Se puede estudiar la composición del agua del mar, sus movimientos, la distribución de los organismos que en ellas viven y el desarrollo de su vida. En una primera etapa los conocimientos son un tanto inconexos. En nuestro país podríamos mirar con cierta prevención semejante ensalada científica, por el recuerdo de aquellas inefabes «Topografías médicas» que estuvieron al uso a principio de siglo y en las que se intentaba un inventario erudito de todo lo conocido concerniente a la «Gea, fauna y flora» de alguna localidad. Pero la ciencia del mar no es simple yuxtaposición de conocimientos, sino una verdadera integración de los mismos.

Una verdadera ciencia del mar no aparece como tal hasta que las circunstancias ponen en contacto a cultivadores de disciplinas diferentes, cuyas ideas se fecundan mutuamente, o cuando distintos científicos van organizando sus actividades alrededor de un problema complejo. Una oportunidad para ello fue la creación de laboratorios costeros, que aunque generalmente inician sus actividades principalmente en relación con la biología, pronto asimilan científicos de formación muy diversa. Una de las estacio-

(1) Discurso leído en la sesión solemne dedicada a San Isidoro, Patrono del Consejo Superior de Investigaciones Científicas, el día de su fiesta, 4 de abril de 1967, en la sala de actos de la Delegación de Barcelona.

nes marinas de más solera y prestigio es la de Nápoles, fundada por Anton Dohrn en 1873, que sirvió de prototipo a muchas posteriores, entre ellas a la de Santander, ya activa a principio de siglo y que continúa como testigo del temprano interés que despertaron en España los estudios marinos.

Las grandes expediciones oceanográficas han proporcionado una buena ocasión de conjuntar distintas actividades científicas en torno a problemas complejos. La expedición inglesa del «Challenger» (1873-76) marcó un hito en el desarrollo de la ciencia del mar. En su organización pesó mucho la consideración de la importancia que sus investigaciones pudieran tener para el tendido de cables telegráficos. En este sentido se puede decir que fue fraudulenta, porque hoy día todo el mundo científico conoce dicha expedición como una fuente importantísima de conocimientos oceanográficos y mucho menos por la relación que pudo tener con los dichos cables. Análogamente, se han hecho progresos fundamentales en la ciencia del mar con la excusa de su importancia para la pesca.

Pero hoy día ya va desapareciendo la necesidad de tales subterfugios. La mayoría de los países soportan la ciencia del mar como tal, sin que sea necesario buscar otras justificaciones ante los políticos. No falta, sin embargo, una competencia dura para asegurarse la mayor tajada, y hoy día el desarrollo de ciertas ramas de la investigación, tanto o más costosas que la oceanografía, como la física nuclear y la investigación espacial, ha llevado a la ciencia del mar a recurrir a extremos propagandísticos, casi a nivel de la publicidad de detergentes, llamando al mar hidroespacio o espacio interior. Esto ocurre, desde luego, en Norteamérica; donde no puede decirse que la ciencia del mar está mal dotada, pues recibe cada año unos 400 millones de dólares. Toda la investigación marina de España funciona con el uno por mil de esta cifra.

Con mayores o menores recursos, todos o los más de los países intensifican actualmente la investigación de los mares. Actualmente los beneficios de la oceanografía en la vida práctica ya no son sueños bien intencionados. La predicción del tiempo, la defensa de puertos y otras obras costeras, la navegación submarina, la explotación y conservación de la riqueza pesquera en relación con la fertilidad de las aguas, exigen una investigación eficaz. Ya no se considera a la ciencia como una especie de lotería. Una ciencia bien organizada e integrada en la estructura social fructifica con regularidad. Pero la sociedad ha de interesarse por la ciencia, para que el científico se responsabilice ante la sociedad. El seudocientífico y el figurón medran solamente en un país que no se interesa por la ciencia.

La oceanografía es empresa científica a escala mundial, en la que la colaboración internacional es obligada. A pesar de que puede calificarse de ciencia cara, por el despliegue de recursos que requiere, abarca tantas facetas que consiente contribuir efectivamente al progreso mundial con medios modestos. Como siempre, el hombre es el factor más importante de progreso. Hoy día existe realmente una fuerte demanda de oceanógrafos. Es curioso, porque la oceanografía está entre las ciencias que ofrecen más alicientes a la juventud estudiosa. Hay que recordar a los jóvenes que, hoy en día, la ciencia es una de las pocas esferas de actividad que quedan donde el espíritu de aventura no lleva a conflictos con la organización social. Y la investigación oceanográfica es particularmente atractiva.

Cualquier exposición más o menos sistemática de realizaciones y metas resultaría pesada. Por esto me permitiré pasar con cierta libertad de unos temas a otros, siguiendo el hilo del pensamiento, entreteniéndome en algunos que ilustren métodos y resultados, tratando de ofrecer una visión panorámica, rápida y abreviada de la actual ciencia del mar.

Parece obligado empezar por el vaso de los océanos, el recipiente que contiene el agua. La verdadera geología marina es muy reciente. Hace veinte años estaba en sus balbucesos. El estudio topográfico detallado del fondo, las prospecciones sísmicas, magnéticas y térmicas, la obtención de un gran número de cilindros de sedimento, han permitido rápidos progresos. Por desgracia, el estudio de estos cilindros de sedimento ya ha perdido su compás en relación con el ritmo con el que van siendo recogidos. Falta personal especializado. Los restos de organismos contenidos en los sedimentos, su fracción mineral y la composición isotópica de unos y otra —que permite estimar la edad de las distintas capas y la temperatura de las aguas superficiales en que se desarrollaron los organismos enterrados— suministran información interesantísima.

Se ha confirmado la gran antigüedad de los océanos y una inesperada brevedad y notables irregularidades en la sedimentación, que no excluyen, sino antes al contrario, hablan a favor de movimientos relativos transversales de las masas continentales. El estudio de estructuras submarinas, tales como el relieve que, a modo de un espinazo, cruza el centro del Atlántico de norte a sur y tiene sus análogos en otros mares, puede contribuir de manera decisiva a explicar la dinámica de la corteza terrestre. Ciertas obras modernas de geología marina, como, por ejemplo, la «Marine Geology of the Pacific», de Menard (1964), ofrecen un atractivo y estímulo intelectual para todo oceanógrafo, totalmente ausentes en lo que se consideraba Geología marina allá por los años treinta.

El intercambio entre la fase líquida marina y la fase sólida representada por los sedimentos ofrece problemas fascinantes. Nódulos minerales muy ricos en manganeso y otros metales son frecuentes sobre el fondo de extensas áreas marinas y se piensa que su futura explotación puede ser rentable. En el agua continuamente se separan compuestos metálicos que se precipitan sobre el fondo; en lo que se refiere al manganeso, la tasa es de unos 20 mg. por metro cuadrado y año. El material puede quedar entre el sedimento fino; pero si existe algún cuerpo mayor en la superficie del sedimento, como pueden ser dientes de peces, que persisten descubiertos por cierto tiempo, sobre ellos se acumulan los compuestos metálicos, formándose los nódulos que, al fin, después de mucho tiempo, quedan enterrados en el sedimento fino. Simples mecanismos físicos conducen a una diferenciación, a una organización del material.

El estudio de los mecanismos de acumulación de materia orgánica tiene importancia grandísima, porque ella es el origen del petróleo. Las aguas del mar contienen una enorme reserva de materia orgánica. En el cuerpo de organismos vivos, en cadáveres y detritos de toda clase y en forma disuelta. Se podría pensar en un contraste entre los organismos del plancton, cuya vida transcurre enteramente suspendidos en las azules aguas del océano, como prototipo de una comunidad "limpia", y los organismos del fondo, "caídos en el fango". Pues no, la diferencia no es tan grande. Las azules aguas del océano contienen mucha basura triturada. Aquí cerca,

en el Mediterráneo, la concentración de materia viva en partículas, muerta en partículas, y disuelta, es de 20, 100 y 1.000 mg. de carbono por metro cúbico, respectivamente, y estos valores son típicos, en el sentido de que las concentraciones, y mejor aún las relaciones entre ellas, son representativas de las que se encuentran en sus extensas áreas marinas. Asombra la presencia de tanta materia orgánica en el mar. ¿Por qué no es utilizada por los seres vivos? En cierta manera ocurre un poco como con el oro del mar. El agua de mar contiene oro—cuatro kilogramos por kilómetro cúbico—, como prácticamente todos los elementos, pero el trabajo y la energía necesaria para concentrarlo y extraerlo superaría a su valor comercial. La energía que un organismo necesitaría para concentrar una materia orgánica muy diluida, por nutritiva que fuese, puede exceder del aporte energético de dicha materia orgánica.

Por otra parte, esta materia orgánica disuelta en el mar está sometida a una destrucción y utilización diferencial. En aguas profundas sólo queda la más resistente, la más dura de roer. Pero esta materia orgánica puede concentrarse por procedimientos físicos y luego adquirir nuevas propiedades. Alrededor de las partículas minerales del sedimento, especialmente de las arcillas, se absorbe materia orgánica en delgada capa, que luego es utilizada por los animales comedores de sedimento. Este acoplamiento agua-sedimento funciona como un sistema que transfiere continuamente materia orgánica de la primera al segundo. El petróleo deriva de materia orgánica producida por organismos marinos, muy reducida, acumulada en condiciones de falta de oxígeno y segregada a través del sedimento como en una cromatografía. El petróleo se encuentra en casi todos los sedimentos de origen marino y su origen no se puede adscribir a procesos excepcionales o cataclismos, sino a algo que pertenece al transcurrir habitual de la historia de los mares.

La materia orgánica disuelta puede agregarse en partículas utilizables por los animales, también lejos del fondo. Dicha materia orgánica es tensioactiva y tiende a separarse, formando una lámina en la superficie entre el agua y el aire. Alrededor de las burbujas que se forman por las olas, se acumula un tenue velo orgánico, y cuando las burbujas son llevadas hacia abajo y finalmente desaparecen por la presión hidrostática, queda un pequeño grumo recolectable. De esa forma, por medios físicos, parte de la materia orgánica disuelta vuelve al ciclo de la vida. Las propiedades tensioactivas de la materia orgánica en el mar se pueden percibir bien en los sistemas de fajas o bandas, alternativamente brillantes y opacas, que se ven frecuentemente en la superficie del mar. Se deben a células de circulación, promovidas por el viento (circulación de Langmuir). Allí donde el agua sube, su superficie se ve limpia y brillante; donde el agua desciende, deja en la superficie sustancias tensioactivas que se van concentrando e influyen en la microtopografía de la superficie y, por tanto, en la forma en que refleja la luz.

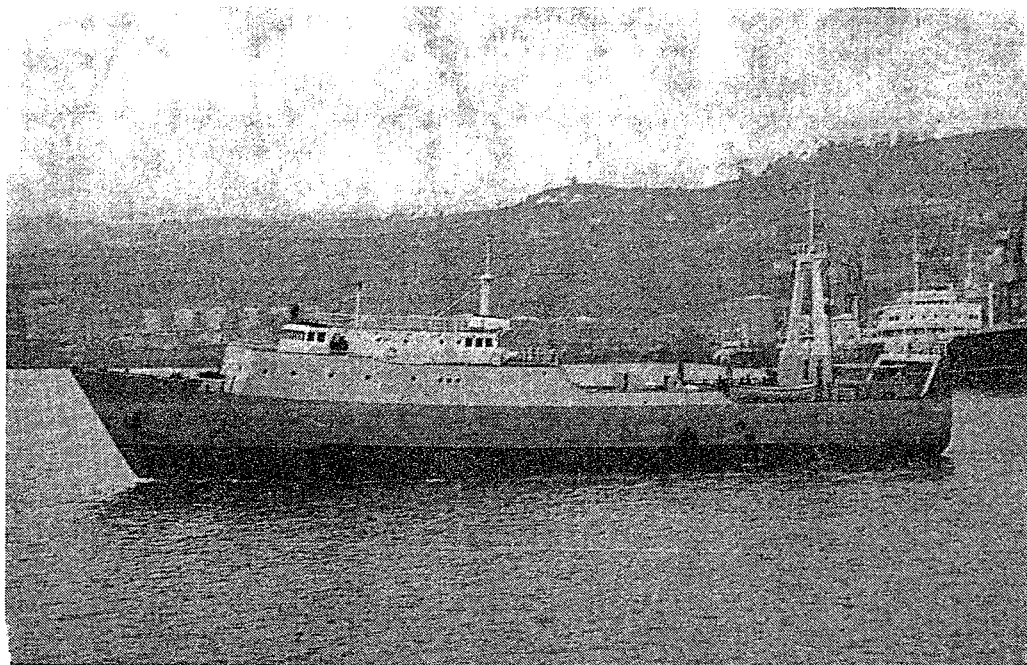
La intensificación en el estudio de las características del agua y de sus movimientos, objeto de la oceanografía física, ha permitido conocer mejor el funcionamiento de la máquina térmica marina. Al mismo tiempo ha disipado antiguas leyendas, como la de que la corriente del Golfo tenía una acción benefactora sobre el clima del Norte de Europa. El estudio de la interacción entre la atmósfera y la hidrosfera ha beneficiado de los progresos de la meteorología y del desarrollo de los

métodos de cálculo automático y recibió un fuerte impulso por la necesidad de conocer el estado probable de la mar, en relación con las operaciones bélicas de la Segunda Guerra Mundial. Hoy día se están abriendo incesantemente nuevas posibilidades de estudio.

El trazador automático de las isotermas registra con el mayor detalle la estructura térmica del mar siguiendo el rumbo del barco, poniendo de relieve la riqueza del mar en estructuras de pequeña escala. Dichas estructuras son muy importantes también en la distribución de los organismos y nuestro Instituto de Investigaciones Pesqueras ha contribuido de manera importante, internacionalmente reconocida, al estudio de la distribución de los organismos a pequeña escala y a su interpretación.

Desde hace ya bastante tiempo en Estados Unidos se estudia el trayecto de la corriente del Golfo, desde el aire, empleando sensores de la radiación infrarroja reflejada o emitida, y el Instituto Oceanográfico de Woods Hole (Estados Unidos) acaba de publicar (1965) un volumen de 469 páginas sobre "Oceanography from Space", estudiando algunos sorprendentes resultados iniciales y las vastas posibilidades que los satélites ofrecen para la investigación de los mares, concernientes, por ejemplo, al movimiento de la superficie, color, corrientes y hasta topografía de las superficies oceánicas.

Muchos estudios de oceanografía física y aun biológica han sido estimulados o posibilitados por las necesidades militares. Bastará un ejemplo. La guerra submarina ha conducido a desarrollar métodos de detección, basados en las ondas sonoras o ultrasonoras que se propagan a través del agua. O bien, con aparatos de escucha



"Mirador del Fito"

apropiados, se captan los ruidos y por ellos se trata de identificar artefactos potencialmente ofensivos; o bien se envían ondas, cuyo eco da idea de la distancia y características de los cuerpos sobre los que rebotan. Pero esto es más fácil de decir que de realizar. Muchos, muchísimos organismos marinos emiten sonidos en gran variedad y se ha invertido un considerable esfuerzo en caracterizarlos, para no confundirlos luego con submarinos. Como es natural, toda esta investigación tiene un gran interés en biología. Los océanos ya no se pueden llamar "El mundo del silencio".

Por otra parte, burbujas y organismos reflejan las ondas sonoras y dan la impresión de obstáculos. Una considerable celebridad ha alcanzado la llamada capa reflectora profunda ("deep scattering layer") que se presenta en muchos mares y está formada por la acumulación de animalitos pelágicos, entre los que dan un eco particularmente fuerte los peces provistos de vejiga natatoria y los sifonóforos con su burbuja de gas en el flotador. Se discutió durante mucho tiempo la naturaleza de dicha capa reflectora; unos veían en él un fenómeno físico, otros fueron más perspicaces al reconocer su causa biológica. Hoy, ésta queda fuera de duda. La capa de reflexión difusa sube y baja de acuerdo con las migraciones verticales de los organismos, que por la noche se aproximan a la superficie del mar; por otra parte, por medio de detectores muy sensibles de las radiaciones luminosas se ha reconocido la coincidencia de dicha capa con enjambres de organismos provistos de órganos productores de luz.

La trayectoria de las ondas sonoras en el agua se relaciona con la estructura térmica de los océanos. La velocidad de propagación de sonidos y ultrasonidos aumenta cuando aumentan la temperatura o la presión. Una trayectoria se curva hacia abajo normalmente, porque la presión aumenta con la profundidad. Pero si existe un fuerte gradiente térmico, su curvatura es hacia arriba. Los océanos tienen una estructura térmica más o menos complicada. Es frecuente que durante todo el año, o parte del mismo, exista un fuerte gradiente o discontinuidad térmica hacia los 20 a 50 metros de profundidad, la llamada termoclina. Un sistema de detección no podrá localizar un submarino que se aproxime por debajo de una termoclina, en el ángulo muerto del aparato detector, comprendido entre dos trayectorias del sonar contiguas en la base, pero divergentes hacia fuera. Frente a nuestra costa, la termoclina aparece cerca de la superficie en mayo y va profundizando gradualmente hasta encontrarse a algo más de 30 metros de profundidad a fines de septiembre. Más tarde se desvanece. Esto no es información secreta de importancia bélica. Los Estados Unidos, los rusos, la NATO, poseen y recogen información de este tipo en todos los mares.

Precisamente, uno de los motivos del interés especialísimo de todas estas naciones o asociaciones de naciones en el Estrecho de Gibraltar, sobre el que se ha volcado la investigación en esos últimos tiempos, tiene que ver con las termoclinas, y en general con las superficies de discontinuidad. En dichas superficies se propagan ondas, análogas a las que surcan la interfase entre atmósfera y océano, pero más lentas y de mayor altura. En el Estrecho de Gibraltar alcanzan proporciones desusadas, en relación con la circulación marina allí existente. Tales ondas internas son capaces de desnivelar y de llevar bruscamente a un submarino a profundidades

incompatibles con su integridad. Así ocurrió con numerosos submarinos alemanes en el curso de la Segunda Guerra Mundial y análoga parece que fue, también, la causa de la catástrofe del "Thresher".

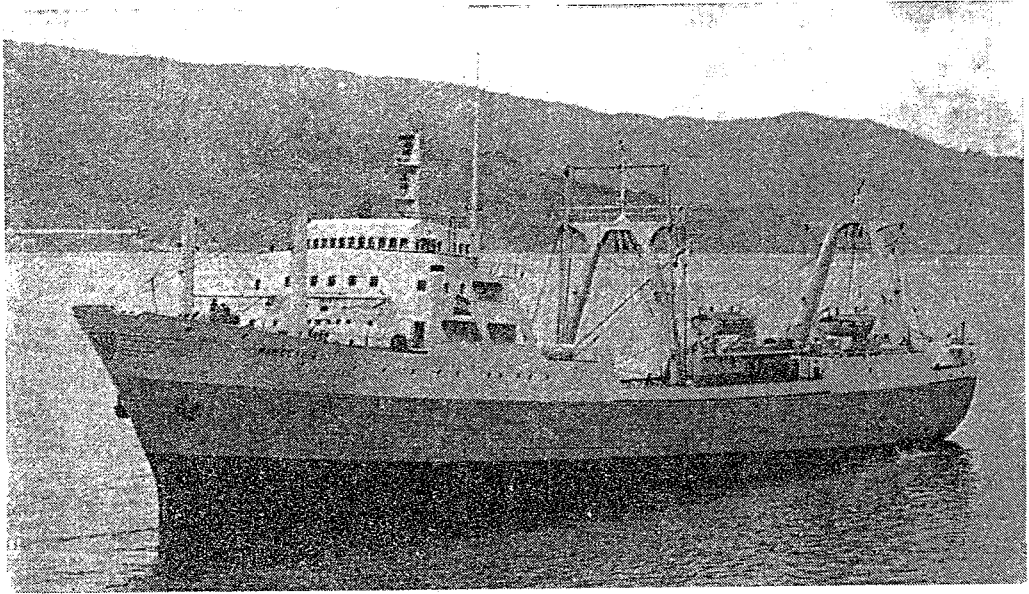
Puesto que las termoclinas constituyen barreras sónicas, la única manera de salvarlas consiste en hacer descender dentro del agua emisores y receptores, llevándolos a su nivel. Entonces se convierten en magníficos canales del sonido. Las ondas se curvan a un lado y a otro, aproximándose según un canal estrecho, junto a la termoclina. Podríamos decir que en una termoclina es posible "hablarse" a gran distancia y es verosímil que peces y cetáceos las usen como un canal preferente de comunicación. A mayor abundamiento, se sabe que la difusión de sustancias químicas en el agua es extraordinariamente rápida en el plano de una termoclina. Ambas circunstancias se conjugan para hacer de las termoclinas excelentes vías de comunicación. En ellas, efectivamente, se congregan frecuentemente los animales marinos y muchos peces no embancan más que cuando disponen de termoclinas como referencia. Son las ágoras o foros de este mundo eternamente suspendido del agua azul.

Es grande la energía que se disipa en las ondas internas a nivel de las ondas que agitan las termoclinas. Quizá algún día sea utilizada, por lo menos para impulsar algún nuevo vehículo subacuático, más como atracción deportiva que como medio de transporte rentable.

Todos éstos son aspectos parciales, piezas para construir las grandes síntesis intelectuales. En estos últimos años va surgiendo una imagen coherente de los grandes principios que gobiernan la circulación marina. Stommel y Munk, entre otros científicos, se han distinguido especialmente en proponer teorías básicas muy generales. La combinación del esfuerzo del viento y de la rotación de la Tierra determina un tipo de circulación de tipo anticiclónico (en el sentido de las agujas del reloj en el hemisferio Norte, y opuesto en el Sur) en cada una de las mitades de los grandes océanos mundiales.

Por lo menos en el hemisferio Norte, las líneas de flujo están mucho más aproximadas entre sí junto al borde occidental de los océanos, donde tenemos la corriente del Golfo y el Kuroshio. Otra regularidad importante, acerca de cuyas causas la discusión sería larga y pesada, consiste en la ascensión de agua profunda precisamente en el lado opuesto; es decir, junto al borde oriental de las masas oceánicas, y especialmente alrededor de una latitud aproximada de 30 grados.

Tal ascensión o afloramiento de agua profunda es un agente eficacísimo de fertilización. Los organismos marinos consumen los elementos en las capas superiores iluminadas; asimilados en la materia orgánica, son transportados de arriba abajo, y retornan al medio en aguas profundas o, por lo menos, a un nivel medio situado por debajo de aquel nivel medio en el que fueron asimilados. La continuación de la vida en el mar requiere que este movimiento sea contrarrestado de alguna manera, por mezcla vertical o, más frecuentemente, por ascensión de aguas profundas, que llevan hasta la luz a aguas enriquecidas en toda clase de elementos químicos necesarios para la vida. Entonces dichas masas de agua son colonizadas rápidamente por los diminutos vegetales del plancton, la gran puerta de entrada de la energía solar en el ciclo de la vida marina.



"Mar de Vigo"

El proceso natural de afloramiento se realiza a escala grandiosa junto al margen occidental de los continentes, a las latitudes indicadas, en California, Perú, Sahara y costas occidentales del Africa Austral, todas ellas áreas marinas celebradas por sus ricas pesquerías. El área mencionada en último lugar ha sido la última en ser intensamente explotada, y hacia ella se ha dirigido precisamente la actividad de una parte de la flota española de pesca de altura.

Con ser muy ricas, estas áreas marinas están sujetas a fluctuaciones en su producción, en las que empieza a descubrirse cierta regularidad. Es curiosa la forma en que el hombre reacciona ante semejantes fluctuaciones. Las variaciones de signo positivo son aceptadas como recompensa a su tenacidad e inteligente esfuerzo, y las variaciones de signo negativo se califican inmediatamente de catástrofes y crisis. Una inteligente política de investigación exige iniciar los estudios, incluso cuando las perspectivas son rosadas.

Una consideración más detenida de esas áreas de afloramiento permite descubrir interesantes relaciones. El agua de origen profundo que llega a la superficie es anormalmente fría y determina una circulación atmosférica descendente, con nieblas sobre el mar y escasas lluvias en las tierras inmediatas. Las costas de las áreas de afloramiento son áridas. Las aves, sin embargo, encuentran abundancia de alimento en el mar. Dichas regiones son riquísimas en aves marinas, cuyas deyecciones se acumulan en depósitos de guano, que se conservan bien bajo el clima seco. Véase, pues, la relación que existe entre las áreas guaneras y las regularidades básicas en la circulación oceánica.

En muchas otras áreas menos extensas las aguas superficiales se fertilizan por la acción de afloramientos locales. En el Noreste de Venezuela, por ejemplo, existe un área interesantísima de afloramiento, a cuyo estudio ha contribuido personal de nuestro Instituto, y que constituye un verdadero oasis en el seno de una región alternativamente pobre, como todas las tropicales. Allí hay bancos de sardinas y hasta ballenas. En nuestras costas mediterráneas se manifiestan también fenómenos de afloramiento en la segunda quincena de febrero, que contribuyen lo suyo en mantener la fertilidad de nuestras aguas, que, por supuesto, nunca puede ser grande.

Obviamente, el estudio de la fertilidad del mar, de su capacidad de producción, es fundamental en la investigación pesquera. El mar no produce alimento de manera ilimitada. Hoy conocemos bien los mecanismos básicos de la producción. Hacen falta luz y elementos nutritivos, de los cuales los más importantes son el fósforo y el nitrógeno, por ser los relativamente más escasos. La luz es efectiva en las capas superficiales; por debajo de los 50 metros de profundidad su intensidad se ha reducido demasiado para que tenga real importancia en la fotosíntesis. Las algas que pueblan las aguas superficiales se pueden considerar como una pradera pulverizada. Su gran subdivisión hace que la superficie absorbente sea grande y responden inmediatamente, multiplicándose, a cualquier aportación de fósforo y nitrógeno. Ya hemos dicho anteriormente que, de ordinario, las sales solubles que contienen dichos elementos necesarios vienen de aguas más profundas y la producción de materia viva en las aguas iluminadas suele ser función de la velocidad a que se va reponiendo la reserva de tan necesarios elementos. Un dato interesante es que la superficie absorbente de las algas del plancton es del mismo orden que la de las hojas de los árboles en un bosque. En nuestro Mediterráneo, un mar muy pobre, las algas microscópicas contenidas en una columna de agua de un metro de sección horizontal, desde la superficie del mar hasta abajo del todo, tienen, por término medio, una superficie de cuatro metros cuadrados. Esta cifra invita a la reflexión.

Actualmente se están reuniendo muchos datos sobre la producción marina a nivel de los vegetales, lo que se llama la producción primaria. La técnica es sencilla y se basa en el empleo de carbono 14, un isótopo radiactivo del carbono. Una muestra de agua de mar, con su plancton, se coloca en una botella y se le añade una pequeña cantidad de bicarbonato preparado con C-14. Al cabo de unas horas de exposición a la luz, se filtra el agua, con lo cual las algas del plancton quedan retenidas sobre el filtro, y se aprecia su radiactividad, índice de la cantidad de carbono que han fijado en forma orgánica. Cálculos sencillos nos dan la cantidad total de carbono (C-12 más C-14) fijado por la fotosíntesis, y la repetición de las experiencias a distintas profundidades y fechas permite deducir una imagen de conjunto. En el Mediterráneo, frente a las costas valencianas y catalanas, la producción primaria neta es de 45 a 75 gramos de carbono orgánico asimilado por metro cuadrado y año. Se prefiere expresar los resultados por metro cuadrado, con referencia a una columna de agua que va de la superficie al fondo, como mejor base de comparación. En el Atlántico los valores son, por término medio, unas cinco a siete veces mayores. Hoy día se están reuniendo valores de productividad en todos los océanos. Un mapa que represente la distribución de la producción primaria anual, da una idea exacta de la

fertilidad oceánica y señala asimismo la riqueza relativa de las distintas áreas, desde el punto de vista de su posible explotación pesquera.

Porque dicha cifra representa la entrada de energía en la máquina de producir que es el mar, y, por tanto, un límite absoluto para todo lo que pueda venir después. Y dicha energía decrece rápidamente en los sucesivos eslabones de la cadena alimentaria, al pasar al pez chico y luego al pez grande. De ordinario se reduce a una décima parte en cada paso. Así, por ejemplo, si la producción primaria es de 50 gramos de carbono orgánico por metro cuadrado y año, el plancton animal que se alimenta de las algas del "primer piso" tendrá una capacidad de síntesis de unos 5 gramos de carbono por metro cuadrado y año, y si suponemos una población de peces comedores de plancton, como sardinas o anchoas, su producción será del orden de 0,5 gramos de carbono, o sea, el 1 por 100 solamente de la producción primaria. Es obvio que la pesca nunca podrá rebasar dicho medio gramo de carbono por metro cuadrado y año, so pena de comerse rápidamente el capital.

De ordinario la pesca será menor. Hay que contar con numerosas pérdidas que impiden llegar al indicado 1 por 100. Precisamente los valores que se han dado como ejemplos corresponden aproximadamente a la realidad de nuestra área mediterránea. Pues bien, pacientes estudios realizados en el sector de Castellón, por Gómez Larrañeta y colaboradores, han puesto de manifiesto que la extracción de peces pelágicos—pescado azul—es del orden de 0,35 gramos de carbono orgánico por metro cuadrado y año, ya peligrosamente cerca del límite razonable y sin perspectivas de gran ampliación.

Como es natural, fluctuaciones en la producción primaria de unos años a otros repercuten rápidamente en la densidad y composición de las poblaciones de peces. En nuestras costas se dan fluctuaciones no muy regulares, aunque parece que los años de máxima producción planctónica (1950, 1957, 1963) están separados seis o siete años entre sí, un período que aparece también en otros diversos fenómenos fluctuantes que ocurren en el mar. Una explicación adecuada requiere largos estudios y en esto estamos. De momento hay que retener que las poblaciones marinas explotables están sometidas a altibajos de causa natural.

Peor es la situación, desde el punto de vista de la explotación, si nos fijamos en peces que viven cerca del fondo o sobre el fondo, como la merluza y tantos otros. En el caso de la sardina, esquematizando, tenemos una cadena con tres eslabones: plancton vegetal, plancton animal y pez, con dos saltos entre ellos, que reducen la energía disponible al 1 por 100 de la inicial. En el caso de un pez que se alimenta de gusanos, crustáceos u otros peces, la cadena tiene, por lo menos, cuatro eslabones, abarcando tres saltos, que reducen la energía al 1 por 1.000. Es un mal negocio.

¿Podríamos hacer algo por imitar, en el mar, la explotación de vacas o cerdos que consumen diariamente los productores primarios, con lo que su producción puede representar, digamos, el 10 por 100 de la de aquéllos? ¿Podríamos acortar las cadenas alimentarias en el mar? Probablemente no y las razones son varias.

Una limitación fundamental consiste en que los productores primarios del mar son microscópicos; las algas costeras representan una fracción insignificante de la

producción marina total. Una cosa son las algas microscópicas y otra el heno y la remolacha. Precisamente, la pequeñez de las algas del plancton está ligada a su gran velocidad de renovación. Si se examina la relación entre la masa de los vegetales y la masa de los animales que viven en equilibrio, se echa de ver que dicha relación es mucho más baja en el mar que en tierra; las algas del plancton se multiplican rápidamente, pero son consumidas también con rapidez. Podríamos compararlas a una pieza de una máquina que gira a gran velocidad, en comparación con la más lenta tasa de renovación de la vegetación terrestre. Es obvio que si empezamos la cadena con seres muy diminutos, para llegar a cierto tamaño tenemos que combinar más niveles: no podemos poner a un atún a comer diatomeas.

Acortar la cadena significa que el hombre tendría que recolectar el plancton para utilizarlo directamente. No es ciertamente muy sabroso—y os habla quien lo ha probado—, pero el inconveniente principal es la energía necesaria para su concentración. Volvemos a topar con el mismo problema que cuando tratábamos de separar el oro del mar. El hombre se contenta dejando que la Naturaleza haga funcionar sus mecanismos de concentración, que obran escalonadamente, hasta los peces. Y luego captura los peces. El desarrollo de las técnicas de pesca, hasta cierto punto, representa la continuación de la misma cadena, y las distintas artes pesqueras han evolucionado en relación con las especies buscadas: artes de cerco para especies planctófagas que forman cardúmenes, palangres o anzuelos complementados con cebo vivo para los cazadores.

Existen, de todas formas, cadenas más cortas que representan mecanismos muy eficaces de concentración y utilización de la producción primaria. Por ejemplo, los mejillones. Los mejillones son animales filtradores que utilizan no sólo las diminutas algas del plancton, sino también las bacterias y la materia orgánica muerta y finamente dividida. A través de los mejillones el hombre puede utilizar una fracción muy considerable de la producción primaria. La cadena de tres eslabones, materia orgánica suspendida-mejillón-hombre, es casi tan eficiente como la cadena remolachacerdo-hombre. Quizá aquella sea la única cadena alimentaria marina que puede ser tomada en consideración para sistemas autónomos de producción que algún día se lleven por esos cielos de Dios, en satélites tripulados. La finalidad de dichos sistemas es también la utilización de los residuos, cerrando el ciclo. Esto para nosotros no podrá ser mucha novedad, porque la ciudad de Barcelona se ha anticipado en mucho a la era espacial, cerrando el ciclo ciudad-mejillón-ciudad.

Cada área presenta sus problemas particulares. El Mediterráneo, por ejemplo, es un mar pobre. Es un mar azul, transparente, con poco placton, un mar para turistas y no para pescadores. La estadística de capturas es obvia. Por cada metro lineal de litoral en el Mediterráneo se desembarcan al año unos 39 kilos de peces; en nuestro litoral Atlántico la cifra es de unos 340 kilos. Obsérvese cómo estas cifras guardan relación con los respectivos valores de la productividad primaria, comentados anteriormente.

Las causas de la pobreza del Mediterráneo son varias. Por el Estrecho de Gibraltar escapa hacia el Atlántico agua profunda relativamente rica en elementos nutritivos y entra agua atlántica de la más pobre, es decir, de la superficial. El cambio a tra-

vés del Estrecho es mal negocio para el Mediterráneo. Una fracción de la pequeña cantidad de fósforo de que dispondría nuestro plancton vegetal se pierde también en el sedimento, por culpa del elevado contenido en oxígeno de nuestras aguas, lo cual a su vez es una consecuencia de la baja producción en materia orgánica, cuya descomposición en las aguas profundas consume muy poca cantidad de aquel gas. Es difícil imaginar cómo se podría salir de este círculo vicioso.

Aumentar la fertilidad del mar echando en él compuestos de fósforo y nitrógeno, si no es en bahías pequeñas, parece ser tiempo y dinero perdidos, porque el sistema marino —afortunadamente, por otra parte— posee una intensa capacidad de regulación y rápidamente inmoviliza todo exceso de elementos nutritivos que se introduzcan artificialmente. Cualquier proyecto de aumentar la fertilidad marina se ha de encaminar a modificar el mecanismo, alterar el ciclo de manera que unos mismos elementos se utilicen mejor. Por ejemplo, podría ser verdaderamente efectivo el producir artificialmente el afloramiento de aguas profundas, con una mayor frecuencia o con una intensidad mayor de lo que ocurre naturalmente. Hoy día la realización de semejante proyecto no aparece quimérica: se puede pensar en reactores nucleares sumergidos que calienten el agua profunda, haciéndola subir, o en alguna especie de termosifón construido en el fondo, que aprovechara el aumento de la temperatura a medida que se profundiza en la corteza terrestre. En una escala mucho más modesta, pero más factible, se puede pensar en llevar aguas dulces residuales hasta cierta profundidad, de manera que al mezclarse con el agua de mar hagan disminuir su salinidad y provoquen su ascensión.

El científico ha de anticipar un poco futuras necesidades, y en los estudios que estamos realizando en nuestra costa, reunimos datos pensando en que algún día será preciso tener una estima de la profundidad conveniente donde dejar las aguas residuales y de la subdivisión de sus vertidos, para conseguir, a la vez, desembarazarnos de las aguas impurificadas por las grandes áreas urbanas y aprovecharlas para conseguir un modesto afloramiento que aumentaría la producción primaria. Ciertamente, dicha fertilización de las aguas superficiales se debería más a la ascensión de aguas profundas ricas, por la disminución de salinidad que determinaría su mezcla con agua dulce, que a los elementos nutritivos que pudieran venir con las propias aguas residuales. El desarrollo del plancton vegetal en el agua enriquecida sería un buen agente inhibidor de la proliferación de gérmenes bacterianos indeseables. Y, a la vez, el vertido a una profundidad considerable, sería causa de que la presión hidrostática determinara la pérdida de flotabilidad de las inmundicias porosas, como restos de verduras y otras semejantes, que irían hacia el fondo. Y quizá una lluvia considerable de materia orgánica sobre el fondo conseguiría disminuir la tensión de oxígeno en él y hacer que el sedimento liberara algo del fósforo que avaramene retiene, todo en beneficio de una mayor fertilidad local.

Las perspectivas de la explotación pesquera mundial no son tan lisonjeras como desearíamos. La producción primaria de los océanos mundiales se estima en unos cuarenta mil millones de toneladas de carbono orgánico por año, lo cual representa unos quinientos mil millones de toneladas de placton vegetal entero. La producción de animales utilizables se podría considerar como el 1 por 1.000 de dicha cantidad, o sea

500 millones de toneladas por año. En 1908 la pesca mundial era de 8 millones de toneladas; en 1964 se capturaron 56 millones de toneladas. Existe margen para un considerable aumento de la pesca, pero en las actuales condiciones de explotación, al rebasar los 100 millones de toneladas anuales son de prever grandes y casi insuperables dificultades.

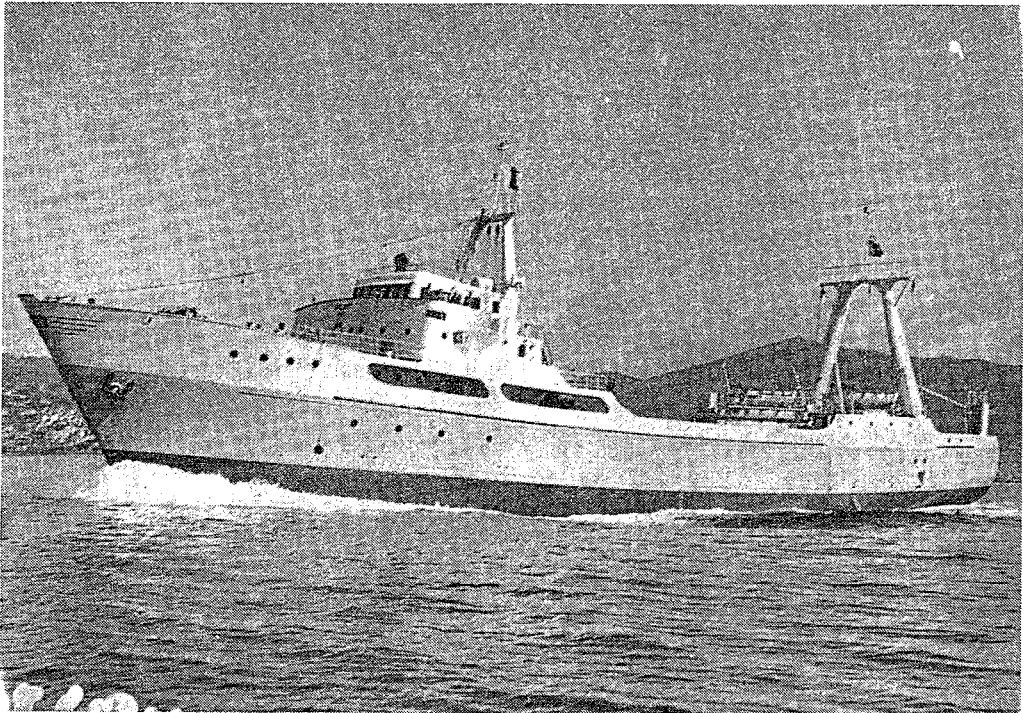
El esfuerzo de pesca actual está desproporcionadamente y mal repartido. Tan sólo el Japón lleva a cabo una política pesquera razonable y sentada en bases rigurosamente científicas. Así ha conseguido explotar las grandes áreas oceánicas y colocarse en el primer puesto de la pesca mundial. Muchas áreas se explotan en condiciones antieconómicas. La regulación pesquera es difícil mientras se encuentre justificada la actitud reflejada en la frase: «Si no lo cojo yo, lo cogerá otro.» Es imposible introducir mejoras tecnológicas esenciales en la detección y captura si no se encuentra manera de reducir grandemente el número de pescadores. Desde el punto de vista científico se podrían fijar los métodos y condiciones de captura convenientes para conservar las poblaciones de peces adecuadamente explotables. Recomendar unas cuantas normas eficaces—de ser seguidas—no es difícil. Pero numerosas cuestiones económicas, sociales y aun políticas hacen de la reglamentación y conservación de la pesca un problema complejo y erizado de dificultades que, en su mayor parte, sin embargo, escapan completamente de la esfera de actividades del científico. Por otra parte, la investigación aplicada a la pesca, presupone áreas mucho más extensas de investigación que trasciende menos a los sectores públicos, del mismo modo que la parte visible de un iceberg presupone un volumen mucho mayor debajo del nivel del mar.

El desarrollo de la pesca española es excelente y nuestro país captura aproximadamente un millón y medio de toneladas anuales. Sin embargo, como ha hecho notar Gómez Larrañeta recientemente: «La sola cosecha de naranjas de España es mayor que toda su producción pesquera, siendo este país uno de los de mayor importancia pesquera de Europa.» Pero debe tenerse en cuenta que la pesca es fuente importante de proteínas. Hoy día en el mundo faltan proteínas; pero en muchas algas marinas que se explotan sólo se aprovechan los coloides de las membranas y las proteínas se inutilizan y tiran. Una dirección muy importante de la investigación ha de revalorizar los productos del mar. Los peces son dietéticamente importantes también por sus lípidos no saturados, derivados de los de las algas del plancton; sin embargo, como que tienden a enranciarse, los peces grasos son sistemáticamente dejados de lado en la explotación de mares alejados. No faltan temas a la investigación pesquera.

Poco puede esperarse de la explotación de aguas profundas. La fauna abisal se parece un poco a la fauna de las cavernas, en el sentido de que, si bien puede representar una masa considerable, su velocidad de renovación es muy lenta, y el sistema no soporta una explotación seguida. Poco explotables son, por razones parecidas, las áreas coralinas donde, por otra parte, los peces son frecuentemente tóxicos. Los arrecifes de coral son el equivalente, en el mar, del bosque tropical en tierra, de la misma manera que el mundo pelágico, suspendido en las aguas, viene a ser comparable a un campo cultivado que ofrece con regularidad sus frutos, y que con la misma periodicidad es abonado. Semejantes analogías entre los sistemas terrestres y los acuáticos son del más alto interés en esta especie de ingeniería de la naturaleza a la que el hombre,

quiera que no y pese a todas las esperanzas de los entusiastas de la conservación de la naturaleza, se ve abocado. Y dentro de esta ingeniería de la naturaleza figura en un lugar preferente, en lo que al mundo marino se refiere, al lado de los proyectos de aumentar la fertilidad de las aguas naturales provocando artificialmente un afloramiento o por otros recursos, el verdadero cultivo de especies marinas, tal como ya se realiza en gran escala con moluscos y algas, y se empieza a ensayar con la platija en las Islas Británicas.

El mar ha sido y es despensa, camino y sentina de la humanidad. Cada vez absorbe más inmundicias y, desde hace poco, materiales radiactivos también. Este resumen sobre las perspectivas de la explotación de las riquezas marinas puede parecer un poco pesimista. ¿Aconseja ello cruzarse de brazos? Todo lo contrario. De la misma manera que la aparente imprevisibilidad y supuesta infinitud de los recursos marinos se van esfumando a medida que se avanza en el conocimiento de los mecanismos de la producción marina, es seguro que un conocimiento más profundo de los mismos nos ha de proporcionar los medios de regulación y control que ahora apenas vislumbramos. Los vertiginosos avances científicos y técnicos de nuestra época nos impiden toda perspectiva y no valen comparaciones históricas. Al científico sólo le queda proseguir su trabajo con fe y entusiasmo y a la sociedad darle un poco de su calor.



"Folias"