



El Mar y sus criaturas surgen con tanta fuerza como la representación de la guerra en esta obra Jmer

TRAS LA ERA DE LOS CAPITANES, LA DE LOS INVESTIGADORES LA GRAN AVENTURA CONTINUA

HENRI ROTSCHI
del Instituto Francés de
Oceanografía de Nouméa.

En el alba de las civilizaciones, y hasta donde alcanzamos a conocer la ciencia de nuestros antepasados, el Océano "que abraza la Tierra con su corriente ininterumpida" es considerado como un río cuyo fluir, semejante a una rueda, limita los confines del mundo. Surcarlos es una empresa homérica, que sólo intentarán los más audaces o los más codiciosos.

Antes de lanzarse a semejante aventura, durante muchas generaciones y siglos los mercaderes se embarcarán en frágiles barcas a remo, sin gobernalle y con un velamen rudimentario, y navegarán a lo largo de la costa en cuyo interior se hallan todas las riquezas de la época: perfumes, especias, marfil, oro, plata, gemas y maderas preciosas. Dos mil años antes de la era cristiana, y mucho antes de la guerra de Troya, los fenicios, pioneros del comercio internacional y de la navegación marítima, fundan puertos en las orillas del Mar Rojo y del Océano Indico. En el mar Árabe surgen los primeros faros, a cargo de una casta sacerdotal que vela para que el fuego no se apa-

gue jamás. Esos faros sirven de correo a los navegantes de la época, allí se dan y reciben todas las informaciones sobre las rutas, los peligros, las técnicas de navegación, el trazado de las costas, y el régimen de los vientos y corrientes. También se fundan escuelas donde se enseña el arte de navegar y de trazar una ruta partiendo de observaciones astronómicas.

El Mediterráneo fue la cuna de esa prodigiosa aventura humana, que acabó llevando al hombre hasta las grandes rutas oceánicas, movido al principio por fines lucrativos y luego por la pura sed del conocimiento. Después de franquear las Columnas de Hércules, los fenicios bajan hacia el sud siguiendo las costas africanas, o remontan costearo Europa hasta llegar a Inglaterra. Allí, el frío, la niebla, los vientos desatados y las violentas mareas los desconciertan, pues nada de todo eso han encontrado en el Mediterráneo, indefensos ante esos peligros, se ven obligados a descender otra vez hacia el sud.

A esta navegación de cabotaje, a cargo de trafi-

cantes más atentos a los intereses de su comercio que al desarrollo de la geografía, sucede muy pronto la era de las grandes exploraciones marítimas, abierta por Piteas el Marsellés en 330 a C. Geógrafo y astrónomo, Piteas avanza hasta el círculo polar, donde los témpanos flotantes lo obligan a retroceder. En el curso de su viaje parece haber explorado las costas de Gran Bretaña, las islas Shetland e Islandia (o Noruega). ¿Qué trae de su viaje? Ni oro ni plata, pero sí un conocimiento de las regiones árticas y una explicación astronómica del sol de medianoche. Este padre de la oceanografía es el primero en apelar a los cálculos astronómicos para determinar la posición de un lugar determinado.

Las grandes exploraciones marítimas exaltan la imaginación de los pensadores mediterráneos, moviéndolos a ejercitar su sagacidad en todos los aspectos geográficos accesibles en esa época. Así, Pitágoras deduce la esfericidad de la tierra basándose en los relatos de los marinos. Junto con Heródoto, Aristóteles, Hiparco y Ptolomeo, sienta las bases de lo que un día será la oceanografía. Se hacen sondeos, se trazan cartas, se determina la posición de los puertos, se calculan en el cielo las distancias recorridas. Las corrientes, los vientos y las mareas no son ya las manifestaciones aterradoras de dioses coléricos, sino auxiliares que permiten ampliar las vías marítimas por las cuales se cumplen los intercambios humanos, y que dan paso a las armadas, las ideas y las riquezas.

El país más fuerte y poderoso es aquél cuyos puertos son más numerosos, más grandes, y están mejor situados para canalizar la corriente de bienes materiales que mueve todas las acciones humanas, a su vez, las vías que llevan a los puertos están jalonadas por múltiples faros y fanales, a los que se atiende celosamente. La verdadera potencia de una nación surge del mar.

La "paz romana" cambiará el panorama a las aventuras oceánicas prefiere las conquistas continentales. Poco a poco, los antiguos terrores seculares, las supersticiones de los marinos vuelven a reinar en los herederos de los primeros navegantes.

Pero los vikingos y los árabes mantienen el fuego sagrado. Ellos intentarán las primeras travesías del Atlántico. Los árabes introducen en el mundo occidental el empleo del gobernalle montado en el codaste, de la brújula y del astrolabio. Una vez conocidos estos perfeccionamiento técnicos, todas las grandes navegaciones son posibles. Sin embargo, los vikingos las ignoran cuando se lanzan sobre barcas sin puente, de velas cuadradas, a explorar el mar del Norte. Llegan así a la Galla y al sur de Inglaterra, descubren el oeste de Gran Bretaña, Islandia, Groenlandia y desembarcan finalmente en América del Norte.

Algunos siglos más tarde, las carabelas de Enrique el Navegante siguen la ruta de las especias y del oro, menos de un siglo después, Vasco de Gama llega a la India. A esta progresión del occidente hacia el este, responde en la misma época la invasión del Pacífico por los pueblos polinesios, que osan cruzar el océa-

no a bordo de sus frágiles canoas con flotadores, valiéndose del conocimiento que tienen de las estrellas.

Cristóbal Colón muestra entonces el camino de las Américas, y se inicia la gran carrera marítima para encontrar rutas inéditas y directas al Asia y descubrir el único continente todavía desconocido, el antártico, al cual se atribuyen riquezas muy superiores a las que en realidad posee. Balboa descubre el Pacífico, Magallanes da la vuelta al mundo y efectúa los primeros sondeos a grandes profundidades. En vez de un continente antártico, Cook descubre un océano que corona la tierra en torno al polo, tras de lo cual recorre el Pacífico en todas direcciones, seguido muy pronto por Bougainville, los cazadores de focas y los balleneros.

Por último, se trata de encontrar un pasaje por el norte, exploración en la que se ilustran Davis, Hudson, Barentz y Behring.

A comienzos del siglo XIX la Tierra ya es bien conocida. Sólo quedan por descubrir unas pocas islas perdidas en las inmensidades oceánicas, y explorar los dos polos. Pero nada se sabe de las profundidades oceánicas, de la naturaleza y las formas de los fondos marinos.

Por lo menos cuarenta siglos han transcurrido desde que un hombre, movido por la curiosidad y el deseo de lucro, se lanzó al mar. ¿Cuál ha sido el fruto de tantos esfuerzos? Una "Geografía física del mar" publicada en 1855 por el teniente Maury, de la marina norteamericana, donde expone los conocimientos acumulados hasta entonces sobre los vientos y las corrientes, y que los marinos de todas las naciones le habían comunicado. La síntesis efectuada por Maury permite trazar cartas que, una vez en manos de los capitanes de los navíos, modificarán las rutas de las grandes travesías oceánicas, reduciendo por ejemplo en varias semanas los viajes a Australia o al Cabo de Hornos.

Es la primera de las "instrucciones náuticas", que constituyen el libro de cabecera de todo capitán y oficial de navegación, esas instrucciones contienen todos los detalles conocidos sobre la geografía física de los mares, la línea de las costas, los vientos, las corrientes y las mareas, los peligros y las señales, sin lo cual más de un barco naufragaría al aboirdar riberas inaccesibles.

No cabe duda de que antes del libro de Maury existían muchísimos documentos de capitanes que deseaban transmitir la experiencia adquirida por ellos. Por desgracia, todos esos datos destinados a facilitar la navegación abrían al mismo tiempo las puertas de las riquezas, y por eso eran celosamente mantenidos en secreto en las gavetas de los armadores y las cabinas de los pilotos.

Los portulanos y los periplos son los documentos más antiguos que haya llegado hasta nosotros, y nos permiten juzgar los conocimientos técnicos de los viejos marinos. Los primeros eran cartas que describían los accesos a las costas mediterráneas, e iban acompañados de instrucciones náuticas, mientras que los

periplos proporcionaban todos los detalles necesarios sobre el trazado de las costas, los abrigos, y las posibilidades de abastecimiento.

Más tarde aparecieron cartas marinas más generales las más antiguas que conocemos se remontan a fines del siglo XVI, y están dedicadas a Europa Occidental y al Atlántico Poco a poco las cartas se van perfeccionando, pero no hay duda de que las mejores fueron trazadas por empresas privadas, tales como la Compañía de Indias, que habían contratado a especialistas y disponían de una notable colección de mapas que constituían uno de sus secretos profesionales más preciados

Es necesario que entre en escena el Teniente Maury para que la necesidad de reunir todos los conocimientos náuticos se vuelva evidente, y nazcan así las "instrucciones náuticas" modernas y las cartas más perfectas

Pero el dominio del mar es lo bastante vasto como para que los hombres estudien en él otra clase de fenómenos En el siglo XVII, Varenius publica una "Geografía de las tierras y los mares", suma de los conocimientos de la época sobre astronomía y meteorología, y en la que se encuentra la primera descripción científica de los fenómenos periódicos que se producen en el mar y que ya habían atraído la infatigable curiosidad de Leonardo da Vinci Poco después las matemáticas ocupan el primer plano entre las ciencias, y todo queda sometido a su análisis Newton y Laplace dan la primera explicación científica de las mareas, Bernouilli sienta las bases de la hidrodinámica, que permitirá analizar el movimiento de los fluidos Paralelamente se manifiesta gran interés por todo lo tocante al mar La zoología emprende la descripción de los animales marinos, aparecen las primeras colecciones zoológicas, y los geógrafos empiezan a dibujar el fondo de los mares

Al llegar el siglo XIX, tanto los pensadores como los hombres de acción tienen plena conciencia de la importancia de las vías marítimas para todas las empresas humanas Ya no se trata de descubrir nuevas rutas y nuevos continentes, de buscar nuevas minas de oro u otras fuentes de bienes de consumo, sino de ampliar el dominio del hombre sobre un universo fluido que escapa por completo a su control y que sólo conseguirá someter a sus propios fines partiendo de conocimientos precisos que todavía le faltan Poco a poco ha tomado conciencia de su ignorancia, y por eso las grandes naciones marítimas se decidirán a organizar expediciones científicas en todas direcciones, inauguradas por el *Challenger*, de bandera británica, primer navío oceanográfico que habrá de estudiar los océanos durante cuatro años La oceanografía ha nacido el océano va a ser verdaderamente descubierto

¿Qué es ese mundo al que la humanidad va a dedicar tantos esfuerzos?

Para definirla de manera general, la oceanografía es el conjunto de ciencias consagradas al estudio del mar la dinámica, que estudia los desplazamientos horizontales y verticales, los movimientos permanentes y temporarios, periódicos o aperiódicos, la física, que

se interesa por las propiedades ópticas, acústicas, eléctricas, etc., la química, que engloba la naturaleza y las propiedades del agua de mar, la variación de esas propiedades en relación con diversos fenómenos dinámicos o biológicos, la biología, que examina los seres vivos que pueblan el mar, la bionomía, o ciclo biológico de las diferentes especies, la geografía física, la geología y la geofísica, disciplinas que estudian la morfología de los costas y los fondos, los sedimentos y la naturaleza del subsuelo marino

Puede afirmarse que la oceanografía nació con el viaje del *Challenger*, culminación de todas las expediciones comerciales o científicas que, a partir de las de Colón y Magallanes, habían alzado poco a poco el velo de superstición y de ignorancia que cubría los océanos Durante cuatro años el *Challenger*, corbeta de cuatro mástiles dotada de una máquina auxiliar, recorre el océano bajo la dirección de eminentes hombres de ciencia británicos, y luego de efectuar investigaciones en todas las ramas de las ciencias marinas, retorna a Edimburgo con un cargamento extraordinariamente rico y abundante de muestras y ejemplares de múltiples especies además de observaciones y mensuras, cuyo estudio, análisis y descripción se traducirán en la publicación de cuarenta volúmenes considerados como el documento oceanográfico fundamental, del que surgen las ciencias marinas, en especial la morfología submarina, la física y la química marinas, y la geología submarina Hasta la segunda guerra mundial las expediciones alemanas, francesas, norteamericanas, rusas y escandinavas recorren los mares, buscan las máximas profundidades, descubren fosas (de Puerto Rico, Mindanao, del Japón, de las Marianas, de Tonga-Kermadec, etc.), cuyas profundidades oscilan entre ocho y diez mil metros, remontan a la superficie especies vivas, recogidas en profundidades cada vez mayores, comienzan a percibir el trazado principal del relieve oceánico

La física y la química del mar se van perfeccionando No tardan en conocerse ciertas propiedades físicas, como la densidad y el calor específico de las aguas, mientras que otras, que dependen de la dinámica de las aguas, son más difíciles de captar En 1880 se determina con precisión la composición del agua marina, veinte años después se descubre la constancia relativa de esa composición, que constituye uno de los hechos más importantes en materia de oceanografía física, en efecto, la mayoría de los análisis de sales publicados hasta la fecha se fundan en la relación entre el grado de cloruro de sodio y la cantidad total de sales disueltas Luego se analiza el papel de las sales minerales de las capas superficiales del mar en los primeros eslabones del "ciclo alimenticio", y la función que desempeñan en la fotosíntesis de las algas marinas, y que es idéntico al de los abonos terrestres En cuanto a las investigaciones biológicas se consagran en un principio a la descripción de las múltiples especies que pueblan el mar

A medida que los grupos taxonómicos van siendo mejor definidos los trabajos se orientan hacia las

complejas relaciones existentes entre aquéllos y el medio en que viven. Por último, la dinámica del mar se precisa, el estudio directo de las grandes corrientes oceánicas no sólo permite determinar su curso e importancia, sino que la aplicación de los principios de la mecánica de los fluidos (establecidos mediante el estudio de la circulación atmosférica) da una sólida base matemática a los estudios sobre los desplazamientos de las masas de agua. Paralelamente progresa el estudio de las olas, las mareas y las ondas internas, coincidiendo con el desarrollo de la hidrodinámica.

Todos estos adelantos sólo han sido posibles por las grandes mejoras introducidas en las técnicas de observación y de obtención de muestras en el mar. Sin hablar de la navegación a vapor, los progresos más espectaculares se registran en los métodos de sondeos profundos, del sondeo manual se pasa al mecánico, y luego al sondeo acústico, que realiza en pocos segundos lo que las máquinas hacían en varias horas. Las muestras de fondos marinos se obtienen en un comienzo mediante dragas o arrastres más o menos eficaces, luego aparecen los tubos perforadores, que extraen "cilindros testigos" de varios metros de largo. La mediación de las temperaturas a diferentes profundidades se efectúa con máxima precisión gracias a un tipo especial de termómetro.

Se pueden recoger muestras de agua marina a cualquier profundidad, mediante botellas de apertura y cierre automático, en forma tal que varias botellas colocadas a distintas profundidades en un mismo cable, pueden recoger en el mismo instante diferentes muestras, mientras un termómetro registra la temperatura exacta correspondiente a cada una. Se inventan "correntómetros" capaces de medir la velocidad de las corrientes a diversas profundidades, tanto en el momento mismo como en un período más prolongado. Se fabrican dragas para recoger organismos vivientes del fondo de los mares y se perfeccionan redes que permitirán estudiar la distribución de la vida animal microscópica en diversos niveles. También se inventan redes especiales para recoger las algas microscópicas del fitoplancton.

La segunda guerra mundial acarrea un enorme desarrollo de la oceanografía. Por razones tácticas, es indispensable conocer mejor las propiedades físicas del mar, especialmente las acústicas, los métodos de detección acústica y ultrasónica adquieren así importancia primordial, y no tardan en aparecer aparatos tales como el Asdic o los sondeadores basados en haces ultrasónicos dirigidos. Como la velocidad de transmisión del sonido depende de la densidad (es decir, de la salinidad y la temperatura, siendo esta última un factor primordial en las capas superficiales donde se desplazan los submarinos), es necesario poder medir rápidamente las variaciones de la temperatura según la profundidad. El batitermógrafo traza sobre un vidrio ahumado una representación gráfica de la temperatura hasta los 300 metros, lo que facilita las más variadas mediciones.

Las necesidades de materias industriales básicas y de energía, en una época en que la humanidad evoluciona a un ritmo muy acelerado, no podrán ser satisfechas siempre con los recursos naturales terrestres. Llegará un día en que no se contará con suficientes proteínas de origen animal y vegetal, y en que el carbón y el petróleo empezarán a escasear.

El mar inagotable será entonces la fuente hacia la que se volverán los ojos de los hombres, mucho antes de que la luna o cualquier planeta hipotético pueda facilitarnos lo que necesitamos. Habrá que pescar más, y hacerlo racionalmente. Se llegará a extraer un enorme tonelaje de proteínas de origen planctónico, y en ciertas zonas se harán "cultivos marinos". Así, los campos de algas metódicamente explotados proporcionarán alimentos y sustancias industriales. La fuerza del mar dará energía a bajo precio a los países que carecen de fuentes energéticas naturales, hidráulicas o fósiles. Parte de la energía disponible será utilizada en la explotación de los recursos minerales disueltos en el agua marina o prisioneros en los sedimentos del fondo.

Este panorama, que no tiene nada de imaginario, sólo se cumplirá cuando se hayan llenado ciertas condiciones.

Por lo pronto, los instrumentos de que disponen los oceanógrafos —laboratorios, barcos, equipo de investigación y de estudio— deben ser mejorados en cantidad y calidad. Comparados con la tarea que deben cumplir actualmente, esos instrumentos son muy insuficientes. Así lo han comprendido ciertos países, que se han apresurado a crear institutos nacionales de oceanografía, cuyos fondos proceden de diversos capítulos del presupuesto (defensa, industria, comercio), y que cuentan con barcos de gran calado para sus trabajos en altamar. Tal es el caso del Japón, de la URSS y de los Estados Unidos de América, que cuentan con materiales oceanográficos que ningún otro país posee en la actualidad, y que destinan a esas investigaciones un presupuesto que hace todavía pocos años hubiera parecido extravagante; así, los Estados Unidos tienen en 1960 un presupuesto de 58 millones de dólares para trabajos de oceanografía.

Pero el mar es universal, baña las riberas de las más diversas naciones, y plantea múltiples problemas que deben ser estudiados por diferentes ciencias, por eso, ninguna nación puede pretender alcanzar por sí misma el conocimiento de todos los misterios del mar. Las tareas de investigación deben organizarse inevitablemente sobre una base internacional. Los trabajos conjuntos llevados a cabo en el Pacífico septentrional y ecuatorial por los barcos canadienses, norteamericanos, japoneses y franceses, la cooperación internacional instituida con motivo del Año Geofísico Internacional, constituyen otros tantos ejemplos del camino que habrá de seguir la oceanografía en los años próximos, y que proporcionará a las naciones marítimas una nue-

va oportunidad de comprenderse mejor y ayudarse recíprocamente con mayor eficacia

Si bien el mar ha inspirado a muchos poetas, novelistas y músicos, no cabe duda de que su influencia más poderosa se ha ejercido en el dominio de las actividades económicas. Nadie se extrañará, pues, de que al tomar una orientación práctica, la oceanografía haya dedicado sus investigaciones al mejoramiento de la economía mundial. Entre las actividades humanas dependientes del océano, y cuyo desarrollo ha sido posible gracias a pacientes investigaciones, mencionemos en primer término la navegación, que abre las rutas a la prosperidad.

La historia del mundo está ligada al desarrollo del comercio internacional, que en todo tiempo ha preferido las vías marítimas, no sólo para el tráfico intercontinental sino para el cabotaje entre diferentes regiones del mismo país. El mar se ha adelantado siempre a los caminos por tierra, abriendo a los países soberanos la vía de su desarrollo económico y político. Si la evolución de los transportes marítimos dependió durante mucho tiempo de nuestro conocimiento del mar, de la topografía costera y del régimen de vientos y corrientes, en muchos aspectos coincide con el desarrollo de la oceanografía, y esta última ha de seguir desempeñando un papel de primera línea en la explotación de las grandes rutas comerciales del globo.

En efecto, como el costo de un viaje resulta muy elevado, ningún buque de carga o paquebote emprende un viaje intercontinental sin que al trazar su ruta, se tengan en cuenta múltiples factores: por una parte la naturaleza, la fuerza, y dirección de las grandes corrientes oceánicas que puede encontrar durante el viaje y que le harán perder o ganar horas preciosas y hasta días enteros, por otra parte, las condiciones meteorológicas, su probable evolución y su influencia sobre el estado del mar. La oceanografía ha permitido conocer perfectamente la Corriente del Golfo, la de Labrador y las ecuatoriales, determinando sus causas, itinerario y fluctuaciones, y prestando así un servicio inestimable al comercio internacional.

Este comercio no sería tan intenso si en las costas batidas por las olas y las mareas, la Providencia no hubiera creado bahías y golfos de aguas tranquilas, que permiten la carga y la descarga de los navíos. En otras zonas, donde la naturaleza no se ha mostrado tan generosa, el hombre ha creado esos abrigos. Así han nacido los puertos naturales y artificiales, contra los que se encarnizan las olas y las mareas, destruyendo las obras de protección o rellenando los fondos con sedimentos aluvionales. Ha sido necesario desarrollar una ciencia de protección de las costas, que se traduce en la construcción de tajamares y espigones destinados a frenar la violencia de los elementos. Todas estas obras se fundan en un profundo conocimiento de la dinámica costera, del régimen de las mareas y corrientes asociadas, de la fuerza de las ondas y la altura de las olas, que a su vez están íntimamente ligadas al régimen meteorológico dominante y a la acción recíproca de la atmósfera y el mar. La meteorología y la dinámica, la hidráulica y la sedimen-

tación he ahí otros tantos factores esenciales del aprovechamiento racional de las costas.

El litoral no debe limitarse a algunos puertos favorables al comercio marítimo, es necesario que las costas permitan la navegación segura, es decir, que exista un conocimiento minucioso de todos los peligros y escollos que pueden afectar a los navíos de diversos tonelaje. Esta tarea está a cargo de los servicios hidrográficos nacionales, que se ocupan de trazar cartas costeras, con todos los detalles sobre los accidentes naturales, datos sobre las corrientes, fondos, mareas, etc. En otros tiempos estas cartas se basaban en penosos sondeos hechos a mano, pero el uso de los sondeadores ultrasónicos permiten efectuar rápidamente el trabajo. No obstante, si ciertas costas han sido muy bien cartografiadas, por cuanto desde hace mucho son teatro de un intenso tráfico marítimo, otros litorales —especialmente los de los países insuficientemente desarrollados— requieren un enorme trabajo que sólo los métodos más revolucionarios permitirán llevar rápidamente a cabo. Estos métodos han sido perfeccionados durante la guerra, por ejemplo, cuando se trata de fondos arenosos, se estudia mediante fotografías la variación del brillo de la arena a través de la capa de agua, partiendo del principio que el brillo varía según la profundidad.

Cuando se trata de costas en general, se determinan las características de las olas mar afuera, y la profundidad de la costa se calcula partiendo de la modificación de la altura de las olas y de su velocidad de traslación, pues ambos factores dependen de la intensidad del frotamiento del agua contra el fondo, es decir, del espesor de la capa de agua. Todos estos estudios puramente teóricos, efectuados por los oceanógrafos en los últimos años, han permitido a su vez una aplicación práctica, con favorables consecuencias desde el punto de vista de la economía.

El descubrimiento del petróleo submarino ha dado considerable impulso a los cateos en la plataforma continental, es decir, en la parte llana del zócalo de los continentes que abarca desde la costa hasta 200 metros de profundidad. Como la plataforma es la prolongación inmediata de las tierras emergidas, posee la misma estructura e idénticos recursos minerales que estas últimas. Se estima que contiene un volumen de sedimentos de petrolíferos de 120 millones de kilómetros cúbicos, lo que representaría una reserva de petróleo bruto calculable en 400 millones de barriles, o sea unos 40 mil millones de toneladas.

Esto equivale a un tercio de las reservas totales del mundo, 45 veces el consumo energético de 1956, y casi el 5% de las reservas totales de la energía fósil. Es fácil ver, pues, que el potencial petrolífero del mar está lejos de ser desdeñable, y que su explotación se desarrollará a medida que se perfeccionen las técnicas de perforación del fondo submarino a profundidades cada vez mayores; por el momento, el único obstáculo reside en los efectos de la corrosión, las olas y las corrientes sobre materiales que no han sido previstos para trabajar en condiciones tan penosas.

Por otra parte, el fomento de instalaciones costeras abrirá nuevas posibilidades en materia de explotación de usinas mareomotrices. Como su costo de funcionamiento es bajo, en ciertos casos será mejor recurrir a las mareas que a la energía nuclear, siempre que la configuración costera se preste a las instalaciones. El proyecto de explotación del estuario del Severn deberá proporcionar más de dos mil millones de kilovatios-hora, el de la bahía de Cobscook, en la bahía de Fundy, 340 millones de kilovatios, y el del Mont Saint-Michel, más de 12 mil millones. Se ve así cuán formidables son las reservas de energía que existen en el mar. Pero además hay otras reservas acumuladas en forma de energía térmica, que sólo aguardan algunos progresos tecnológicos para hacer su aparición en el mercado. Esas reservas son tanto más importantes cuanto que pertenecen a una categoría permanente, que ninguna explotación podría agotar jamás.

El desarrollo espectacular de la geología submarina y de la fotografía de los fondos abisales, ha permitido descubrir en el fondo del mar grandes extensiones cubiertas de concreciones metalíferas, denominadas nódulos y compuestas esencialmente de óxidos de hierro y de manganeso mezclados con cantidades apreciables de metales más raros: níquel, cobalto y cobre. La inmensa superficie que abarcan esos nódulos permite deducir el enorme valor de esos depósitos minerales, y es de suponer que se los explotará cuando se agoten los yacimientos terrestres. Las reservas están disponibles, y sólo hay que perfeccionar los medios técnicos para aprovecharlas.

Otros recursos minerales del mar tomarán asimismo gran importancia el día en que se descubra un sistema económico para concentrar el agua marina. La salmuera de los pantanos y salinas proporciona sulfato de sodio, cloruro de potasio, cloruro de magnesio y oxocloruro de magnesio. De los mares fósiles, como el lago Searles en California, se extrae bórax, bromo, litio, sales de potasio y de sodio. Lo mismo puede decirse del Mar Muerto, cuya concentración salina es diez veces superior a la del océano.

Lo que la naturaleza ha hecho a lo largo de toda la historia geológica de la tierra, el hombre puede reproducirlo mediante las fuentes de energía a su disposición. Así, para fertilizar zonas actualmente desérticas por falta de agua, se podría utilizar la energía nuclear a fin de obtener agua dulce partiendo del agua salada. El costo de esta operación quedaría cubierto por la obtención de materias primas de los residuos salinos, también se podría extraer el uranio que existe en el agua marina, y cuya fisión proporcionaría cien veces la energía necesaria para la evaporación del agua salada y su transformación en dulce. De todas maneras, cuando se hacen los cálculos de semejante operación y se la compara con la acción del sol sobre la superficie marina y la energía gastada para la evaporación de las capas superficiales (diez mil veces superior a la energía total utilizada por el hombre en forma de carbón, petróleo e hidroelectricidad), se comprueba que nuestros medios actuales son muy reducidos, y que nuestro campo de acción es sumamente limitado.

No obstante, cada vez se tiene más en cuenta que el equilibrio energético que regula las relaciones entre el mar y la atmósfera, y que determina los climas, puede ser alterado en la misma medida en que algunos procesos atmosféricos sufren alteraciones. En efecto, la menor presión sobre un fenómeno local podría provocar modificaciones en gran escala. No hay duda que cuando se conozca perfectamente el mecanismo que controla el tiempo y los climas, será posible establecer los puntos neurálgicos sobre los cuales el hombre podría intervenir a fin de modificar un régimen atmosférico de la manera más conveniente, pero habrá que proceder con suma precaución. Por ejemplo, el empleo de la energía nuclear para fundir parte de la capa glacial ártica que obstruye las vías de comunicación marítimas de Siberia, tendría que ser objeto de un estudio muy cuidadoso pues podría provocar un agrandamiento exagerado de los glaciares europeos y norteamericanos. Además, los vientos secos del norte podrían llenarse de humedad al soplar sobre el Océano Glacial Ártico deshelado, y al hacer llover sobre las montañas ya nevadas del hemisferio norte provocarían poco un descenso de temperatura.

Por el contrario, es posible que la temperatura vaya aumentando gradualmente en nuestra época a causa del excesivo consumo de carbón, petróleo y otros combustibles, que incorporan a la atmósfera enorme cantidad de gas carbónico, parte del cual es absorbido por el océano mientras el resto permanece en la atmósfera y almacena al nivel del suelo las radiaciones calóricas, lo que a la larga puede provocar un descenso de temperatura de uno o dos grados. Quizá estos procesos podrían desatar una reacción en cadena, cuya etapa final sería la fusión de los hielos y la inmersión de buena parte de las tierras que emergen actualmente sobre el nivel del mar. El destino de la humanidad depende de la capacidad de absorción del gas carbónico por parte del mar, y del ciclo dinámico que hace remontar sucesivamente a la superficie las capas de agua profundas. También en ese caso el hombre podría intentar restablecer el equilibrio que sus propias actividades han puesto en peligro.

Por último, y dado que el porvenir energético de la humanidad está ligado a la aplicación industrial de la energía termonuclear, no debe olvidarse que el océano constituye la mayor reserva de hidrógeno del mundo.

La oceanografía no ha cumplido aún cien años. Tributaria durante mucho tiempo de la curiosidad de algunas ricas naciones marítimas, y paradójicamente favorecida como tantas otras ramas de la tecnología por la segunda guerra mundial, puede jactarse de magníficas conquistas técnicas y de un mejoramiento evidente del nivel de vida en todo el mundo. Pero su contribución al bienestar de la humanidad no se detiene ahí: las perspectivas futuras son todavía más brillantes, en la medida en que cabe prever que el hombre se volverá más y más hacia el mar como fuente de alimentación, de materias primas industriales, y de energía.