



Universidad Nacional de Tierra del Fuego
Curso de Iniciación Universitaria 2018

Leer y Escribir en la Universidad

Corpus de lectura para ingresantes del
Instituto de Ciencias Polares, Ambiente y Recursos Naturales

ICPA





ELMUNDO España Opinión Economía Internacional Deportes Papel Más Q Suscribirse Iniciar sesión

< Ciencia y Salud | Ciencia

EUROLIGA En directo: Anadolu Efes vs Baskonia. II < >

CAMBIO CLIMÁTICO • Primer proyecto en restablecer con éxito una población de corales jóvenes

Un tratamiento de fertilidad para salvar la Gran Barrera de Coral australiana

ISMAEL ARANA | Hong Kong 1 DIC. 2017 | 15:51

f t cc

<http://www.elmundo.es/ciencia-y-salud/ciencia/2017/12/01/5a1efb5b22601db7078b46a7.html>



Vista aérea de la Gran Barrera de Coral SARAH LAIAFP

La Gran Barrera de Coral alcanza en 2016 su récord de blanqueamiento

Alerta por el blanqueo de la Gran Barrera de Coral de Australia

Buenas noticias para la maltrecha Gran Barrera de Coral de Australia, la estructura viva más grande del planeta. Allí, un equipo de científicos del país ha logrado criar artificialmente pequeños corales a partir de larvas y transplantarlos con éxito a otras áreas de la zona, un gran avance con el que esperan restaurar éste y otros ecosistemas dañados de todo el mundo.

El ensayo tuvo lugar en la isla de Heron, frente a la costa este de Australia, donde los investigadores de la Universidad Southern Cross recolectaron a finales del año pasado grandes cantidades de huevos de coral a partir de las cuales **criaron hasta un millón de larvas en un entorno controlado** del islote. Posteriormente, las transplantaron a otras zonas dañadas del arrecife donde la regeneración natural es muy complicada, tanto por la falta de ejemplares como por la influencia de fenómenos naturales como las corrientes marinas o los vientos. Al regresar allí ocho meses más tarde, pudieron comprobar que los nuevos corales crecen sanos en su nuevo hogar.

"Este es el **primer proyecto** en la Gran Barrera de Coral en **restablecer con éxito una población de corales jóvenes** a partir de larvas que se establecen directamente en el arrecife", aseguró el líder de la investigación, Peter Harrison, en un comunicado publicado en la web del centro universitario. "El estudio piloto muestra que las nuevas técnicas para ayudar a los corales a concebir y luego establecerse, desarrollarse y crecer en su entorno natural pueden funcionar", añadió. "Es una nueva forma de ver el problema y, probablemente, sea la única esperanza para el futuro en términos de restauración a gran escala utilizando cientos de millones de larvas", apuntó.

Este famoso arrecife, de 2.300 kilómetros de longitud y que fue declarado Patrimonio de la Humanidad por la Unesco en 1981, ha sufrido extensos y graves daños en los últimos años por el proceso conocido como **blanqueamiento**, en el que el aumento de la temperatura del agua -consecuencia del cambio climático- estresa al organismo y lo hace morir.

El responsable científico de la Autoridad del Parque Marino de la Gran Barrera de Coral, la agencia gubernamental australiana que gestiona la zona, aseguró que se necesitan esfuerzos de este tipo para contrarrestar el **impacto negativo del calentamiento global**. "El éxito de estos ensayos es alentador. El próximo reto es transformar esto en una tecnología a mayor escala que marque la diferencia en el arrecife en su conjunto", aseguró David Wachenfeld.



El investigador Peter Harrison recolectando huevos de coral en la isla de Heron GARY CRANITCH

Aun así, este responsable señaló la importancia de seguir trabajando en otras acciones que sirvan para reducir los principales causantes del declive de los arrecifes, como son el cambio climático, la calidad de las aguas o el manejo de las plagas.

Los resultados de ahora repiten en éxito que se logró anteriormente en Filipinas, donde se empleó una técnica similar en áreas de arrecifes altamente degradadas a causa de la pesca con dinamita, por lo que se espera que sirva para ayudar a la **recuperación de otros lugares dañados** en diferentes partes del mundo. "El éxito de la investigación tiene una importancia global potencial", afirmó al respecto Harrison. "(Los resultados) muestran que podemos empezar a restaurar y reparar poblaciones de coral dañadas en zonas donde la producción natural de larvas está en peligro", agregó.

El enfoque adoptado por el equipo de Harrison contrasta con **otros métodos de restauración** de arrecifes empleados hasta la fecha, como la llamada jardinería coral -que consiste en separar los ejemplares sanos y plantar sus ramas en los arrecifes con la esperanza de que vuelvan a crecer- o el cultivo de corales en viveros antes de ser trasplantados...

Mientras tanto, su procedimiento ha vuelto a ser empleado este mismo mes por su equipo, y Harrison asegura que ya han observado el asentamiento exitoso de las nuevas larvas de coral. "Monitorizaremos el crecimiento de ambas colonias y trabajaremos para **perfeccionar aún más la técnica** para una ampliación potencial de su uso en el futuro", afirmó. Por ahora, ya cuenta para ello con el respaldo de las autoridades, que se han comprometido a invertir en su proyecto, aunque las cifras ofrecidas quedan lejos de los de uno a dos millones de dólares anuales que Harrison cree que son necesarios durante los próximos 5-10 años para expandir su trabajo "a una escala significativa".

¿Qué es la Semana Nacional de la Ciencia y la Tecnología?

Semana es una acción de divulgación que abre las puertas del mundo de la ciencia y la tecnología a lo largo y ancho de todo el país. Museos, centros de investigación, bibliotecas, academias de ciencia, jardines botánicos, universidades, clubes de ciencia, escuelas, cines y teatros muestran sus descubrimientos y cómo trabajan sus investigadores, e invitan a participar de actividades gratuitas para todas las edades.

Los científicos hacen propuestas de todo tipo: talleres, charlas, visitas guiadas, experimentos, exposiciones fotográficas, cine científico y mucho más. Semana es un pase libre a cada rincón de la ciencia y la tecnología mediante actividades diseñadas por los investigadores de todo el país.

¡Conocé un mundo lleno de preguntas por descubrir!



XV Edición
4 y 5 de septiembre

Facultad de Farmacia y Bioquímica
Universidad de Buenos Aires



**La Facultad abre las puertas
para mostrar sus actividades
de investigación**

Facultad de Farmacia y Bioquímica - Universidad de Buenos Aires
Junín 956 - C1113AAD - Ciudad Autónoma de Buenos Aires
www.ffyba.uba.ar

Lunes 4 de septiembre

Martes 5 de septiembre

Horario	Actividad	Responsable	Horario	Actividad	Responsable
9.00	¿Conoces de qué está formado tu cuerpo? Descubrí tus componentes corporales. ¿Cómo contribuye la fortificación con hierro de las harinas en la prevención de las anemias?	Cátedra Nutrición	9.00	¿Ayudan los alimentos a defendernos de las enfermedades?	Cátedra Nutrición
10.00	Enfermedades infecciosas: ¿Qué o quién las causa? ¿Cómo responde nuestro cuerpo? ¿Cómo usamos la tecnología para su diagnóstico y prevención? ¿Qué nos dice la luz sobre las proteínas? La química más cerca de lo que pensamos	Depto de Microbiología, Inmunología, Biotecnología y Genética Cátedra Físicoquímica Cátedra Química General e Inorgánica	9.30	Plantas medicinales: ¿por qué las plantas curan? El olor de las plantas ¿Tomá mate y avivate!	Cátedra Farmacognosia Cátedra Farmacognosia Cátedra Farmacognosia
11.00	Un viaje al interior de la célula Sumergiéndose en el cuerpo humano: desde los síntomas hasta las moléculas. Una realidad 3D.	Cátedra Biología Cel. y Molec. Depto de Ciencias Biológicas	10.00	La producción de luz y el color en reacciones químicas ¿Sabes que es el grupo sanguíneo?	Cátedra Físicoquímica Cátedra Microbiología Clínica
12.00	El arcoiris detrás de las hojas: extracción y separación de pigmentos vegetales.	Cátedra Química Biológica Vegetal	10.30	Una célula de película	Cátedra Biología Celular y Molecular
13.00	Cargas a la obra: el fenómeno eléctrico al servicio la separación de biomoléculas Movimiento de los espermatozoides: empleo de la física y la matemática para resolver problemas biológicos.	Cátedra Física Cátedra Bioquímica Clínica	11.00	Separación de sustancias biológicas	Cátedra de Química Biológica
13.30	La fascinante historia de una separación sin retorno.	Cátedra Bromatología	11.30	Fábricas verdes: los cultivos vegetales como sistemas de producción de proteínas y compuestos de aplicación terapéutica, cosmética y alimentaria	Cátedra Biotecnología
14.00	Laboratorio de análisis: identificando materias primas Geles: sistemas de tres dimensiones que nos protegen De esencias, aromas y medicinas Proteínas luminosas, haciendo visible lo invisible	Cátedra Tec. Farmacéutica I Cátedra Tec. Farmacéutica I Cátedra Química Orgánica Cátedra Química Biológica	12.00	El reggaetón de la reparación del DNA	Cátedra Biología Celular y Molecular
15.00	Educando para un corazón sano Comprendamos los procesos químicos de los vídeos que vemos en las redes sociales.	Cátedra Bioquímica Clínica Cátedra Química Orgánica	14.00	Salvando vidas haciendo RCP”	Cátedra Anatomía Humana e Histología Cátedra Físicoquímica Biológica Cátedra Química Orgánica II
16.30	Chagas, desde la Universidad a la Escuela: conciencia y sensibilización.	Cátedra Química Orgánica II.	15.00	Escribiendo con electrones Esas locas máquinas moleculares llamadas enzimas La luz que nos rodea: ¿Por qué vemos lo que vemos?	Cátedra Química Analítica Instrumental Cátedra Química Biológica Superior Cátedra Física
			16.00	¿Tecnatura en medicina nuclear? La disciplina en la que los fenómenos nucleares encuentran su aplicación El cerebro de las emociones: poesía y música para experimentar	Cátedra Física Cátedra Farmacología
			16.30	Yo quiero ser científico@	Museo de Farmacobotánica

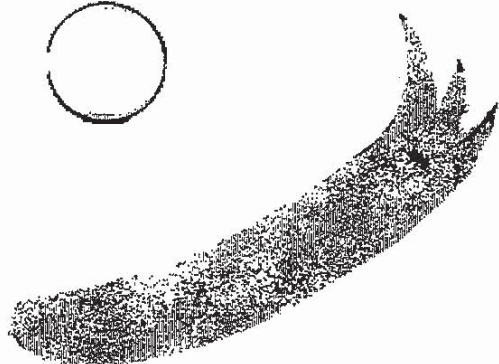
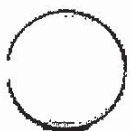
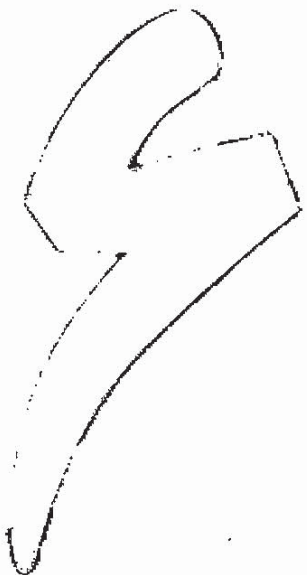
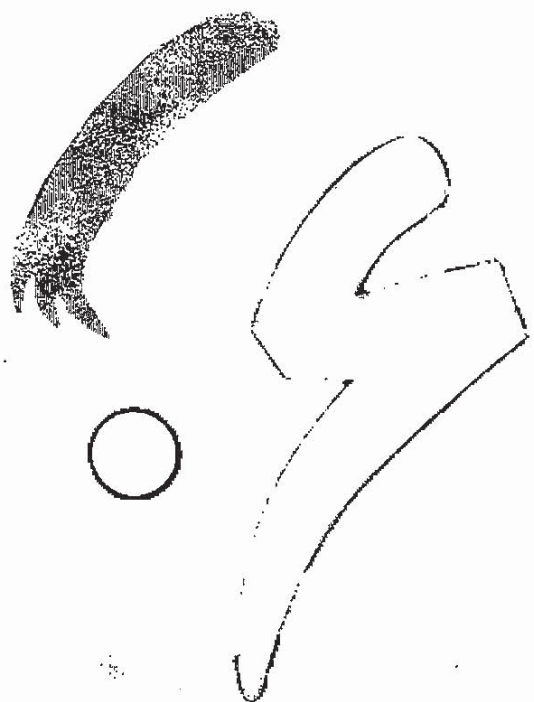
Así es la biología

Ernst Mayr

SEP

Biblioteca
del Normalista

DEBATE



SEP

DEBATE

Así es la biología

Ernst Mayr

N
Biblioteca
del Normalista

Esta edición de *Así es la biología* en la Biblioteca del Normalista estuvo a cargo de la Dirección General de Materiales y Métodos Educativos de la Subsecretaría de Educación Básica y Normal

Primera edición en la Biblioteca del Normalista de la SEP, 2000

Título de la edición original:

This is Biology

Traducción: Juan Manuel Ibeas

© 1995 Ernst Mayr

© 1998 Editorial Debate, S.A.

© De la traducción: Juan Manuel Ibeas

© 2000 Primera edición SEP / Debate

Coordinación editorial

Lazlo Moussong

D.R.© Secretaría de Educación Pública

Argentina 28, Centro

06020, México, D.F.

ISBN 970-18-5114-5

Impreso en México

DISTRIBUCIÓN GRATUITA-PROHIBIDA SU VENTA

Prohibida su reproducción por cualquier medio mecánico o electrónico sin la autorización previa de los coeditores

Presentación

Como parte del proceso de transformación y fortalecimiento académico de las instituciones formadoras de maestros, la Secretaría de Educación Pública edita la Biblioteca del Normalista, cuyo propósito es apoyar a directivos, maestros y alumnos de escuelas normales de todo el país.

Los títulos que la forman han sido cuidadosamente seleccionados, con el objetivo fundamental de apoyar la reforma curricular de la educación normal. Algunos de ellos se relacionan directamente con la docencia y aportan herramientas para el desenvolvimiento profesional de los maestros; otros se orientan a la comprensión del desarrollo del niño y del adolescente; otros más buscan ofrecer una visión actualizada sobre la escuela y su papel social. Todos ellos son producto de la investigación educativa en diversos campos.

Los libros de esta Biblioteca se distribuyen gratuitamente a los maestros y directivos de educación normal que los soliciten. Asimismo, estarán a disposición de los estudiantes en el acervo de la biblioteca de cada escuela normal.

La Biblioteca del Normalista se suma a otros materiales y actividades de actualización y apoyo didáctico puestos a disposición de maestros y alumnos de las escuelas normales, de profesores de la Universidad Pedagógica Nacional y de equipos técnicos estatales. La Secretaría de Educación Pública confía en que esta tarea resulte útil y espera las sugerencias de los maestros para mejorarla.

Sumario

Prefacio	9
1 ¿Cuál es el sentido de «la vida»?	15
2 ¿Qué es la ciencia?	39
3 ¿Cómo explica la ciencia el mundo natural?	61
4 ¿Cómo explica la biología el mundo vivo?	83
5 ¿Avanza la ciencia?	99
6 ¿Cómo están estructuradas las ciencias de la vida?	125
7 El «qué». El estudio de la biodiversidad	143
8 El «cómo». La formación de un nuevo individuo	169
9 El «porqué». La evolución de los organismos	193
10 ¿Qué preguntas se plantea la ecología?	225
11 ¿Dónde encajan los humanos en la evolución?	247
12 ¿Puede la evolución explicar la ética?	269
Bibliografía	291
Glosario	305
Guía de temas tratados	315
Agradecimientos	319
Índice	321

Prefacio

Hace unos años, el entonces presidente de Francia, Valéry Giscard d'Estaing, declaró que el siglo XX había sido «el siglo de la biología». Puede que esto no sea del todo exacto para la totalidad del siglo, pero desde luego es cierto en lo referente a su segunda mitad. En la actualidad, la biología es un campo de investigación en plena expansión. Hemos sido testigos de descubrimientos trascendentales sin precedentes en genética, biología celular y neurología, y de espectaculares avances en biología evolutiva, antropología física y ecología. Las investigaciones sobre biología molecular han generado toda una industria, cuyos resultados se advierten ya en campos tan diversos como la medicina, la agricultura, la cría de animales y la nutrición humana, por citar sólo unos pocos.

No siempre ha sido tan boyante la posición de la biología. Desde la revolución científica del siglo XVII hasta bastante después de la segunda guerra mundial, para la mayoría de la gente sólo eran ciencias las ciencias «exactas» —física, química, mecánica, astronomía—, todas las cuales tenían una sólida base matemática e insistían en la importancia de ciertas leyes universales. Durante este tiempo, la física estuvo considerada como la ciencia modelo. En comparación, el estudio de los seres vivos se consideraba una ocupación inferior. Todavía son mayoría las personas que malinterpretan gravemente las ciencias de la vida. Por ejemplo, en los medios de comunicación se aprecia con frecuencia un gran desconocimiento de la biología, ya se esté tratando de la evolución, de la medición de la inteligencia, de la posibilidad de detectar vida extraterrestre, de la extinción de especies o de los peligros del tabaco.

Pero lo más lamentable es que entre los propios biólogos hay muchos que tienen un concepto obsoleto de las ciencias de la vida. Los biólogos modernos tienden a ser especialistas en grado sumo. Pueden saberlo todo sobre una especie concreta de ave, sobre las hormonas sexuales, sobre el comportamiento parental, sobre la neuroanatomía o sobre la estructura molecular de los genes, pero no suelen estar informados de los avances realizados fuera de su campo de estudio. Los biólogos casi nunca tienen tiempo para dejar de concentrarse en los avances de su especialidad y contemplar las ciencias de la vida en conjunto. Los genetistas, los embriólogos, los taxonomistas y los ecólogos se consideran a sí mismos biólogos, pero hay muy pocos que sean capaces de

apreciar lo que sus diversas especialidades tienen en común y lo que las diferencia fundamentalmente de las ciencias físicas. Uno de los principales objetivos de este libro es arrojar algo de luz sobre estos temas.

He sido naturalista casi desde que aprendí a andar, y mi amor por las plantas y los animales me llevó a contemplar el mundo vivo de un modo holístico. Afortunadamente, las clases de biología en el instituto alemán al que asistí allá por 1920 se centraban en el organismo completo y sus interacciones con el entorno animado e inanimado. Ahora diríamos que allí se enseñaba historia de la vida, comportamiento y ecología. La física y la química, que también se estudiaban en el instituto, eran cosas completamente diferentes, y tenían muy poco que ver con las plantas y los animales vivos.

Durante los años en los que estudié medicina, estaba demasiado ocupado y demasiado entusiasmado con la medicina como para prestar atención a cuestiones básicas como «¿qué es la biología?» y «¿por qué la biología es una ciencia?». De hecho, en aquella época no existía ninguna asignatura —al menos, en las universidades alemanas— que se llamara «biología». Lo que ahora llamaríamos biología se enseñaba en los departamentos de zoología y botánica, en los que se daba mucha importancia al estudio de los tipos estructurales y su filogenia. A decir verdad, también había cursos de fisiología, genética y otras disciplinas más o menos experimentales, pero existía muy poca integración de unas con otras, y la base conceptual de los experimentalistas era en gran medida incompatible con la de los zoólogos y botánicos, cuyo trabajo se basaba en la historia natural.

Cuando me pasé de la medicina a la zoología (con especial interés por las aves) después de superar los exámenes preclínicos, seguí unos cursos de filosofía en la Universidad de Berlín. Pero me llevé una decepción al comprobar que no se tendían puentes entre la materia de estudio de las ciencias biológicas y la de la filosofía. No obstante, en los años veinte y treinta se iba desarrollando una disciplina que con el tiempo se denominaría «filosofía de la ciencia». En los años cincuenta, cuando me puse al corriente de sus enseñanzas, me llevé una nueva y amarga desilusión. Aquello no era filosofía de la ciencia; era filosofía de la lógica, de las matemáticas y de las ciencias físicas. No tenía casi nada que ver con los temas que interesan a los biólogos. Más o menos por entonces, elaboré una lista de las principales generalizaciones de la biología evolutiva explicadas en libros y artículos científicos —a estas alturas, varias de ellas eran aportación mía— y comprobé que ni una sola de ellas se abordaba adecuadamente en la literatura filosófica; la mayoría ni siquiera se mencionaba.

Aun así, yo todavía no había pensado en hacer una contribución a la

historia y filosofía de la ciencia. Mis diversos ensayos sobre estos temas eran consecuencia de invitaciones a conferencias y simposios, que me obligaban a dejar temporalmente de lado mis estudios sobre teoría evolutiva y sistemática. Mi única intención era poner de manifiesto lo diferente que es la biología de la física en ciertos aspectos. Por ejemplo, en 1960, Daniel Lerner, del Instituto de Tecnología de Massachusetts, me invitó a participar en una serie de conferencias sobre la causa y el efecto. El problema de la causalidad biológica me había interesado desde que publiqué en 1926 un artículo sobre el verdicillo (*Serinus serinus*) y en 1930 otro sobre el origen de la migración de las aves. Así pues, acogí con agrado esta oportunidad de repasar mis ideas sobre el tema. Desde hacía mucho tiempo, me constaba que existía una diferencia categórica entre el mundo vivo y el inanimado. Ambos mundos obedecen las leyes universales descubiertas y analizadas por las ciencias físicas, pero los organismos vivos están sometidos, además, a un segundo conjunto de causas: las instrucciones del programa genético. Este segundo tipo de causación no existe en el mundo inanimado. Desde luego, no había sido yo el primer biólogo que descubría la dualidad de causación en los organismos, pero mi publicación de 1961, basada en aquella serie de conferencias, fue la primera que aportó un análisis detallado de la cuestión.

La verdad es que mis diversos ensayos acerca de las diferencias entre las ciencias de la vida y las ciencias físicas no iban especialmente dirigidas a los filósofos y los físicos, sino más bien a mis colegas los biólogos, que, sin darse cuenta, habían adoptado en sus publicaciones muchos conceptos fisicistas. Por ejemplo, a mí me parecía absurdo que se afirmara que todos los atributos de los sistemas vivos complejos podían explicarse mediante el estudio de los componentes inferiores (moléculas, genes o cosas por el estilo). Los organismos vivos forman una jerarquía de sistemas cada vez más complejos: moléculas, células y tejidos, organismos completos, poblaciones y especies. En cada nivel surgen características que no se habrían podido predecir estudiando los componentes del nivel inferior.

En un principio yo creía que este fenómeno de la emergencia, como ahora se le llama, era exclusivo del mundo vivo; y reconozco que en una conferencia que pronuncié en Copenhague, a principios de los cincuenta, afirmé que la emergencia era uno de los rasgos distintivos del mundo orgánico. En aquella época, todo el concepto de la emergencia se consideraba un tanto metafísico. Cuando el físico Niels Bohr, que se encontraba entre el público, pidió la palabra durante el coloquio, me preparé para encajar una refutación aniquiladora. Sin embargo, y para mi sorpresa, Bohr no puso ninguna objeción al concepto de emergencia, sino sólo a mi idea de que establecía una divisoria entre las ciencias físicas y las bio-

lógicas. Citando el caso del agua, cuya «acuosidad» no se puede predecir a partir de las características de sus dos componentes, el hidrógeno y el oxígeno, Bohr afirmó que la emergencia campa por sus respetos en el mundo inanimado.

Además del reduccionismo, otra bestia negra que me disgustaba de manera especial era el pensamiento tipológico, bautizado más adelante como «esencialismo» por el filósofo Karl Popper. Consistía en clasificar la diversidad de la naturaleza en tipos fijos (clases), invariables y perfectamente diferenciados de los demás tipos. Este concepto, que se remonta a Platón y a la geometría pitagórica, resultaba particularmente inadecuado para la biología evolutiva y de poblaciones, donde uno no encuentra clases, sino agrupaciones de individuos únicos; es decir, poblaciones. A los que están acostumbrados al pensamiento fisicista parece que les resulta difícil explicar fenómenos variables del mundo vivo en términos de poblaciones (el llamado pensamiento poblacionista). Discutí este problema largo y tendido con el físico Wolfgang Pauli, que estaba muy interesado en entender cómo pensábamos los biólogos. Casi llegó a entenderlo cuando le sugerí que pensara en un gas formado por sólo 100 moléculas, cada una moviéndose en distinta dirección y a diferente velocidad. Él lo llamó «gas individual».

La biología también ha sido mal interpretada por muchos de los que intentan elaborar una historia de la ciencia. En 1962, cuando se publicó *Estructura de las revoluciones científicas*, de Thomas Kuhn, yo no me explicaba a qué venía tanto alboroto. Era innegable que Kuhn había refutado algunas de las tesis más disparatadas de la filosofía de la ciencia tradicional, y que había recalcado la importancia de los factores históricos. Pero lo que ofrecía a cambio me parecía igual de disparatado. En la historia de la biología, ¿dónde estaban las revoluciones cataclísmicas y dónde los largos períodos de «ciencia normal» postulados por la teoría de Kuhn? Según mis conocimientos de la historia de la biología, no existían tales cosas. Nadie pone en duda que *El origen de las especies* de Darwin, publicado en 1859, fuera revolucionario, pero las ideas sobre la evolución llevaban un siglo rondando. Y además, la teoría darvinista de la selección natural —el mecanismo clave de la adaptación evolutiva— no se aceptó plenamente hasta casi un siglo después de su publicación. Durante todo este tiempo hubo revoluciones menores, pero jamás un período de ciencia «normal». No sé si la tesis de Kuhn será válida para las ciencias físicas, pero no se puede aplicar a la biología. Los historiadores con formación física no parecían darse cuenta de lo que había sucedido en el estudio de los organismos vivos en los tres últimos siglos.

Para mí estaba cada vez más claro que la biología era una ciencia muy diferente de las ciencias físicas; difería drásticamente en su materia

de estudio, en su historia, en sus métodos y en su filosofía. Si bien todos los procesos biológicos son compatibles con las leyes de la física y la química, los organismos vivos no se pueden reducir a estas leyes fisico-químicas, y las leyes físicas no pueden explicar muchos aspectos de la naturaleza que son exclusivos del mundo vivo. Las ciencias físicas clásicas, en las que se basaba la filosofía de la ciencia clásica, estaban dominadas por un conjunto de ideas inadecuadas para el estudio de los organismos: entre ellas figuraban el esencialismo, el determinismo, el universalismo y el reduccionismo. La biología bien entendida incluye el pensamiento poblacionista, la probabilidad, la oportunidad, el pluralismo, la emergencia y la narración histórica. Se necesitaba una nueva filosofía de la ciencia que pudiera incorporar el modo de pensar de todas las ciencias, tanto la física como la biología.

Lo cierto es que cuando me planteé escribir este libro, tenía en la cabeza un proyecto más modesto. Quería escribir una «biografía» de la biología que diera a conocer al lector la importancia y la riqueza de la biología en su totalidad, y que al mismo tiempo ayudara a los biólogos a título individual a afrontar un problema cada vez más abrumador: la explosión informativa. Cada año aumenta el número de profesionales que contribuyen a engrosar la avalancha de publicaciones. Prácticamente todos los biólogos con los que he hablado se quejan de que ya no tienen tiempo para ponerse al día en cuanto a las publicaciones de su especialidad, y ya no hablemos de fuera de los estrechos dominios de la propia especialidad es, a menudo, decisiva para los avances conceptuales. Con mucha frecuencia, a uno se le ocurren nuevas direcciones de investigación cuando se aleja un poco de su propio campo y lo ve como una parte de una explicación más amplia del mundo vivo, en toda su maravillosa diversidad. Ojalá este libro proporcione una plataforma conceptual desde la que los biólogos puedan obtener una perspectiva más amplia de su programa de investigación particular.

Donde más aparente resulta la explosión informativa es en la biología molecular. En este volumen falta una discusión detallada de este campo, no porque yo considere que la biología molecular es menos importante que otros campos de la biología, sino precisamente por la razón contraria. Cuando tratamos de fisiología, desarrollo, genética, neurobiología o comportamiento, los procesos moleculares son los responsables primarios de todo lo que sucede, y cada día se realizan nuevos descubrimientos en estos campos. En los capítulos 8 y 9 he resaltado algunas de las principales generalizaciones («leyes») descubiertas por los biólogos moleculares. Aun así, me da la impresión de que hemos identificado muchos árboles pero aún no hemos visto el bosque. Puede que algunos no

estén de acuerdo; en cualquier caso, un repaso completo de la biología molecular exige una competencia que yo no poseo.

Lo mismo se puede decir de otro campo sumamente importante: la biología de los procesos mentales. Todavía nos encontramos en una fase de exploración local y, simplemente, carezco de los conocimientos necesarios de neurobiología y psicología para intentar un análisis general. Un último campo que este volumen no aborda con detalle es la genética. El programa genético desempeña un papel decisivo en todos los aspectos de la vida de un organismo: estructura, desarrollo, funciones y actividades. Desde el auge de la biología molecular, los estudios genéticos se han centrado preferentemente en la genética del desarrollo, que se ha convertido prácticamente en una rama de la biología molecular, y por esta razón no he intentado cubrir este campo. No obstante, tengo la esperanza de que mi tratamiento de la biología como un todo pueda contribuir a una futura «biografía» de ésta y otras ramas fundamentales de la biología que no se abordan directamente en este libro.

Si los biólogos, físicos, filósofos, historiadores y otros profesionales interesados en las ciencias de la vida encuentran observaciones útiles en los capítulos que siguen, este libro habrá cumplido uno de sus objetivos principales. Pero toda persona culta debería estar familiarizada con los conceptos biológicos básicos: evolución, biodiversidad, competencia, extinción, adaptación, selección natural, reproducción, desarrollo y otros muchos que se comentan en este libro. La superpoblación, la destrucción del ambiente y la mala calidad de vida en las ciudades no se pueden resolver con adelantos técnicos, ni por medio de la literatura o la historia, sino sólo con medidas basadas en el conocimiento de las raíces biológicas de estos problemas. «Conocernos a nosotros mismos», como recomendaban los antiguos griegos, implica en primer lugar y por encima de todo conocer nuestros orígenes biológicos. El objetivo principal de este libro es ayudar a los lectores a adquirir un mejor conocimiento de nuestra posición en el mundo vivo y de nuestra responsabilidad hacia el resto de la naturaleza.

Cambridge, Massachusetts,
septiembre de 1996

Capítulo 2

¿Qué es la ciencia?

La biología abarca todas las disciplinas dedicadas al estudio de los organismos vivos. Dichas disciplinas se denominan en ocasiones «ciencias de la vida», un término muy útil que distingue la biología de las ciencias físicas, centradas en el mundo inanimado. Otros cuerpos de conocimiento sistematizados son las ciencias sociales, la ciencia política y la ciencia militar; y además de estas especialidades académicas, nos encontramos con frecuencia con la ciencia marxista, la ciencia occidental, la ciencia feminista y ciencias putativas como la ciencia cristiana y la ciencia creacionista. ¿Por qué todas estas disciplinas tan diversas se llaman a sí mismas «ciencia»? ¿Cuáles son las características de una auténtica ciencia, que la distinguen de otros sistemas de pensamiento? ¿Posee la biología dichas características?

Cualquiera pensaría que tendría que resultar fácil responder a estas preguntas básicas. ¿Acaso no sabe todo el mundo lo que es la ciencia? Pues no es éste el caso, como resulta evidente cuando se estudian no sólo las columnas de la prensa popular sino también la abundante literatura profesional que trata de esta cuestión¹. T. H. Huxley, amigo de Charles Darwin y divulgador de las teorías de éste, definió la ciencia como «nada más que sentido común entrenado y organizado». Por desgracia, esto no es cierto. Muy a menudo, la ciencia tiene que corregir al sentido común. Por ejemplo, el sentido común nos dice que la Tierra es plana y que el Sol da vueltas en torno a ella. En todas las ramas de la ciencia ha habido que demostrar la falsedad de opiniones basadas en el sentido común. Se podría incluso decir que la actividad científica consiste en confirmar o refutar el sentido común.

Numerosos factores explican las dificultades que han encontrado los filósofos para ponerse de acuerdo en una definición de la ciencia. Uno de

¹ Esta literatura comenzó con Whewell (1840) y condujo a las explicaciones clásicas de Nagel (1961), Popper (1952) y Hempel (1965), así como a las obras, más recientes, de Laudan (1977), Giere (1988) y McMullin (1988), en las cuales se cita mucha más literatura sobre el tema. Todos estos autores, y muchos otros, han intentado aportar una respuesta definitiva a la cuestión. Pearson (1982) consideraba que lo que caracteriza a la ciencia es la metodología común. Pero este criterio omite la importante consideración de que todas las auténticas ciencias, como veremos más adelante, tienen también en común ciertos principios, como el de la objetividad.

ellos es que la ciencia es al mismo tiempo una actividad (lo que hacen los científicos) y un cuerpo de conocimientos (lo que saben los científicos). Casi todos los filósofos actuales, cuando tienen que definir la ciencia, insisten en la continua actividad de los científicos: exploración, explicación y comprobación. Pero otros filósofos tienden a definir la ciencia como un cuerpo de conocimientos en constante crecimiento, «la organización y clasificación del conocimiento sobre la base de principios explicativos»².

La insistencia en la recolección de datos y en la acumulación de conocimientos es un residuo de los primeros tiempos de la revolución científica, cuando la inducción era el método favorito de los científicos. Entre los induccionistas estaba muy extendido el error de creer que una acumulación de datos no sólo permitiría hacer generalizaciones, sino que produciría automáticamente nuevas teorías, como por combustión espontánea. En la actualidad, casi todos los filósofos están de acuerdo en que los datos por sí solos no explican nada, e incluso hay muchos que ponen en duda que existan datos puros. «Todas las observaciones están contaminadas por la teoría», argumentan. No se trata de una actitud nueva. Ya en 1861, Charles Darwin escribió: «Qué extraño es que nadie se haya dado cuenta de que todas las observaciones, para servir de algo, tienen que estar a favor o en contra de alguna teoría.»

A decir verdad, casi todos los autores que utilizan la palabra «conocimiento» lo hacen con un significado que no sólo se refiere a un conjunto de datos sino que incluye una interpretación de los datos. No obstante, resultaría menos confuso utilizar en este sentido la palabra «comprensión». Como en la definición «El objetivo de la ciencia es hacer avanzar nuestra comprensión de la naturaleza». Algunos filósofos añadirían «resolviendo problemas científicos»³. Y otros han ido

² Nagel (1961:4). Evidentemente, resulta más fácil describir lo que es la ciencia y lo que hacen los científicos que presentar una definición concisa y de aceptación universal. Ejemplos de descripciones son: «La ciencia estudia cosas que son desconcertantes y por lo tanto despiertan la curiosidad humana»; o «Las funciones de la ciencia son la predicción, el control, la comprensión y el descubrimiento de causas» (Beckner 1959:39); o «La ciencia se propone aumentar nuestros conocimientos del mundo sobre la base de principios explicativos y con comprobación continua y crítica de todos los descubrimientos» (Mayr ms.); o «La ciencia empírica tiene dos objetivos principales: describir fenómenos concretos en el mundo de nuestra experiencia y establecer principios generales, por medio de los cuales se puedan explicar y predecir dichos fenómenos» (Hempel). Otras definiciones: «La ciencia abarca todas las actividades de la inteligencia humana que dependen por completo de datos objetivos y de la lógica; incluye también la comprobación ilimitada de teorías»; o «La ciencia consiste en sentencias generales y lógicas que están directa o indirectamente sometidas a confirmación o refutación mediante la observación, y que se pueden utilizar en explicaciones y predicciones».

³ Para una discusión detallada de la naturaleza de los problemas científicos, véase Laudan (1977).

aún más lejos al declarar que «los objetivos de la ciencia son comprender, predecir y controlar». Sin embargo, existen muchas ramas de la ciencia en las que la predicción desempeña un papel muy secundario, y en muchas de las ciencias no aplicadas jamás se plantea la cuestión del control.

Otra razón de que los filósofos tengan tantas dificultades para ponerse de acuerdo en una definición de ciencia es que las actividades que llamamos ciencia han ido cambiando continuamente a lo largo de los siglos. Por ejemplo, la teología natural —el estudio de la naturaleza para llegar a comprender las intenciones de Dios— se consideró una rama legítima de la ciencia hasta hace ciento cincuenta años. En consecuencia, en 1859, algunos críticos de Darwin le reprocharon que utilizara en su explicación del origen de las especies un factor tan «anticientífico» como el azar y no tuviera en cuenta lo que ellos veían claramente como la mano de Dios en el diseño de todas las criaturas, grandes y pequeñas. En cambio, en el siglo XX hemos sido testigos de una inversión completa de la opinión que tienen los científicos del azar. Tanto en las ciencias de la vida como en las ciencias físicas, se ha pasado de un determinismo estricto en la interpretación del funcionamiento del mundo natural a una postura mucho más probabilística.

Veamos otro ejemplo de cómo va cambiando gradualmente la ciencia: el pujante empirismo de la revolución científica hizo que se insistiera mucho en el descubrimiento de nuevos datos y, curiosamente, apenas se hablaba del importante papel que desempeña el desarrollo de nuevos conceptos en el avance de la ciencia. En la actualidad, conceptos como competencia, ascendencia común, territorio y altruismo son tan significativos en biología como lo son las leyes y descubrimientos en las ciencias físicas, y sin embargo, aunque parezca extraño, su importancia no se ha tenido en cuenta hasta tiempos muy recientes. Esta omisión se refleja, por ejemplo, en las normas para la concesión del premio Nobel. Aunque hubiera un premio Nobel de biología (que no lo hay), Darwin no habría podido ganarlo por desarrollar el concepto de selección natural —sin duda, el mayor avance científico del siglo XIX—, porque no se trataba de un descubrimiento. Esta actitud, que favorece a los descubrimientos por encima de los conceptos, continúa en nuestros tiempos, aunque en menor medida que en tiempos de Darwin.

Nadie sabe qué nuevos cambios de la imagen de la ciencia nos traerá el futuro. Lo mejor que podemos hacer, dadas las circunstancias, es intentar presentar un esbozo del tipo de ciencia que predomina en nuestra época, a finales del siglo XX.

ensor de la autonomía de la biología alegraría lo siguiente: muchos atributos de los organismos vivos que interesan a los biólogos no se pueden reducir a leyes fisicoquímicas; y lo que es más, muchos aspectos del mundo físico estudiados por los físicos carecen de interés para el estudio de la vida (y para cualquier otra ciencia que no sea la física). En este sentido, la física es tan provinciana como la biología. No tiene sentido considerar que la física es la ciencia ejemplar sólo porque fue la primera ciencia bien organizada. Aquel hecho histórico no la hace más universal que su hermana pequeña, la biología. La unidad científica no se podrá lograr hasta que se acepte que la ciencia comprende varias provincias diferentes, una de las cuales es la física; otra, la biología. Sería absurdo tratar de «reducir» la biología, una ciencia provinciana, a física, otra ciencia provinciana, o viceversa⁵.

Muchos de los promotores –si no todos– del movimiento por la unidad de la ciencia de finales del siglo XIX y principios del XX eran filósofos, no científicos, y eran poco conscientes de la heterogeneidad de las ciencias. Esto se aplica a las ciencias físicas –que incluyen física de partículas elementales, física del estado sólido, mecánica cuántica, mecánica clásica, teoría de la relatividad, electromagnetismo... y aún podríamos añadir la geofísica, la astrofísica, la oceanografía, la geología y otras– y aumenta exponencialmente cuando pensamos en las numerosas ciencias de la vida. Durante los últimos setenta años se ha demostrado una y otra vez la imposibilidad de reducir todos estos campos a un único denominador común.

Insistamos, pues: sí, la biología es una ciencia, como la física y la química. Pero la biología no es una ciencia igual que la física o la química; se trata de una ciencia autónoma, equiparable a las igualmente autónomas ciencias físicas. Ahora bien, no podríamos hablar de ciencia en singular si no fuera porque todas las ciencias, a pesar de sus aspectos característicos y de un cierto grado de autonomía, poseen aspectos comunes. Una de las tareas de los filósofos de la biología consiste en determinar los aspectos comunes que la biología comparte con las otras ciencias, no sólo en metodología sino también en principios y conceptos. Y esos aspectos comunes definirán una ciencia unificada.

LOS INTERESES DE LA CIENCIA

Se ha dicho que el científico busca la verdad, pero lo mismo dicen muchas personas que no son científicos. El mundo y todo lo que hay en

⁵ Véase Mayr (1996).

él constituye la esfera de interés no sólo de los científicos, sino también de los teólogos, los filósofos, los poetas y los políticos. ¿Cómo se puede establecer una demarcación entre lo que interesa a éstos y lo que interesa a los científicos?

En qué se diferencia la ciencia de la teología

La demarcación entre la ciencia y la teología es seguramente la más fácil, porque los científicos no recurren a lo sobrenatural para explicar el funcionamiento del mundo natural, ni se basan en la revelación divina para comprenderlo. Cuando los pueblos primitivos trataron de encontrar explicaciones para los fenómenos naturales, y en especial los desastres, recurrieron invariablemente a seres y fuerzas sobrenaturales; y todavía en nuestros días, la revelación divina es, para muchos devotos cristianos, una fuente de verdad tan legítima como la ciencia. Prácticamente todos los científicos que conozco personalmente son religiosos en el mejor sentido de la palabra, pero los científicos no invocan causas sobrenaturales ni se basan en revelaciones divinas.

Otro rasgo de la ciencia que la distingue de la teología es su carácter abierto. Las religiones se caracterizan por su relativa inviolabilidad; en las religiones reveladas, una diferencia en la interpretación de una sola palabra del documento fundacional revelado puede dar origen a una nueva religión. Esto contrasta de manera espectacular con la situación en cualquier campo activo de la ciencia, donde existen versiones diferentes de casi todas las teorías. Continuamente se hacen nuevas conjeturas, y la diversidad intelectual es considerable en todo momento. De hecho, la ciencia avanza por un proceso darwiniano de variación y selección en la elaboración y comprobación de hipótesis (véase Capítulo 5).

Pero aunque la ciencia está abierta a nuevos datos e hipótesis, hay que decir que prácticamente todos los científicos, como si fueran teólogos, abordan el estudio del mundo natural equipados con un conjunto de lo que podríamos llamar «principios básicos». Una de estas suposiciones axiomáticas es la de que *existe* un mundo real, independiente de la percepción humana. Podríamos llamarlo principio de objetividad (lo opuesto a la subjetividad) o realismo de sentido común (véase Capítulo 3). Este principio no garantiza que los científicos, a título individual, sean siempre «objetivos»; ni siquiera significa que la objetividad absoluta sea posible entre los seres humanos. Significa únicamente que existe un mundo objetivo, no influido por la percepción subjetiva humana. Casi todos los científicos —aunque no todos— creen en este axioma.

A continuación, los científicos dan por supuesto que este mundo no es caótico, sino que está estructurado de alguna manera y que los métodos de la investigación científica pueden revelar todos o casi todos los aspectos de esta estructura. Un instrumento básico en toda actividad científica es la comprobación. Todo nuevo dato y toda nueva explicación deben ponerse a prueba una y otra vez, preferiblemente por diferentes investigadores y utilizando diferentes métodos (véanse capítulos 3 y 4). Cada confirmación refuerza la probabilidad de la «veracidad» de un dato o una explicación, y cada falsación o refutación refuerza la probabilidad de que la teoría contraria sea correcta. Uno de los rasgos más característicos de la ciencia es esta disposición abierta. Estar dispuesto a abandonar una creencia aceptada cuando se propone otra mejor constituye una importante demarcación entre la ciencia y el dogma religioso.

El método empleado por la ciencia para poner a prueba la «verdad» varía, según se esté comprobando un dato o una explicación. La existencia de un continente entre Europa y América, la Atlántida, se empezó a poner en duda al no encontrarse dicho continente durante las primeras travesías trasatlánticas de finales del siglo XV e inicios del XVI. Cuando se hicieron exploraciones más completas del océano Atlántico y, sobre todo, cuando en este siglo se tomaron fotografías desde los satélites, la nueva evidencia demostró concluyentemente que no existe dicho continente. A menudo la ciencia es capaz de establecer la veracidad absoluta de un dato. Demostrar la veracidad absoluta de una explicación o teoría resulta mucho más difícil y, en general, se tarda mucho más tiempo en conseguir que se la acepte. Los científicos tardaron más de cien años en aceptar plenamente la validez de la «teoría» de la evolución por selección natural, y todavía existen personas, pertenecientes a diversas sectas religiosas, que no creen en ella.

Por último, casi todos los científicos dan por supuesto que existe una continuidad histórica y causal entre todos los fenómenos del universo material, e incluyen dentro de los dominios legítimos del estudio científico todo lo que se sabe que existe o sucede en este universo. Pero no van más allá del mundo material. A los teólogos puede interesarles también el mundo físico, pero además suelen creer en un reino metafísico o sobrenatural, habitado por almas, espíritus, ángeles o dioses, y muchos creen que este cielo o paraíso será el lugar de reposo de todos los creyentes después de la muerte. Estas elaboraciones sobrenaturales se salen del campo de la ciencia.

En qué se diferencia la ciencia de la filosofía

La demarcación entre la ciencia y la filosofía es más difícil de determinar que la que separa la ciencia de la teología, y esto provocó tensiones entre científicos y filósofos durante gran parte del siglo XIX. En la Grecia clásica, filosofía y ciencia eran una misma cosa. El comienzo de la separación entre ambas tuvo lugar durante la revolución científica; pero, como sucedió con Immanuel Kant, William Whewell y William Herschel, muchos de los que contribuyeron al avance de la ciencia fueron también filósofos. Otros autores posteriores, como Ernst Mach o Hans Driesch, empezaron como científicos y después se pasaron a la filosofía.

Así pues, ¿acaso no existe demarcación entre la ciencia y la filosofía? No cabe duda de que la búsqueda y descubrimiento de datos es tarea de la ciencia, pero en otros aspectos existe una considerable zona de solapamiento. Casi todos los científicos consideran que parte de su trabajo consiste en teorizar, generalizar y establecer una estructura conceptual para su campo de estudio; de hecho, eso es lo que los convierte en auténticos científicos. Sin embargo, muchos filósofos de la ciencia consideran que teorizar y elaborar conceptos son tareas de la filosofía. Para bien o para mal, en las últimas décadas estas tareas han sido asumidas por científicos, y algunos conceptos básicos desarrollados por biólogos han sido adoptados posteriormente por los filósofos y ahora son también conceptos filosóficos.

En sustitución de su anterior tarea principal, los filósofos de la ciencia se han especializado en elucidar los principios empleados para elaborar teorías o conceptos. Investigan las reglas que gobiernan las operaciones realizadas por los científicos para responder a los «¿qué?», los «¿cómo?» y los «¿por qué?» que van encontrando. En la actualidad, la principal actividad de la filosofía en relación con la ciencia consiste en poner a prueba la «lógica de la justificación» y la metodología de la explicación (véase Capítulo 3). En los peores casos, este tipo de filosofía tiende a degenerar en juegos lógicos y sutilezas semánticas; en los mejores, ha impuesto a los científicos más responsabilidad y precisión.

Aunque los filósofos de la ciencia afirman a menudo que sus reglas metodológicas son puramente descriptivas y no prescriptivas, muchos de ellos parecen considerar que su tarea consiste en determinar lo que *deberían* hacer los científicos. En general, los científicos no hacen ningún caso de estos consejos normativos, sino que eligen el método que ellos creen que rendirá resultados más rápidamente; estos métodos pueden variar según los casos.

Hasta hace pocos años, el mayor error de la filosofía de la ciencia

era, seguramente, tomar la física como ciencia modelo. En consecuencia, la llamada filosofía de la ciencia no era más que una filosofía de las ciencias físicas. Esto ha cambiado bajo la influencia de filósofos jóvenes, muchos de ellos especializados en la filosofía de la biología. La relación íntima que existe en la actualidad entre la filosofía y las ciencias de la vida queda de manifiesto en los numerosos artículos publicados en la revista *Biology and Philosophy*. Gracias a los esfuerzos de estos jóvenes filósofos, los conceptos y métodos empleados en las ciencias biológicas se han convertido en componentes importantes de la filosofía de la ciencia.

Éste es un proceso muy deseable, tanto para la filosofía como para la biología. Todo científico debería fijarse como objetivo llegar a generalizar sus conceptos de la naturaleza, para que éstos puedan hacer una contribución a la filosofía de la ciencia. Mientras la filosofía de la ciencia estuvo restringida a las leyes y métodos de la física, a los biólogos les fue imposible aportar tal contribución. Afortunadamente, las cosas han cambiado.

La incorporación de la biología ha modificado muchos de los principios de la filosofía de la ciencia. Como veremos en los capítulos 3 y 4, el rechazo del determinismo estricto y de la fe en leyes universales, la aceptación de predicciones meramente probabilísticas y de narraciones históricas, el reconocimiento de la importancia de los conceptos en la elaboración de teorías, la aceptación del concepto de población y del papel de los individuos únicos, y muchos otros aspectos del pensamiento biológico, han incidido en los fundamentos de la filosofía de la ciencia. Ahora que domina el probabilismo, todos los aspectos del análisis lógico basados en supuestos tipológicos han resultado muy vulnerables. La certidumbre completa que, a partir de Descartes, había sido el ideal de los filósofos de la ciencia, parece un objetivo cada vez menos importante.

En qué se diferencia la ciencia de las humanidades

En lo referente a la demarcación entre la ciencia y las humanidades, la tendencia de los autores del pasado a pasar por alto la heterogeneidad de ambos campos ha dado lugar a muchos conceptos erróneos. Existen más diferencias entre la física y la biología evolutiva —que son dos ramas de la ciencia— que entre la biología evolutiva (una de las ciencias) y la historia (una de las humanidades). La crítica literaria no tiene prácticamente nada en común con las otras disciplinas de las humanidades, y menos aún con la ciencia.

Cuando C. P. Snow escribió *Dos culturas* en 1959, lo que en reali-

dad describía era la separación que existe entre la física y las humanidades. Como otros autores de la época, tuvo la ingenuidad de dar por supuesto que la física podía representar a la totalidad de las ciencias. Como muy bien señaló, la brecha que separa la física de las humanidades es prácticamente infranqueable. Simplemente, no existe ningún camino que lleve de la física a la ética, la cultura, la mente, el libre albedrío y otros temas de interés para los humanistas. La ausencia en la física de estos importantes tópicos contribuyó a la incomunicación de científicos y humanistas, de la que tanto se lamentaba Snow. Sin embargo, todos esos conceptos tienen relaciones sustanciales con las ciencias de la vida.

De manera similar, cuando el humanista E. M. Carr (1961) comparó la historia con «las ciencias», encontró cinco aspectos en los que difieren: 1) La historia, según él, se ocupa exclusivamente de lo único, y la ciencia de lo general. 2) La historia no enseña lecciones. 3) La historia, a diferencia de la ciencia, es incapaz de predecir. 4) La historia es necesariamente subjetiva, mientras que la ciencia es objetiva. 5) La historia, a diferencia de la ciencia, estudia cuestiones de religión y moral. De lo que no se dio cuenta Carr fue de que estas diferencias sólo son válidas para las ciencias físicas y para gran parte de la biología funcional. Sin embargo, los puntos 1, 3 y 5 se aplican por igual a la historia y a la biología evolutiva. Y, como reconoce el mismo Carr, algunos de estos puntos (el 2, por ejemplo) no son estrictamente ciertos ni siquiera para la historia. En otras palabras, la profunda diferencia entre «las ciencias» y las «no ciencias» deja de existir en cuanto se admite a la biología en el reino de la ciencia⁶.

⁶ El filósofo alemán Windelband (1894) distinguía dos tipos de ciencias, las nomotéticas y las idiográficas, y utilizaba el término «ciencia» con el significado alemán de *Wissenschaft* (que incluye las humanidades). Con esta terminología pretendía separar las ciencias naturales (nomotéticas) de las humanidades (idiográficas). Una vez más, el intento carecía de validez porque la biología quedaba completamente fuera de su clasificación. Su caracterización de las ciencias idiográficas, que según él se ocupaban de fenómenos únicos y no recurrentes, pretendía describir las humanidades, pero esta descripción se puede aplicar también a muchas de las ciencias naturales, en especial a la biología evolutiva, como bien indicó Nagel (1961:548-549). Ahora aceptamos que el contraste entre «la ciencia» y las humanidades no es tan grande como pensaban Snow y Windelband, ni mucho menos. Esta nueva forma de ver las cosas es consecuencia de varias consideraciones: 1) Lo que los filósofos fisicistas de la ciencia y los humanistas consideraban tradicionalmente «ciencia» era en realidad sólo la física, una sola de las ciencias. 2) La erosión del determinismo estricto y de la creencia en la importancia suprema de las leyes universales ha reducido el contraste entre la ciencia (incluyendo incluso las ciencias físicas) y las humanidades, que ya no es tan absoluto. 3) Al admitir que la biología, y sobre todo la biología evolutiva, es una parte de la ciencia, se establece un puente entre las ciencias naturales y las humanidades. 4) Los procesos históricos, tan decididamente omitidos en casi todas las ciencias físicas, se pueden someter a análisis científico y deben incluirse dentro de los límites de la ciencia.

Muy a menudo, la incomunicación entre la ciencia y las humanidades se atribuye a la incapacidad de los científicos para apreciar el «elemento humano» en el curso de sus investigaciones. Pero no se debe echar toda la culpa a los científicos. Para muchos trabajos de humanidades es indispensable un conocimiento rudimentario de ciertos descubrimientos de la ciencia, sobre todo de biología evolutiva, comportamiento, desarrollo humano y antropología física. Y sin embargo, demasiados humanistas carecen de dichos conocimientos y exhiben en sus escritos una vergonzosa ignorancia de dichas materias. Muchos de ellos se disculpan de su desconocimiento de la ciencia alegando que «se me dan mal las matemáticas». Pero lo cierto es que hay muy pocas matemáticas en las ramas de la biología con las que más familiarizados deberían estar los humanistas. Por ejemplo, no hay ni una sola fórmula matemática en *El origen de las especies* de Darwin ni en mi *Crecimiento del pensamiento biológico* (1982). El conocimiento de la biología humana debería formar parte imprescindible e inseparable de los estudios de humanidades. La psicología, que antes se clasificaba entre las humanidades, se considera ahora una ciencia biológica. Sin embargo, ¿cómo se puede escribir sobre historia o literatura, que son humanidades, sin tener considerables conocimientos sobre el comportamiento humano?

Snow hizo bien en insistir en este aspecto. La mayor parte de la gente muestra una deplorable ignorancia en materia científica, incluso en los temas más sencillos. Por ejemplo, un autor tras otro aseguran no poderse creer que el ojo es el resultado de una serie de accidentes. Lo que revelan estas declaraciones es que los autores no tienen ni idea del funcionamiento de la selección natural, que no es un proceso accidental sino *anticasual*. El cambio evolutivo se produce porque ciertas características de los individuos se adaptan mejor que otras a las circunstancias ambientales de la especie en un momento dado, y estos caracteres más adaptativos se van concentrando en las generaciones posteriores, gracias a las diferentes tasas de supervivencia y reproducción; en otras palabras, por selección natural. Desde luego, el azar desempeña un cierto papel en la evolución, como bien sabía Darwin, pero la selección natural —el mecanismo primario del cambio evolutivo— no es un proceso accidental.

Ignorar los descubrimientos de la biología resulta especialmente grave cuando los humanistas se ven obligados a afrontar problemas políticos como la superpoblación mundial, la difusión de enfermedades infecciosas, el agotamiento de recursos no renovables, los cambios climáticos perjudiciales, el aumento de las necesidades agrícolas en todo el mundo, la destrucción de los hábitats naturales, la proliferación de conductas delictivas o los fallos de nuestro sistema educativo. Ninguno de estos problemas se puede abordar satisfactoriamente sin tener en cuenta

los descubrimientos de la ciencia, sobre todo de la biología; y sin embargo, los políticos actúan demasiado a menudo con total ignorancia.

LOS OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN CIENTÍFICA

Muchas veces nos preguntan por qué nos dedicamos a la ciencia. O para qué sirve la ciencia. A estas preguntas se les han dado dos respuestas muy diferentes. La insaciable curiosidad del ser humano y el deseo de conocer mejor el mundo en el que viven son, para muchos científicos, las razones primarias de su interés por la ciencia. Se basan en la convicción de que ninguna de las teorías filosóficas o puramente ideológicas puede competir a largo plazo con el conocimiento del mundo que proporciona la ciencia.

Aportar una contribución a este mejor conocimiento del mundo es una fuente de satisfacción para un científico; de hecho, le vuelve loco de alegría. Se suele insistir mucho en los descubrimientos, en los que a veces interviene la suerte, pero la alegría es aún mayor cuando uno tiene éxito en la difícil tarea intelectual de desarrollar un nuevo concepto, un concepto capaz de integrar una masa de datos anteriormente inconexos, o que pueda servir de base a teorías científicas. Por supuesto, los placeres de la investigación se ven empañados por la incesante necesidad de reunir datos aburridos, la decepción (e incluso la vergüenza) de las teorías invalidadas, la resistencia que ofrecen algunas materias investigadas y otras muchas frustraciones⁷.

Un objetivo completamente diferente es utilizar la ciencia como medio para controlar el mundo, sus fuerzas y sus recursos. Este segundo objetivo es propio, sobre todo, de los científicos aplicados (incluyendo los que trabajan en medicina, sanidad pública y agricultura), los ingenieros, los políticos y el ciudadano medio. Pero lo que olvidan algunos políticos y votantes es que, para resolver los problemas de contaminación, urbanización, hambre o explosión demográfica, no basta con combatir los síntomas. Ni la malaria se cura con aspirina, ni se pueden resolver problemas sociales y económicos sin estudiar las causas. Nuestra manera de afrontar la discriminación racial, el crimen, la adicción a las drogas, la

⁷ Al investigador frustrado me gustaría recordarle la sensata recomendación de Stern (1965:773): «El investigador puede superar todos los peligros que sus debilidades personales le planteen. Puede conservar el entusiasmo de la juventud, que le empujó a contemplar los misterios del universo. Puede seguir dando gracias por el extraordinario privilegio de participar en su exploración. Puede sentir un gozo constante por los descubrimientos hechos por otros, tanto en el pasado como en su propia época. Y puede aprender la difícil lección de que el viaje mismo, y no sólo la gran conquista, da plenitud a la vida humana.»

carencia de hogar y problemas similares, así como el grado de éxito que logremos en su eliminación, dependerán en gran medida de que comprendamos bien sus causas biológicas.

Estos dos objetivos de la ciencia —satisfacer la curiosidad y mejorar el mundo— no corresponden a dominios totalmente diferentes, porque hasta la ciencia aplicada, y sobre todo la ciencia en la que se basa una política pública, depende de la ciencia básica. En la mayoría de los casos, lo que más motiva a los científicos es el simple deseo de comprender mejor los fenómenos enigmáticos de nuestro mundo.

Tanto en la ciencia básica como en la aplicada, toda discusión acerca de los objetivos de la investigación científica implica siempre cuestiones de valores. ¿Hasta qué punto puede permitirse nuestra sociedad ciertos proyectos científicos de altos vuelos, como los superaceleradores de partículas o las estaciones espaciales, teniendo en cuenta que sólo se obtendrán resultados muy limitados? ¿Hasta qué punto se pueden considerar éticos ciertos experimentos, en especial los realizados con mamíferos (perros, monos, etc.)? ¿Existe el riesgo de que el trabajo con material embrionario humano dé lugar a prácticas contrarias a la ética? ¿Qué experimentos de psicología humana o de medicina clínica podrían resultar perjudiciales para los sujetos experimentales?

Cuando las ciencias físicas eran las dominantes, se solía considerar que la ciencia carece de sistema de valores. Durante la rebelión estudiantil de los años 60, algunos grupos, ofendidos por esta arrogancia, difundieron el lema «Abajo la ciencia sin valores». Desde el auge de la biología, y especialmente de la genética y la biología evolutiva, ha quedado claro que los descubrimientos y teorías científicas ejercen un impacto en los sistemas de valores, aunque no está tan claro hasta qué punto puede la ciencia generar valores (véase Capítulo 12). Algunos de los adversarios de Darwin, como Adam Sedgwick, acusaron al darwinismo de destruir los valores morales. Todavía en nuestros días, los creacionistas atacan a la biología evolutiva porque están convencidos de que socava los valores de la teología cristiana. El movimiento eugenético del siglo XX defendía unos valores claramente derivados de la ciencia de la genética humana. Y si la sociobiología recibió tan virulentos ataques en los años 70 fue porque parecía fomentar ciertos valores políticos incompatibles con los de sus oponentes. Casi todas las grandes religiones e ideologías políticas defienden ciertos valores asegurando que tienen base científica, y casi todas defienden además otros valores incompatibles con ciertos descubrimientos de la ciencia.

Paul Feyerabend (1970) se ha atrevido a sugerir (como también han hecho otros autores contemporáneos) que un mundo sin ciencia «sería más agradable que el mundo en el que hoy vivimos». No estoy seguro

de que fuera así. Habría menos contaminación y menos cáncer provocado por la contaminación, menos masificación y menos subproductos nocivos de la sociedad de masas. Pero también sería un mundo con mucha mortalidad infantil, una esperanza de vida de sólo 35 o 40 años, sin posibilidades de evitar el calor en verano y protegerse del frío en invierno. Cuando uno se pone a quejarse de los efectos secundarios e indeseables, se olvida con facilidad de los inmensos beneficios de la ciencia (incluyendo la ciencia agrícola y la médica). Casi todos los llamados «efectos malignos» de la ciencia y la tecnología se podrían eliminar; los científicos saben qué habría que hacer, pero su conocimiento tiene que traducirse en leyes, y hasta ahora esto se ha topado con la oposición de los políticos y gran parte de la población votante.

Mi opinión personal sobre las contribuciones de la ciencia se aproxima más a la de Karl Popper, que dijo lo siguiente: «Después de la música y el arte, la ciencia es el mayor, el más bello y el más iluminador logro del espíritu humano. Detesto esa moda actual tan ruidosa que pretende denigrar a la ciencia, y admiro por encima de todo los maravillosos resultados conseguidos en nuestros tiempos por el trabajo de biólogos y bioquímicos, y que la medicina ha hecho llegar a pacientes de todo nuestro bello planeta.»

La ciencia y el científico

Con frecuencia se oye decir que la ciencia puede hacer tal cosa o que la ciencia no puede hacer tal otra, pero evidentemente son los científicos los que pueden o no pueden hacer algo. El científico, en el mejor de los casos, es una persona trabajadora, muy motivada, escrupulosamente honrada, generosa y cooperadora. Pero los científicos son seres humanos y no siempre están a la altura de estos ideales profesionales. Las consideraciones políticas, teológicas o económicas, que son ajenas a la ciencia, no deberían influir en los juicios científicos, pero influyen a menudo.

Los científicos tienen tradiciones y valores propios y específicos, que aprenden de un profesor, un colega de más edad o algún otro modelo. El sistema de valores no sólo proscribire los fraudes y mentiras, sino que obliga a dar el crédito adecuado a los competidores si éstos tienen prioridad en un descubrimiento. Un buen científico defenderá tenazmente sus propias reivindicaciones de prioridad, pero al mismo tiempo suele estar deseoso de agradar a las figuras principales de su campo y a veces acatará su autoridad aunque debería ser más crítico.

Toda trampa o manipulación de datos se descubre tarde o temprano

y significa el final de una carrera; aunque sólo fuera por esta razón, el fraude no es una opción viable en la ciencia. La inconsistencia es un defecto más extendido; seguramente no existe un solo científico que esté completamente libre de él. Charles Lyell, cuyos *Principios de geología* influyeron en el pensamiento de Darwin, predicó el uniformismo, pero a muchos de sus contemporáneos les sorprendió lo poco uniformista que era su propia teoría sobre el origen de nuevas especies. Ni el propio Darwin se libró de incurrir en inconsistencias: aplicó el concepto de población para explicar la adaptación por selección natural, pero utilizó lenguaje tipológico en algunos de sus comentarios sobre especiación. Lamarck proclamó a los cuatro vientos que era mecanicista estricto y que se proponía explicarlo todo en términos de causas y fuerzas mecánicas; y sin embargo, el lector moderno no puede evitar interpretar su teoría de que el cambio evolutivo lleva inevitablemente a la perfección como una adhesión subconsciente al principio (no mecanicista) del perfeccionamiento.

Algunos fallos en los descubrimientos e hipótesis de los científicos se deben claramente a que han confundido los deseos con la realidad. Después de que uno de los primeros investigadores creyera descubrir 48 cromosomas en la especie humana, su descubrimiento fue confirmado por otros muchos investigadores, porque 48 era el número que esperaban encontrar. El número correcto (46) no quedó confirmado hasta que se introdujeron tres técnicas nuevas y diferentes.

Reconociendo que el error y la inconsistencia son frecuentes en la ciencia, Karl Popper propuso en 1981 un conjunto de normas éticas profesionales para los científicos. El primer principio dice que no existe la autoridad; las inferencias científicas van mucho más allá de lo que cualquier individuo puede dominar, aunque se trate de un especialista. En segundo lugar, todos los científicos cometen errores algunas veces; parece algo inevitable. Hay que buscar los errores, analizarlos cuando se los encuentra y aprender de ellos. Ocultar los errores es un pecado imperdonable. En tercer lugar, aunque esta autocrítica es importante, tiene que complementarse con críticas ajenas, que pueden ayudarnos a descubrir y corregir los errores propios. Para poder aprender de los errores, hay que reconocerlos cuando otros nos los señalan. Y por último, siempre hay que ser consciente de los errores propios cuando se señalan los ajenos.

La mayor recompensa para un científico es el prestigio entre sus colegas. Este prestigio depende de factores como el número de descubrimientos importantes realizados, o su contribución a la estructura conceptual de su disciplina. ¿Por qué la prioridad y el reconocimiento de los colegas son tan importantes para casi todos los científicos? ¿Por qué algunos científicos intentan denigrar a sus colegas (o competidores)?

¿Cómo se recompensa a un científico por sus logros? ¿Qué relación existe entre unos científicos y otros, y entre los científicos y el resto de la sociedad? Todas estas preguntas han sido planteadas por investigadores de la sociología de la ciencia, entre los que destaca Robert Merton, que prácticamente fundó esta disciplina. Tal como ha demostrado Merton, gran parte de la ciencia moderna la realizan equipos de investigación, y con frecuencia se forman alianzas bajo la bandera de ciertos dogmas⁸. Pero a pesar de que existe un cierto grado de disensión, lo que más impresiona a los de fuera es el notable consenso existente entre los científicos en la segunda mitad del siglo XX.

Este consenso se refleja especialmente bien en la internacionalidad de la ciencia. El inglés se va convirtiendo con rapidez en la *lingua franca* de la ciencia, y en ciertos países, como Escandinavia, Alemania y Francia, importantes publicaciones científicas tienen título en inglés y publican principalmente artículos en inglés. Un científico que viaje a otro país, aunque se trate de un estadounidense y vaya a Rusia o Japón, se siente perfectamente a gusto en compañía de sus colegas de ese país. En los últimos tiempos se han publicado en revistas científicas numerosos artículos cuyos coautores son de distintos países. Hace cien años, los artículos y libros científicos solían tener un claro sabor nacional, pero esto es cada vez más raro.

Todos los científicos que alcanzan objetivos de mérito suelen ser ambiciosos y muy trabajadores. No existen científicos de 9 a 5. Muchos trabajan 15 o 17 horas al día, al menos durante ciertos períodos de su carrera. Y sin embargo, la mayoría tiene intereses muy variados, como lo demuestran sus biografías; muchos científicos son músicos aficionados, por ejemplo. En otros aspectos, los científicos forman un colectivo tan variable como cualquier grupo humano. No creo que exista un temperamento concreto o una personalidad que se pueda identificar como «el científico típico».

Tradicionalmente, uno se hacía biólogo después de estudiar medicina o por haber sido naturalista desde pequeño. En la actualidad, es mucho más corriente que los jóvenes se interesen por las ciencias de la vida gracias a los medios de comunicación, sobre todo los documentales televisivos sobre la naturaleza, a las visitas a los museos (casi siempre empezando por la sala de dinosaurios) o a un profesor que les inspira. Miles de jóvenes se dedican a observar a los pájaros, y algunos se harán biólogos profesionales (como hice yo). El ingrediente más importante es la fascinación ejercida por las maravillas de los seres vivos. A la mayoría de los biólogos les dura toda la vida; jamás dejan de apasionarles los

⁸ Véase Hull (1988).

descubrimientos científicos, sean empíricos o teóricos, ni pierden la afición a buscar nuevas ideas, nuevos puntos de vista, nuevos organismos. Y muchos aspectos de la biología influyen directamente en nuestras circunstancias personales y en nuestro sistema de valores. Ser biólogo no es un trabajo; es elegir un modo de vida⁹.

⁹ «Percibir un hecho de la naturaleza que jamás había sido visto por un ojo o una mente humana, descubrir una nueva verdad en cualquier campo, revelar un acontecimiento de la historia pasada o identificar una relación oculta... el afortunado que haya vivido estas experiencias se recreará en ellas toda su vida» (Stern 1965:772). Muchos científicos, en sus autobiografías o en otras obras, han descrito con entusiasmo los gozos de la investigación (Shropshire 1981).