

Orientaciones de la hidrobiología moderna

por

Ramón Margalef

EL estudio de los problemas que suscita la biología del medio acuático—sea de agua dulce, sea marino—forma una ciencia con sus métodos propios y con resultados de significado especial en el vasto campo de las ciencias biológicas. Los tipos más primitivos de organismos son acuáticos; sus funciones fisiológicas se pueden estudiar mejor que en los terrestres y en la fauna y flora acuáticas están representados una mayoría de los grupos sistemáticos. No es de extrañar que el estudio científico de las relaciones entre los organismos y el ambiente, así como de las interacciones de unos seres sobre otros, haya progresado de manera especial con referencia a los organismos acuáticos, de suerte que puede decirse que la ecología moderna (*Ibérica*, números 214, 215; 1951) se ha integrado en gran parte con materiales segregados de dos ciencias: de la limnología—literalmente estudio de los lagos, pero que por extensión significa estudio de todas las aguas dulces en general, lagos, ríos, aguas artificiales y hasta el agua del suelo y la embebida en masas de musgos—y de la oceanografía o historia natural de los mares. El interés práctico de la hidrobiología es considerable: suministros de agua potable, depuración de las aguas residuales, lucha contra el paludismo y la multitud de problemas relacionados con la pesca son un índice abreviado de la multiplicidad de sus aplicaciones en la vida cotidiana de las naciones.

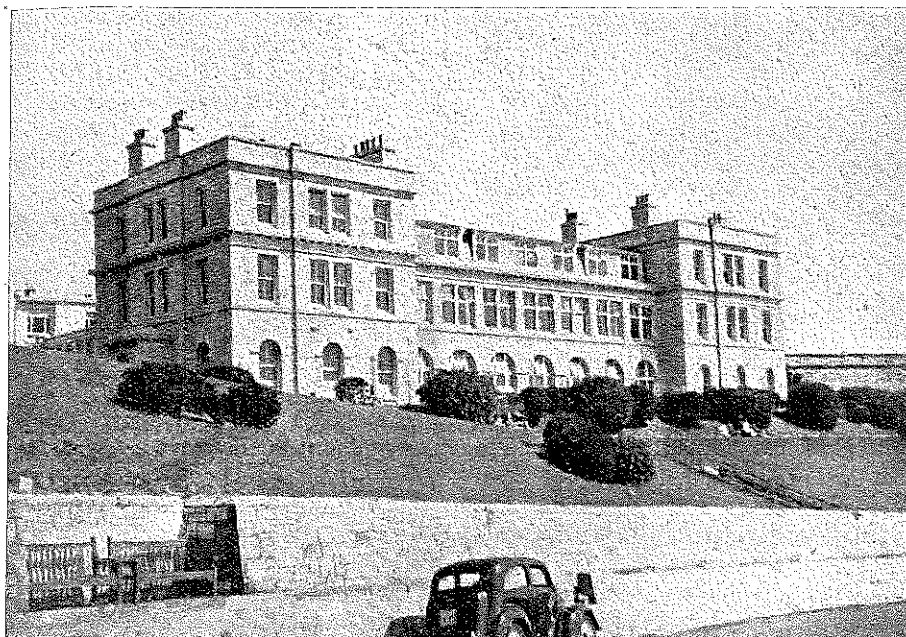
En agosto último se celebró en Inglaterra el “XII Congreso de la Asociación Internacional de Limnología” y al mes si-

guiente, en Londres, unas reuniones dedicadas al estudio de la biología y productividad de los mares. El que suscribe tuvo la oportunidad de asistir a los dos y, además, de permanecer por unos días en los dos laboratorios ingleses más importantes, dedicados respectivamente al estudio de las aguas dulces (Windermere) y de las marinas (Plymouth). Fruto de esta experiencia son las siguientes consideraciones sobre las tendencias actuales en el estudio de la vida acuática, que se exponen sin detalles de especialización y limitándolas a los aspectos que más pueden interesar a la generalidad de los lectores.

Oceanografía y limnología se han desarrollado con un considerable grado de independencia, aunque no han dejado de suministrarse mutuamente ideas que, principalmente, se refieren a cuestiones técnicas. Hoy día se nota una mayor aproximación entre las dos, pues ciertos temas de estudio permiten la suficiente generalización para considerar lo que ocurre, en los lagos y en los mares, como casos particulares susceptibles de una formulación comprensiva. Distinguidos oceanógrafos siguen los trabajos limnológicos y no son pocos los que trabajan en ambos campos. Una de estas zonas de activa fusión se halla en el estudio de la productividad de las aguas. El estudio de los factores de la producción del fitoplancton (véase *Ibérica*, núm. 91, segunda época, 1945) mereció un interés destacado en las dos reuniones a que nos hemos referido. Luz, anhídrido carbónico y sus derivados (ácido carbónico y bicarbonatos) en

el agua y diversas sales inorgánicas son las bases de la producción vegetal y la técnica moderna ofrece los medios necesarios para una determinación cuidadosa de intensidades y cantidades. En el lago Windermere se ha dispuesto una instalación automática que registra continuamente la luz en distintas profundidades, por medio de elementos

tritivias que se hallan "racionadas", es decir, aquellas cuyas concentraciones relativas—en relación con la composición de la materia viva—son mínimas. En este caso se hallan los compuestos de nitrógeno y de fósforo, más raramente el hierro y a veces el silicio. Si estos elementos están en cantidad suficiente, las algas obtienen los res-



Laboratorio de la Asociación de Biología Marina del Reino Unido, en Plymouth

adecuados y por duplicado, como intensidad lumínica comparada con la luz solar y como energía absoluta. En Plymouth, especialmente como resultado de los trabajos del Dr. ATKINS, se han mejorado considerablemente las técnicas de medición de la luz en profundidad, acumulándose una gran cantidad de datos. La importancia de estos estudios resulta obvia, si se tiene en cuenta que la penetración de la luz limita el desarrollo del plancton vegetal en profundidad, y su intensidad determina su productividad en las diversas capas.

Para el crecimiento de las algas sólo tienen importancia decisiva aquellas sales nu-

tantes en la medida en que los necesitan para crecer, es decir, para elaborar materia orgánica. En último término, el elemento limitante suele ser el fósforo; por lo cual el conocimiento de su distribución, en forma de sales inorgánicas, en el mar y en las aguas dulces es de importancia fundamental.

Tanto en los lagos como en el mar, el ciclo anual se desarrolla según el siguiente esquema. El fitoplancton prolifera en las aguas iluminadas próximas a la superficie. Por sedimentación de las algas o por migraciones de los animales que se alimentan de ellas y sedimentación final de sus cadá-

veres, la materia orgánica producida se descompone más tarde a una profundidad mucho mayor y allí pasan al medio los elementos que formaban parte de ella, con mucha mayor intensidad que en las capas superficiales: la consecuencia es un transporte vertical de arriba a abajo de los elementos más necesarios, empobreciéndose gradualmente las aguas superficiales. Para que el desarrollo de la vida se mantenga constante, es forzoso que las sales del fondo asciendan, es decir, que las aguas se agiten y mezclen verticalmente.

Esto ocurre por la acción del viento; pero, solamente, cuando la turbulencia creada en las aguas por la circulación atmosférica sea capaz de vencer las diferencias de densidad entre capas de agua superpuestas, que, de otra manera, crean una estratificación estable. La mezcla vertical sólo es eficaz cuando el gradiente vertical de densidades queda prácticamente destruido, y el momento en que esto ocurre es el punto de partida para el enriquecimiento de las aguas de superficie y para una subsiguiente "cosecha" de fitoplancton. Por el contrario, cuando las aguas están estabilizadas, por ejemplo, cuando las superficiales se calientan fuertemente durante el verano, su producción baja a límites mínimos. Las épocas de máxima producción de las aguas dependen mucho menos de la temperatura en sí y de la luz que de aquella mezcla vertical. El Dr. MORTIMER, de Windermere, que ha estudiado la circulación vertical en numerosos lagos ingleses, ha construido un modelo experimental sumamente ingenioso, en el que se pueden establecer gradientes térmicos y experimentar la acción del viento vigilando los movimientos de la masa de agua por medio de colorantes distribuidos en las capas de diferente densidad, o viendo la deformación de los hilillos de color que sueltan partículas de colorante dejadas caer en el agua. Los datos experimentales obtenidos mediante este artificio, facilitan la interpretación físico-matemática de lo que ocurre en las aguas naturales.

En relación con la liberación de elemen-

tos químicos, a partir de los cuerpos y cadáveres de organismos en las profundidades del mar, si tuviéramos que creer a algunos textos según los cuales una gran presión mata los microorganismos, los grandes fondos marinos parecerían cubiertos por un sedimento de cadáveres incorruptos, pues allí reinan presiones de 600 y hasta de 1 000 atmósferas. Sin embargo, los cadáveres se pudren a 10 000 metros lo mismo que en la superficie de la tierra. Especialmente gracias a los estudios del doctor ZOBELL, de California, sabemos que existen numerosas bacterias en los grandes fondos, que no mueren si se llevan a la presión atmosférica; pero que no crecen o crecen poco en ella, aunque se desarrollan rápidamente cuando sus cultivos se encierran en cilindros de acero y se someten a presiones enormes de 600 a 1 000 atmósferas. No estará de más añadir que recientemente se ha pescado una fauna variada hasta a 10 190 m. de profundidad.

Los primeros investigadores del plancton marino se contentaron con arrastrar una red de tela fina por el agua, estudiando—primero cualitativamente y luego también cuantitativamente—los organismos que la seda atrapaba y retenía. Más tarde se cayó en la cuenta de que la mayor masa de los microorganismos del fitoplancton escapaban entre las mallas, por tupidas que fuese la tela (1/25 de mm. cada abertura) y se buscaron nuevos métodos: centrifugar, filtrar sobre papel o filtros especiales de poros muy estrechos, sedimentar después de fijar—matar—los organismos, y estudiar cuantitativamente los pigmentos asimiladores extraídos de las algas contenidas en un volumen de agua determinado (véase *Ibérica*, segunda época, núm. 246, 1952). Pero no podemos contentarnos con una apreciación de la masa actual. Si ésta se considera como un capital, lo que importa tanto o más es su interés, es decir, la aptitud de un plancton para producir nueva materia viva y la cantidad total de carbono que se asimila en un tiempo determinado—en un año por ejemplo—y en un área definida.

Se comprende que esta capacidad de producción de las aguas—su productividad, como se dice—tenga más importancia que su producción actual en distintos momentos del ciclo anual, cuando se trata de estimar su aptitud para producir una cosecha determinada de peces o de otros productos marinos. Una población planctónica puede ser poco densa; pero si crece rápidamente y sus individuos se dispersan y sedimentan, con notable velocidad, representa una considerable producción orgánica de la que se beneficiarán una serie de animales, en parte vivientes sobre el fondo. El estudio del consumo de las algas por los animales del plancton y la importancia relativa de la pérdida de algas fitoplanctónicas por la sedimentación que las lleva a zonas crepusculares, donde ya no son capaces de asimilar, son aspectos complementarios que no pueden descuidarse en el estudio de cualquier comunidad marina. En particular, si las capas superficiales dentro de las que las aguas se mezclan intensamente bajo la acción del viento, son de gran espesor, excediendo de cierto límite en relación con la profundidad de compensación—es decir, aquel nivel donde el balance asimilación-respiración ya no es favorable para las algas—se establecen condiciones bajo las cuales no es posible el aumento de la población vegetal.

Hoy día se han multiplicado los estudios experimentales para averiguar la productividad del fitoplancton—el interés que produce el capital planctónico—. Uno de los métodos consiste en sumergir botellas con agua y plancton en distintas profundidades y estudiar el desprendimiento de oxígeno, como índice del exceso de asimilación sobre la respiración. La respiración puede conocerse empleando botellas análogas sumergidas a la misma profundidad; pero cubiertas de manera que no llegue la luz a su contenido. Usando este procedimiento es fácil deducir el CO_2 que ha sido convertido en materia orgánica por unidad de tiempo y de volumen. En el nivel de compensación (habitualmente entre los 10 y los 45 metros de profundidad) el contenido ga-

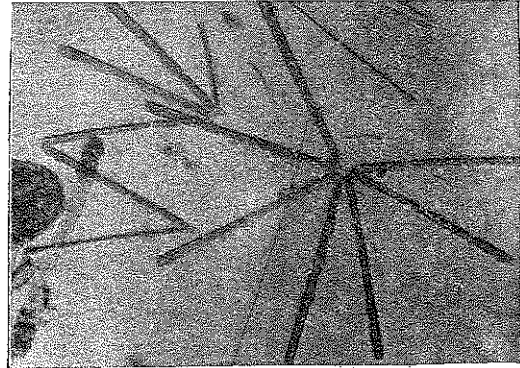
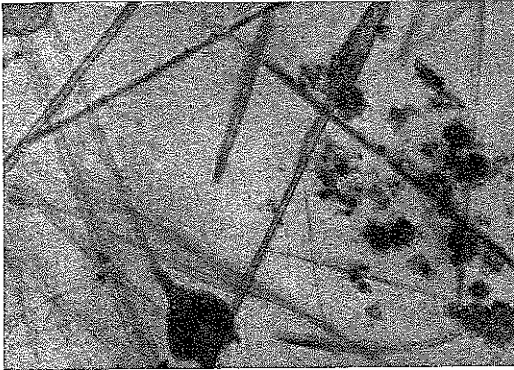
seoso no experimenta alteración en las botellas descubiertas, por lo menos en teoría, por ser igual la asimilación que la respiración. Los resultados suelen expresarse integrando los que corresponden a los distintos niveles de una columna vertical de agua de un metro cuadrado de sección, dándolos en gramos de carbono orgánico—o de glucosa—por metro cuadrado de superficie marina y unidad de tiempo.

Los isótopos radiactivos—de uso creciente en biología—han permitido elaborar un método más sencillo y exacto para el estudio de la productividad del fitoplancton marino, ideado por el Dr. STEEMAN-NIELSEN y ampliamente usado en el curso de la expedición danesa del *Galathea*, de 1950 a 1952. Muestras de agua con plancton, procedentes de diferentes niveles, se colocan en botellas adecuadas, que se suspenden a las correspondientes profundidades, lo mismo que en el procedimiento que hemos descrito sucintamente unas líneas más arriba; pero, en lugar de valorar el desprendimiento de oxígeno, lo que se hace es añadir a cada frasco—cuyo contenido de CO_2 “normal” se determina—una cantidad conocida de CO_2 preparado con carbono radiactivo (C^{14}). Se suspenden las botellas un tiempo, se retiran y su contenido se filtra sobre una membrana de ésteres de celulosa, de poros muy finos. El filtro con el residuo, en el que se halla el fitoplancton que estaba en suspensión en aquella masa de agua, se lleva a un contador de Geiger, y se aprecia su radiactividad, la cual nos da directamente la cantidad de C^{14} asimilado por las algas. Pero éste no es más que una parte de carbono total asimilado, suponiendo que tanto el C^{12} como el C^{14} se asimilan con la misma rapidez—lo cual no es cierto, pues las plantas toman más rápidamente el C^{12} que el radiactivo, pero el error que se comete parece que cae dentro del experimental—, la cantidad de C^{14} asimilado debe multiplicarse por la relación entre el CO_2 total al principio del experimento y la parte del mismo formada por C^{14} .

A base de las cifras halladas durante la

expedición mencionada, STEEMAN-NIELSEN cree poder aceptar una media de productividad, para todos los mares, igual a 55 gramos de carbono fijados durante un año por metro cuadrado de superficie. La extensión total de los océanos es de 361 millones de

sentir de muchos oceanógrafos es que los valores aceptados por STEEMAN-NIELSEN pecan por defecto. De todas formas, esta ingente producción de materia orgánica es, cuando menos, igual a la de la superficie de los continentes.



Microfotografías de plancton mediterráneo, con diversas especies de diatomeas y dinoflageladas

kilómetros cuadrados, de manera que su producción anual total sería del orden de unos 20 mil millones de toneladas de carbono, fijadas cada año en todos los mares del globo, o—si se prefiere—48 mil millones de toneladas de azúcar. Esta cifra parece enorme; pero, cuando se compara con las obtenidas por otros autores a partir de datos conseguidos por métodos diversos, resulta todavía baja. Posiblemente, las cifras hasta 4 ó 5 veces mayores que se han dado son, realmente, exageradas; pero el

Las diminutas algas del fitoplancton son comidas por pequeños animales, principalmente crustáceos; éstos, a su vez, por depredadores mayores, y la cadena de alimentación que une a las algas fitoplactónicas con los peces explotados por el hombre está compuesta, generalmente, por 4 ó 5 eslabones. Este es un punto de gran importancia, pues es sabido que el paso de un eslabón a otro va acompañado de una gran pérdida de energía. Una vaca que pasta la hierba verde de una pradera aprovecha

mucho mejor la energía solar acumulada por el vegetal, que un pez que se alimenta de fitoplancton indirectamente, a través de una serie de animales que se comen unos a otros. La obtención de la producción de los mares en un grado inferior—en forma de fitoplancton o de zooplancton fitófago—permitiría, teóricamente, un mejor aprovechamiento; pero todavía queda en un futuro muy lejano o en los dominios de la fantasía (*Ibérica*, segunda época, n.º 91, 1945).

Existe la posibilidad de aumentar la productividad de las aguas naturales, suministrando los elementos que se hallan en cantidad mínima—nitrógeno y fósforo—con lo cual se favorece la producción del plancton y, al fin, la de peces y otros animales aprovechables. También puede seguirse un procedimiento análogo para obtener directamente las algas. A este último proceder puede asimilarse el mantenimiento de cultivos de una sola especie de algas, bajo condiciones reguladas, para utilizarlas como fuente de variadas materias primas. Proyectos en este sentido, que se habían exteriorizado repetidamente en diversos lugares (véase *Ibérica*, segunda época, núm. 228, 1952), van entrando en vías de realización. Se acumulan datos sobre las características y comportamiento de las distintas especies bajo condiciones diversas y se considera seriamente la posibilidad de emplear las algas cultivadas, como una fuente importante de alimentos, principalmente proteínas, que sería especialmente útil en determinados países de agricultura muy pobre, como es el joven estado judío. La "Carnegie Institution" acaba de editar un volumen conteniendo estudios de diversos autores sobre este tema, cuyo título es suficientemente expresivo: "Cultivos de algas: del laboratorio a la instalación piloto". La tendencia general se dirige a aprovechar la luz solar como fuente de energía para estos cultivos; lo cual representa una gran economía con respecto a la utilización de luz eléctrica; si bien crea dificultades técnicas en la disposición de los recipientes de cultivo, que han

de ser de poco espesor y protegidos por cubiertas transparentes.

En este caso se trata de algas microscópicas; pero las de gran tamaño no son olvidadas en la investigación, acumulándose datos sobre su composición y sobre la forma en que ésta cambia como consecuencia de alteraciones en las condiciones de cultivo. Botánicamente hablando, las algas no constituyen un grupo natural, sino un haz de grupos independientes de características bioquímicas extraordinariamente variadas, lo cual hace de ellas fuente interesantísima de materias primas. Aparte de la utilización de las algas como alimento, que hasta ahora tiene lugar en escala muy pequeña—principalmente en el Japón—, hace ya tiempo que se usan el agar, mucilagos y los alginatos, para diversos usos industriales, a los que se van añadiendo otros: la laminarina para el plasma sanguíneo, los alginatos como hemostáticos, el manitol para explosivos y plásticos, etc.

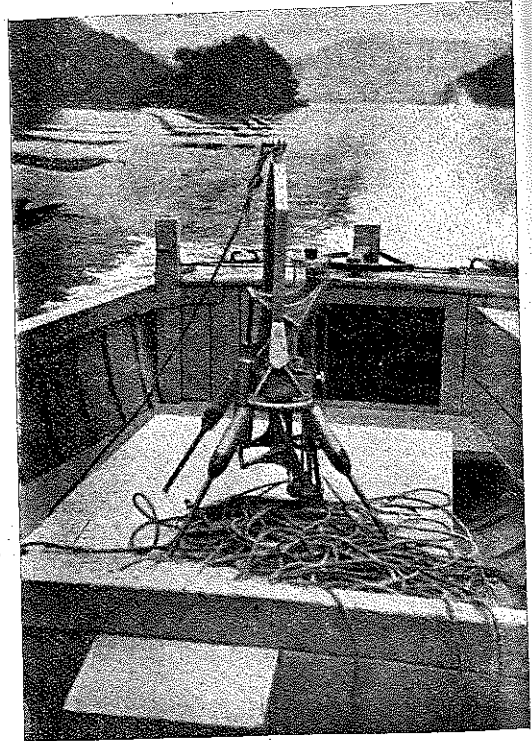
Además de la composición química de las algas, otro aspecto de su fisiología que adquiere creciente interés es la producción de sustancias ectocrinas, es decir, de determinados compuestos orgánicos que abandonan el cuerpo del vegetal y se disuelven en el medio, cuyas propiedades pueden alterar. Hace tiempo se sabe que ciertos flagelados marinos pueden producir tóxicos que pasan al cuerpo de animales marinos y de allí al del hombre, produciéndole efectos nocivos específicos. Otras algas de agua dulce, en gran cantidad, dañan a los animales. Se habla, desde hace años, de la "clorelina" y de la "escenedesmina", sustancias de acción antibiótica que aparecen en los cultivos de algas unicelulares de agua dulce; pero ahora estas denominaciones vagas van siendo substituídas por otras más precisas. En los cultivos de algas verdes aparece un ácido graso fotooxidado que muestra acción bacteriostática; su investigación ha conducido al descubrimiento de propiedades antibióticas en compuestos de composición parecida. Los estudios de FOGG y WESTLAKE han demostrado que las algas

excretan polipéptidos, que pueden fijar metales pesados, actuando como protectores del mismo cultivo. Estamos penetrando en un mundo nuevo para nosotros. Los organismos que pueblan determinado ambiente no sólo actúan unos sobre otros comiendo y siendo comidos, sino de manera mucho más sutil, y el agua que relaciona a unos con otros, casi puede compararse a una especie de plasma vivo. También aquí la hidrobiología marcha a la cabeza, dentro de la ecología general, y no estará de más subrayar como todos estos nuevos puntos de vista se han conseguido por la feliz conjunción—en un solo investigador o, más frecuentemente, en el equipo de investigadores de un laboratorio—de una sólida formación en física y química con la biológica tradicional.

Los organismos mueren y van al fondo: la acumulación de sedimentos, la presencia de organismos en ellos, el intercambio de sustancias químicas, entre el suelo sublacustre o submarino y el agua inmediata, es otro conjunto de temas conexos que centra también el interés de numerosos investigadores. A su importancia para entender el ciclo biológico general del agua, se une la que tienen los sedimentos como documentos que nos ilustran sobre el pasado, permitiéndonos reconstruir condiciones ecológicas y conocer los organismos que vivieron en épocas remotas. Se usa de manera general la técnica de obtener largos cilindros de sedimento, por medio de tubos que se clavan profunda y verticalmente sobre el fondo. Los resultados han sido especialmente sensacionales en el estudio de los fondos marinos, habiéndose conseguido identificar ciertos niveles que se consideran como indicios de las glaciaciones.

El estudio de la distribución de las especies data de antiguo, tanto en limnología como en oceanografía. Más reciente es la investigación de las condiciones que asisten a la formación de razas, en una palabra: a la microevolución, para el estudio de la cual las aguas dulces ofrecen condiciones insuperadas por otros ambientes, debiéndo-

se atribuir probablemente a desconocimiento el que genetistas y estudiosos de la microevolución no hayan sacado mejor partido de material tan idóneo. En el Instituto de Hidrobiología de Pallanza (Italia) se llevan a cabo, desde hace años, importantes



Aparato usado para tomar muestras del limo del fondo, destinadas al estudio del intercambio de sustancias entre el sedimento y el agua en contacto con él. (Fotografía tomada en el lago Windermere)

estudios sobre la diferenciación de las poblaciones, manifestadas por una divergencia de los caracteres morfológicos, que se observan en distintos lagos cercanos y aún en el seno de una misma masa de agua. El lago de Ocrida, en Yugoslavia, suministra importantes ejemplos de diferenciación de especies dentro de una misma masa de agua, cuya explicación teórica, según los conocimientos actuales, no es todavía plenamente satisfactoria.

El que suscribe presentó al Congreso de

Limnología un estudio sobre las relaciones entre cambios morfológicos semejantes y la temperatura. Pueden ser simples modificaciones no heredables; pero también cambios en el genotipo de la estirpe, aunque en ambos casos se manifiestan en sentido paralelo—los organismos menores aparecen en los medios a temperatura más alta—. Pero la disminución de tamaño bajo la acción directa de la elevación de la temperatura no es propiedad general de la materia viva, sino una manera de reaccionar adquirida independientemente por los diversos grupos, y utilizando, según los casos, diversas combinaciones de mecanismos biológicos. El curso de la adquisición de estas normas de reacción que tienen sentido de adaptación, así como su pérdida cuando aumenta la longevidad de las especies o éstas van a parar a ambientes menos variables, son fenómenos importantes para comprender numerosas peculiaridades de la distribución y variabilidad de los seres de agua dulce—y en parte de los marinos—, a la vez que permite explorar ciertos aspectos de la evolución en general.

Estas direcciones, relativamente nuevas, de la investigación, se integran en un fondo ya más tradicional, en el que se combinan con las investigaciones clásicas de sistemática, morfología, biogeografía, fisiología, etc., siempre bien atendidas por los tra-

bajadores científicos de los distintos países, para darnos en su conjunto la imagen actual que ofrece la ciencia de la vida en las aguas. Los Estados Unidos, los países escandinavos y de Europa central y la Gran Bretaña, están hoy día a la cabeza de estas investigaciones, cuantitativa y cualitativamente. Se trabaja también con intensidad en Italia, Rusia, Canadá, Australia, Japón, etcétera. Francia ha perdido gran parte de su prestigio, bien ganado en décadas anteriores. Nuestra patria ocupa un lugar lamentablemente muy secundario, más por la escasez de grupos activos y entusiastas que por la falta de medios. Muchas de las investigaciones recientes presuponen también una sólida tradición científica, y España sufre las consecuencias de una limitada producción anterior en este campo. Bastará un ejemplo: casi todos los países disponen hace tiempo de faunas y floras más o menos completas que abrevian extraordinariamente el tiempo necesario para la identificación de los organismos y facilitan toda suerte de investigaciones ecológicas y biogeográficas; nuestro país carece de este privilegio, y a pesar de ello, se elevan de vez en cuando voces contra la sistemática, sin pensar que esta rama de la biología sólo puede pasar a segundo término cuando ha sido superada.

BRASIL: Desarrollo industrial. — Según recientes datos oficiales, el valor de la producción industrial brasileña totalizó durante 1949 muy cerca de 123 000 millones de cruzeiros. Tal cifra demuestra el gran auge que la industria brasileña ha adquirido en los últimos tiempos, pues, sólo en un decenio, ha aumentado el valor de su producción en más de mil millones de cruzeiros, es decir, que, teniendo en cuenta la devaluación experimentada durante ese período

por la divisa brasileña, supone un incremento de más del 160 por 100.

La casi totalidad de la industria se halla emplazada en los Estados de São Paulo, Río de Janeiro y Minas Geraes, principalmente en el primero de ellos. Las industrias metalúrgica, carbonífera y petrolífera están siendo objeto de un amplio plan oficial de revisión a fin de conseguir un incremento considerable en sus rendimientos.