

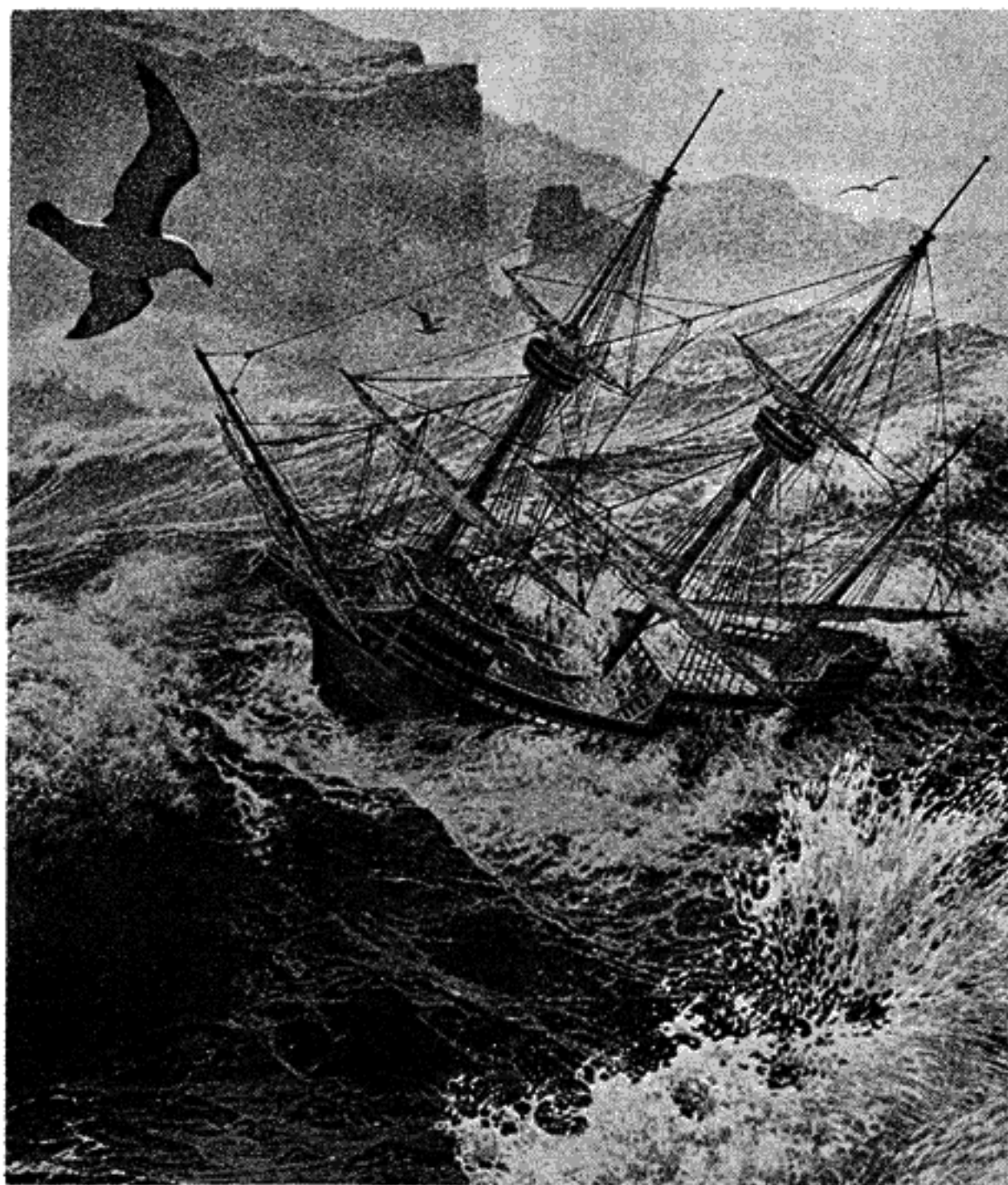
¿Oceanología física o física del océano?

Una verdad científica nueva no triunfa porque convenza a sus detractores y les haga ver la luz, sino porque éstos acaban por morir y sube una generación que está familiarizada con ella. (Max Plank)

PEDRO RIPA A.*

La historia del hombre está enlazada con la de sus creaciones: la ciencia entre ellas, es la tarea de entender la naturaleza con orientación predictiva. La ciencia ha sido deshumanizada, para adorarla como a un nuevo dios o para atacarla como a un nuevo demonio; hasta los mismos científicos dan muchas veces la impresión, *a priori* curiosa, de no entender bien de que se trata. Estoy distinguiendo a la ciencia de sus aplicaciones; consciente de que esta separación es en muchos casos difícil y, a veces, hasta incorrecta metodológicamente. Las aplicaciones de la ciencia están íntimamente ligadas a su evolución y abarcan desde el invento de la máquina de vapor o del desarrollo de la penicilina hasta, por supuesto, la fabricación de armamentos. El vínculo de la ciencia con la guerra, el "arte" de matar, es por cierto, el más importante desde el punto de vista de inversiones a escala global; esta realidad —de la que no se escapa la oceanología física— tiene una influencia muy grande en el desarrollo científico, más allá del juicio moral de los individuos.

Los primeros hombres, se especula, prestaron su atención inicial a las plantas y a los animales, de quienes se alimentaban y se defendían; luego observaron con asombro el firmamento¹. Es en este mismo orden que evolucionan las religio-



* Departamento de Oceanografía Física, CICESE

nes y los mitos; así también progresan los conocimientos sistematizados. Luego de los griegos y de más de mil años de oscurantismo en occidente, durante los cuales el desarrollo y la conservación del conocimiento estuvo en manos de los árabes, se terminan de sistematizar las observaciones del cielo en el siglo diecisiete, no sin pocos problemas políticos y religiosos, y finalmente nace la mecánica —por así decirlo—, con los "Principia Mathematica" de Isaac Newton, publicados hace tres siglos, en 1687. Es tal la belleza y la fuerza de esta nueva obra euclídeana que para muchos la física resultó ser el modelo para las otras ramas de la ciencia, en detrimento de las que —como la biología— pagaron con un desarrollo más lento o menos espectacular el pecado de dedicarse a estudiar objetos mucho más complicados que los que interesan a los físicos. Es común glorificar a físicos, químicos y matemáticos, aún en nuestros días, como puede observarse en un atlas de la cara oculta de la luna, para cuyos accidentes nadie de otro siglo tuvo el privilegio de elegir un nombre. Los que aparecen corresponden en su gran mayoría a científicos y en grado bastante menor, a los artistas y escritores; entre aquéllos prevalecen los nombres de estudiosos en "ciencias exactas". Son, además, casi exclusivamente masculinos, con la excepción clásica e infaltable de Mme. Curie. Este déficit femenino en las filas de los científicos predomina aún en nuestros tiempos y en nuestro país: de los cien primeros maestros en ciencia recibidos en Ensenada, por ejemplo, sólo nueve fueron mujeres. La proporción de egresadas de la licenciatura en especialidades comparables es, supongo, mayor que este nueve por ciento: si es difícil para las mujeres concluir la educación superior, cuanto más elevado el nivel, más difícil.

Junto al desarrollo de la ciencia se creó un nuevo mito: el científico concebido como un ser puro e idealista que busca incansablemente "las verdades" de la naturaleza; verdades que existen independientemente del hombre y que están esperando ser descubiertas, una a una. De este mito proviene en parte el poder que tiene la ciencia en la sociedad. ¿Qué hay de cierto en este estereotipo? En primer lugar, basta trabajar o estudiar con científicos para saber que normalmente tienen poco de puros e idealistas: su trabajo está muchas veces condicionado por la competencia, los

prejuicios, las modas, etc. La situación no era mucho mejor en los tiempos de Newton: los científicos escribían sus resultados, además de en latín, en criptogramas que sólo podían ser descifrados por alguien que hubiera llegado a la misma solución; esto les aseguraba la prioridad, sin darle a "la competencia" el beneficio de su descubrimiento. Parte de la popularidad de Galileo Galilei se debió a que escribía en italiano, lo cual lo hacía una persona peligrosa. Newton terminó además utilizando la fama obtenida en su trabajo académico para dedicarse a la política; en ese sentido las cosas no han cambiado mucho en tres siglos.

En segundo lugar, ¿cuán real es esa búsqueda metódica, objetiva e incansable de la verdad? Dos eminentes científicos del siglo pasado, Samuel Morton y Paul Broca, analizaron una cantidad enorme de cráneos para afirmar la superioridad del hombre blanco sobre la mujer blanca, los aborígenes americanos y los negros, en este orden. Tanto Morton como Broca eran buenos científicos, de acuerdo a los mismos criterios con los que juzgamos el valor de un científico actual; sus métodos eran los mejores de la época y su actitud honesta: no falsificaron datos y los publicaron todos². Sin embargo, resultaron víctimas de sus prejuicios ideológicos, de sus ideas preconcebidas, tal y como lo puede ser cualquier científico de cualquier época. Esto demuestra, de paso, lo nefasto y deshumanizante que puede ser el trabajo de algunos científicos, aunque no trabajen para la industria bélica. Hasta aquí con la "objetividad científica".

Thomas Kuhn³ sostiene —en mis palabras— que los científicos son mucho más conservadores que lo que su estereotipo indica: se dedicaron afanosamente a reafirmar y reconfirmar un cierto grupo de conceptos (lo que él llama un "paradigma"); sólo hasta que no se puede sostener más ese conjunto de creencias es que devienen revoluciones rápidas y definitivas (v.gr. el descubrimiento del oxígeno, la relatividad, etc.) cambiando entonces a otro paradigma, sin relación lógica con el anterior. Por su parte, Paul Feyerabend⁴ afirma que el progreso de la ciencia se ha dado sobre la base de la negación de todo método, de una actitud anárquica ante la generación de conocimiento.

Aunque los físicos no correspondan al estereotipo de buscadores incansables y metódicos de la verdad, la física de to-

Tomado de Great Inventors and Discoveries



Dentro de la actividad científica se mantiene todavía el predominio del hombre sobre la mujer. Este hecho se debe principalmente a la tradición aristotélica, en la cual se considera a la mujer como un ser esencialmente intuitivo y carente de lógica, por lo tanto, no apta para la ciencia. Marie Curie figura entre las principales representantes de este sexo en la historia.

dos modos se ha desarrollado en forma impresionante durante los últimos tres siglos. En este proceso ha habido una tendencia a la unificación de ramas diferentes sobre la base del reconocimiento de teorías comunes. Así, la electricidad y el magnetismo se fusionan en el electromagnetismo, para luego absorber a la óptica, uniéndose después a la mecánica en la relatividad especial de Albert Einstein, y finalmente a la gravitación en su relatividad general. En este siglo vemos una convergencia aún más interesante: la de la física y la biología, en campos como la biología molecular y problemas tan apasionantes como el de el origen de la vida⁵. Es interesante señalar que esta convergencia fue posible una vez que los físicos y biólogos se dedicaron a estudiar problemas más complejos y más elementales de los que cada uno están habituados.

¿Dónde está ubicada dentro de este



Tomado de Doce mil grandes Exploradores.

A pesar de los numerosos y largos viajes ya realizados por los europeos, en la imaginación del hombre del siglo XVI seguían viviendo terribles monstruos que llenaban de peligros los viajes marítimos

panorama la oceanografía física?: parece ser un invitado tardío y algo confuso; en muchos casos, casi ignorado no se le menciona en ninguna de las casi setecientas páginas del libro de John D. Bernal dedicado al estudio de la ciencia desde la prehistoria hasta el siglo pasado¹. De la quinientas páginas del siguiente libro⁶, el referido a la ciencia en el presente siglo, la oceanografía ocupa menos de una; el resto de esa página y la siguiente es todo el espacio dedicado a la meteorología, su hermana más cercana.

Creo que hay razones históricas para entender esta situación, y que sería importante analizar, sobre todo, cuando se discute la enseñanza de la oceanografía física en nuestro país.

OCEANOLOGIA FISICA: ORIGENES

Hay algunos antecedentes aislados de esta ciencia. Por ejemplo, los fenicios y griegos estudiaron las mareas y sus corrientes; fenómeno que era razonablemente bien predicho allá por la Edad Media. Leonardo da Vinci se ocupó en 1500 de medir la temperatura del agua del Mar Mediterráneo. El primer libro sobre la física del mar, el del conde Luigi Marsigil, apareció en 1711. Benjamín Franklin publicó en 1770 el primer mapa con la ubicación de la Corriente del Golfo, y luego, en 1855, el capitán Matthew F. Maury compiló las informaciones existentes sobre vientos y corrientes. A más de escasos, estos estudios apenas arañaban la superficie del océano, que es algo así como estudiar biología sin disecciones. El primer estudio intensivo y extensivo de to-

dos los océanos a excepción del Artico, lo constituyó la expedición del Challenger, que durante tres años y medio a partir de diciembre de 1872, estuvo dedicada a investigar "todo sobre el mar" (sic); les llevó veintitrés años a setenta y seis autores el volcar en cincuenta grandes volúmenes toda la información recabada.

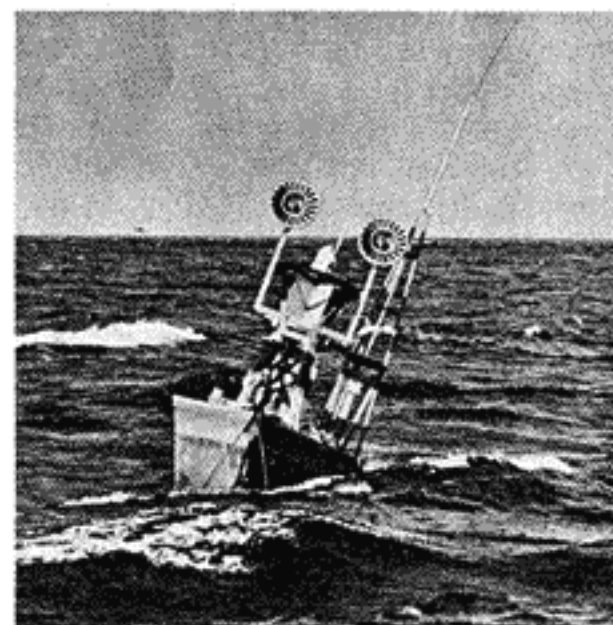
En esa época —y durante mucho tiempo— esta ciencia fue una oceanografía (una descripción), y no una oceanología. Sin embargo (y esto es una primera peculiaridad) gran parte de la base teórica, la mecánica de fluidos, había sido creada antes de las observaciones; esto la distingue, en cuanto a su desarrollo, de otras ramas de la física. La primera sistematización de la hidráulica correspondió a los libros de Johann Bernoulli, en 1737, y de su hijo Daniel, en 1738⁷. (El del hijo apareció un año más tarde porque el padre retuvo el manuscrito mientras escribía su libro). En 1752, Leonhard Euler afirmó que "toda la teoría del movimiento de fluidos ha sido reducida a la resolución de fórmulas analíticas" (sus ecuaciones equivalen a las de Navier-Stokes, usadas actualmente, sin los términos viscosos). El marqués Pierre Simon de Laplace escribió en 1775 las ecuaciones para el estudio de las mareas que aún se utilizan⁸. Todo este trabajo teórico, al que contribuyeron no pocos de los nombres inmortalizados en la cara oculta de la luna, llegó, en cierta forma, al límite de sus posibilidades. Esto puede ser visto por el hecho que el libro de hidrodinámica publicado por Horace Lamb en 1879 sigue aún en la actualidad siendo utilizado como libro de texto (en la versión de la sexta edición, la de 1932). Los métodos analíticos no pueden ir mucho más allá que la resolución de pro-

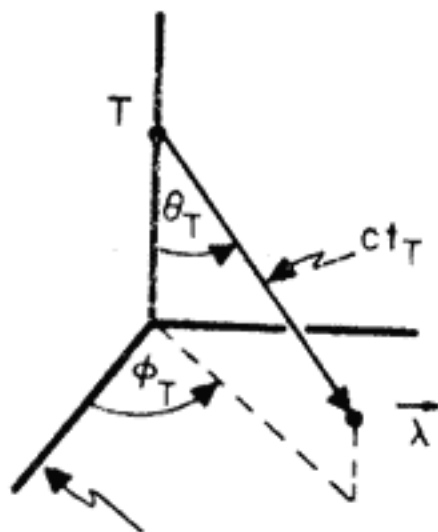
blemas lineales (o de perturbaciones infinitesimales) y con geometrías sencillas; esto está muy lejos de empezar a satisfacer las necesidades de la oceanología y la meteorología, quienes tuvieron que esperar al nacimiento de las computadoras.

Pero antes de discutir el avance que trajeron los métodos numéricos, veamos un poco el estado de las observaciones a principios de este siglo. Vagn Walfrid Ekman diseñó en 1905 un correntómetro de hélice, veleta y municiones que se empleó, con algunas modificaciones, durante varias décadas⁹. El desarrollo tecnológico en el área de oceanografía se dió en forma lenta hasta la segunda guerra mundial, la cual impulsó considerablemente a la acústica submarina. Hace apenas veinte años, cuando los meteorólogos ya lanzaban sistemáticamente radiosondas y empezaban a utilizar satélites, Henry M. Stommel se lamentaba de la "quijotesca" situación de los oceanólogos físicos que medían casi exclusivamente con termómetros reversibles y botellas Nansen¹⁰, instrumentos inventados a fines del siglo pasado¹¹. (La información de estos aparatos es, por cierto, muy importante ya que permite calcular la velocidad del agua utilizando la fórmula geostrofica desarrollada por Henrik Mohn en 1885.)

Para comparar esta capacidad de medición con la de otras ramas de la física, recordemos el experimento de Michelson-Morley de 1887. Esta fue la segunda vez que Albert A. Michelson comparó la velocidad de la luz en la dirección de translación de la tierra y la perpendicular a ésta, logrando una precisión de un cuarto de mil millonésimo. El resultado del experimento derribó la mecánica Galileo-Newtoniana y obligó a la aparición de la teoría de la relatividad de Albert Einstein, en 1905.

Tomado de: Fenómenos atmosféricos, Time Life





El efecto Doppler, que inmortalizó el nombre de su descubridor, es de gran utilidad para realizar las mediciones de temperatura y velocidad de las corrientes oceánicas.

DESARROLLO RECIENTE

Durante las dos décadas posteriores al llamado de Stommel para el desarrollo de una tecnología más moderna, ésta ha crecido en forma espectacular: Gracias a la electrónica, los nuevos correntómetros (desarrollados en la década de los setenta) calculan promedios de las velocidades hacia el este y hacia el norte, cada cierto intervalo de tiempo, y registran esa información en cinta magnética; esto permite dejarlos desatendidos durante meses en algún lugar del océano. En el fondo del mar se colocan instrumentos que registran los cambios de la presión y el espesor de la capa cálida superficial. Desde un buque oceanográfico es posible medir un perfil vertical de temperatura y de contenido de sales y oxígeno, hasta profundidades de varios kilómetros. Los antiguos batitermógrafos (que registraban el perfil de temperaturas vs. profundidad en una plaquita ahumada) han dado paso a los desechables, que se arrojan en forma rutinaria desde buques mercantes o desde aeronaves; las nuevas versiones, todavía en estado de experimentación, van también a medir el contenido de sal. Métodos acústicos se utilizan en el mar para ubicar flotadores neutros sumergidos, que derivan arrastrados por las corrientes profundas¹². El efecto Doppler (cambio de la rapidez del sonido debido al movimiento del agua) sirve para obtener perfiles verticales de corrientes o incluso para medir las temperatura y velocidades mediante arreglos horizontales de instrumentos que se espera puedan llegar a tener las dimensiones de las cuencas oceánicas. Esto último, junto con las diferentes mediciones efectuadas por los satélites, permitirán tener una imagen del estado del océano en forma casi con-

tinua; algo que ya es realidad, en alguna medida, para la atmósfera¹³.

¿Cuál fue por otra parte, el desarrollo de los modelos, de la capacidad de resolver las ecuaciones del mar? He mencionado que los métodos analíticos llegaron, en cierta forma, a su límite (la resolución de problemas lineales con geometrías sencillas) a finales del siglo pasado. En 1946, el matemático John Von Neumann expresó sus esperanzas en el uso de las computadoras para la resolución de problemas no lineales en dinámica de fluidos. El mismo fue el primero en desarrollar un modelo extremadamente simple de la atmósfera, en la computadora ENIAC de Princeton, con vistas a poder predecir numéricamente el tiempo; un día de evolución de ese modelo elemental necesitaba de más de una semana de cálculo; unas décadas después se invirtió esta relación. Treinta y cinco años después del llamado de von Neumann, en 1981, la rapidez de las computadoras había aumentado mil millones de veces y su precio había disminuido diez millones de veces⁷.

La capacidad de observación y de cálculo actual hubieran parecido una fantasía hace pocos años, antes del desarrollo de la electrónica, pero todavía no son suficientes para predecir y explicar satisfactoriamente fenómenos climatológicos como El Niño, Oscilación Austral. La dinámica climatológica es un problema esencialmente no-lineal, lo que en la práctica significa que es matemáticamente difícil de resolver; tiene que ser considerado dentro del sistema acoplado océano-atmósfera, y a una escala global. Por ejemplo, ciertos aumentos de la tem-

peratura del Golfo de California están precedidos por elevaciones del orden de decímetros de la superficie del mar en las Islas Galápagos; esta señal se transmite en forma de ondas largas, imperceptibles para el ojo humano pero fundamentales para el clima. Es absurdo pretender predecir el tiempo en México para el mes próximo, basándose sólo en datos del territorio nacional.

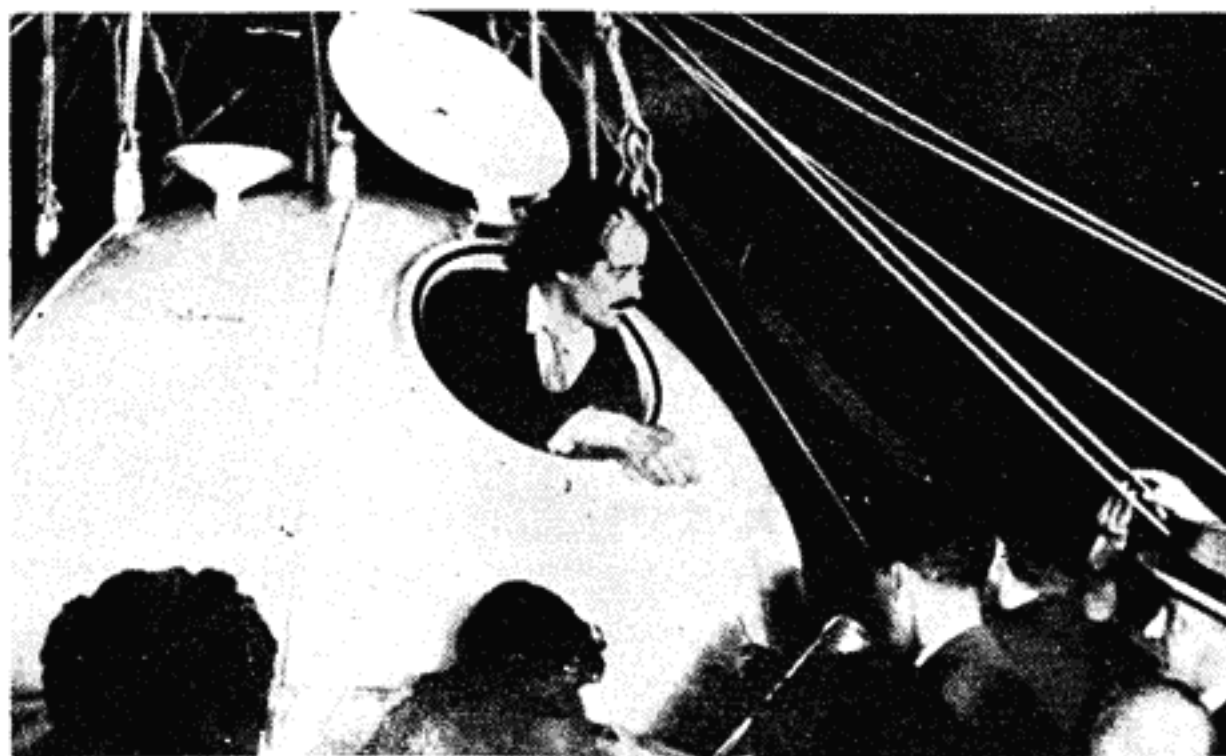
Un programa de estudio que ejemplifica la magnitud del problema del clima es el llamado Océano Tropical y Atmósfera Global (TOGA), de diez años de duración (a partir de enero de 1985) y que requiere de los esfuerzos de numerosas naciones, tanto para las observaciones como para el modelaje.

CONCLUSION

Creo haber argumentado sobre el carácter de empresa humana, moldeable, que posee la ciencia; esto significa, entre otras cosas, que está en nosotros determinar las características de la oceanología física en México.

La oceanología física ha tenido una evolución peculiar debido a que el océano es un sistema físico muy difícil de medir y modelar a causa de su tamaño, su inaccesibilidad y a su dinámica no lineal. Poco a poco va tomando su papel como rama de la física, como la física del mar, incorporando, por ejemplo, elementos de otras ramas de esa ciencia. Al decir que una ciencia es parte de otra, distingo de la convergencia de dos cien-

Inventor del Batiscafo, con el cual accedió a profundidades superiores a los cuatro mil metros, el suizo Auguste Piccard (1884-1962) es considerado uno de los más importantes precursores de la exploración submarina.



Tomado de Doce Mil Grandes Exploradores

cias en algún problema particular (como la que ya señalé, de la física y la biología), y también del uso que hace una de los resultados de otra (como en el caso de la física con la matemática, o las oceanologías biológica y geológica de la física, que no viceversa). Esta evolución de la oceanología física debería estar reflejada en cambios de las estructuras y métodos de enseñanza de esta disciplina. En el caso particular de la Universidad Autónoma de Baja California, soy de la opinión que la formación de los oceanólogos físicos debiera tener más en común con la de los otros físicos que con la de estudiantes de las otras tres así llamadas "ramas de la oceanografía". Esto supone un cambio de actitud no sólo en los oceanólogos sino también de los físicos. Por ejemplo, tradicionalmente —y en casi todo el mundo— mecánica de fluidos no es un curso habitual en la formación de un físico, es considerada "cosas de ingenieros"; ha llegado el momento de que los otros físicos también contemplen el mar.

Este ensayo es dedicado a la memoria de Adrian Gill, quien tuvo una contribución encomiable a la física del mar y de la atmósfera; cuando el cáncer cobró súbitamente su vida, en abril de 1986, estaba a la cabeza del programa TOGA. Agradezco a la generación 1986 de oceanólogos físicos de la UABC por invitarme a dar esta plática y a Sergio Jiménez por el procesamiento paciente de este texto.

1. Bernal, John D. *La ciencia en la historia*. Editorial Nueva Imagen, México, 693 pp., 1979.
2. Gould, Stephen. *The mismeasure of man*. W.W. Norton & Co., 354 pp., 1981.
3. Kuhn, Thomas S. *The structure of scientific revolutions*. Univ. of Chicago Press, 210 pp., 1970.
4. Feyerabend, Paul. *Tratado contra el método*. Tecnos, Madrid, 319 pp., 1981. Ver también *Science*, vol 206, 2 Noviembre 1979.
5. Prigogine, Ilya & Isabelle Stengers. *Order out of chaos, man's new dialog with nature*. Bantam Books, 349 pp., 1984.
6. Bernal, John D. *La ciencia en nuestro tiempo*. Editorial Nueva Imagen, México, 534 pp., 1979.
7. Birkhoff, Garrett. *Numerical Fluid Dynamics*. *SIAM Review* 25: 1-34, 1983.
8. Laplace incluyó las componentes horizontales de la hoy llamada aceleración de Coriolis; sesenta años antes del trabajo de Gaspard Gustave de Coriolis.
9. Este aparato consta de una hélice orientada por una veleta y conectada a un contador de revoluciones (para calcular la rapidez promedio durante el intervalo en que el instrumento está sumergido) y una brújula que orienta una caja circular con treinta y seis compartimientos en la forma de sectores de diez grados. Cada cierto número de revoluciones cae una munición en el compartimiento correspondiente a la orientación instantánea; la dirección preponderante se estima como un promedio pesado, en base al número de municiones en cada cajita.
10. Stommel, H.M. The large-scale oceanic circulation, in *Advances in Earth Science*. P. Hurley, ed., MIT Press, pp. 175-184, 1966.
11. El científico y explorador noruego Fridtjof Nansen, además de idear el colector de muestras de agua de mar que lleva su nombre, casi logra llegar al polo norte en 1896; en 1923 recibió el premio Nobel de la paz por su contribución a la ayuda y repatriación de los refugiados de la primera guerra mundial.
12. Estas medidas cambiaron totalmente la idea que se tenía sobre el movimiento del océano, en la década de los setenta.
13. Lamentablemente, la mejor tecnología está en manos de los militares de las grandes potencias; ésta va a proveer una información inaccesible para los científicos civiles de esos mismos países o del tercer mundo, quienes se deberán conformar con datos de satélites degradados ex profeso. ⊕

**La Sociedad Matemática Mexicana invita a su
XXI CONGRESO NACIONAL DE MATEMATICAS**

DEL 20 AL 26 DE NOVIEMBRE EN HERMOSILLO, SONORA

- Conferencias
- Talleres
- Reportes de investigación
- Mesas Redondas
- Exposición de libros

INFORMES:
 Oficinas de la Sociedad Matemática Mexicana
 Departamento de Matemáticas
 Facultad de Ciencias, UNAM
 Tel. 550 5215 ext. 3913
 Instituto de Matemáticas
 Tel. 548 2007
 con la Srita. Teresa Guevara
 Apdo. Postal. 70-450 México, D.F.
 C.P. 04510 México, D.F.