

# CIENCIAS NATURALES

PARA PROFESORES DE PREESCOLAR Y PRIMARIA



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

GOBIERNO DEL DISTRITO FEDERAL

Dr. José Narro Robles  
RECTOR

Marcelo Ebrard Casaubon  
JEFE DE GOBIERNO DEL DISTRITO FEDERAL

Dr. Eduardo Bárzana García  
SECRETARIO GENERAL

Salvador Martínez Della Rocca  
SECRETARIO DE EDUCACIÓN

Lic. Enrique Del Val Blanco  
SECRETARIO ADMINISTRATIVO

Dr. Francisco Trigo Tavera  
SECRETARIO DE DESARROLLO INSTITUCIONAL

M.C. Ramiro Jesús Sandoval  
SECRETARIO DE SERVICIOS A LA COMUNIDAD

Lic. Luis Raúl González Pérez  
ABOGADO GENERAL

Enrique Balp Díaz  
DIRECTOR GENERAL DE COMUNICACIÓN SOCIAL

Dr. Carlos Arámburo de la Hoz  
COORDINADOR DE LA INVESTIGACIÓN CIENTÍFICA

Dra. Rosaura Ruiz Gutiérrez  
DIRECTORA DE LA FACULTAD DE CIENCIAS

# CIENCIAS NATURALES

**PARA PROFESORES DE PREESCOLAR Y PRIMARIA**

COORDINADORES

Luis Felipe Jiménez García, María Luisa Marquina Fábrega y Rosaura Ruiz Gutiérrez

Eduardo Adolfo Delgadillo Cárdenas

Raúl Arturo Espejel Morales

Luis Felipe Jiménez García

Silvia López Eslava

María Luisa Marquina Fábrega

Marco Antonio Martínez Negrete

José Luis Morán López

Ricardo Noguera Solano

Miguel C. Núñez Cabrera

Irene Quiroz Amenta

Beatriz Rendón Aguilar

Rosaura Ruiz Gutiérrez

María Josefina Segura Gortares

María de Lourdes Segura Valdez

Bruno Velázquez Delgado



*Ciencias naturales para profesores de preescolar y primaria* / coordinadores Luis Felipe Jiménez García, María Luisa Marquina Fábrega y Rosaura Ruiz Gutiérrez ; (colaboradores) Eduardo Adolfo Delgadillo Cárdenas — (y otros más). — México : UNAM, Facultad de Ciencias : Siglo XXI Editores, 2012.  
288 páginas : il; 28 cm.  
Bibliografía: página 261-264  
ISBN 978-607-02-3453-8 (UNAM)  
ISBN 978-607-03-0421-7 (Siglo XXI)

1. Ciencia – Estudio y enseñanza (Preescolar). 2. Ciencia – Estudio y enseñanza (Primaria). 3. Ciencia – Estudio y enseñanza (Primaria) – Programas de actividades. I. Jiménez García, Luis Felipe. II. Marquina Fábrega, María Luisa. III. Ruiz Gutiérrez, Rosaura. IV. Delgadillo Cárdenas, Eduardo Adolfo. V. Universidad Nacional Autónoma de México. Facultad de Ciencias.

372.35-scdd21

Biblioteca Nacional de México

#### **CIENCIAS NATURALES PARA PROFESORES DE PREESCOLAR Y PRIMARIA**

COORDINADORES | Luis Felipe Jiménez García, María Luisa Marquina Fábrega y Rosaura Ruiz Gutiérrez  
COORDINACIÓN EDITORIAL | Rosanela Álvarez y María Oscos  
DISEÑO DE INTERIORES Y PORTADA | María Luisa Martínez Passarge

#### **CIENCIAS NATURALES PARA PROFESORES DE PREESCOLAR Y PRIMARIA**

1ª edición | 2012

D.R. © agosto 2012  
UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO  
Facultad de Ciencias  
Ciudad Universitaria, Coyoacán, 04510 México, D.F.

D.R. © agosto 2012  
SIGLO XXI EDITORES, S.A. DE C.V.  
Av. Cerro del Agua 248, Romero de Terreros, Coyoacán, 04310 México, D.F.

Gobierno del Distrito Federal  
Secretaría de Educación  
Av. Chapultepec 49, 6º piso, col. Centro, 06010 México, D.F.

La coordinación general agradece la colaboración y el apoyo de Luisa Alba Lois, Luis Jiménez Segura, María Teresa Jiménez Segura y Javier García García.

ISBN Siglo XXI: 978-607-03-0421-7  
ISBN UNAM: 978-607-02-3453-8

Reservados todos los derechos. Ni la totalidad ni parte de esta publicación pueden reproducirse, registrarse o transmitirse por un sistema de recuperación de información, en ninguna forma y por ningún medio, sea electrónico, mecánico, fotoquímico, magnético, electroóptico, por fotocopia, grabación o cualquier otro, sin permiso previo por escrito de los editores.

Impreso y hecho en México.

## INTRODUCCIÓN

**E**n las últimas décadas ha quedado de manifiesto que para lograr una sociedad exitosa, productiva, justa, democrática y equitativa, es necesario educar a sus integrantes con actitudes, aptitudes y habilidades como son curiosidad, análisis, tolerancia y autocrítica. Todas ellas son características del pensamiento científico que permiten entender y resolver problemas de la más diversa índole, haciendo uso de metodologías que han dado origen a un desarrollo científico y tecnológico sin precedentes en la sociedad actual. A este nuevo modelo social se le ha identificado como la Sociedad del Conocimiento.

Por lo anterior, es prioritario implementar estrategias de enseñanza-aprendizaje adecuadas para todos los niveles educativos, con la finalidad de desarrollar estas características desde temprana edad, dado que el desarrollo intelectual es más rápido en la niñez.

Esta obra propone al profesor de educación preescolar y primaria un conjunto de conocimientos fundamentales en ciencias naturales, así como algunos elementos para fortalecer sus habilidades y actitudes científicas. Además, se incluyen temas adicionales a los contenidos de los cursos de educación primaria para enriquecer el conocimiento del maestro.

El eje común que rige los temas de ciencias naturales (Biología, Física y Química) está basado en tres conceptos íntimamente relacionados: el movimiento, la interacción y la energía. Así, por ejemplo, el concepto de interacción no sólo conduce de manera natural a la noción de fuerza en Física, sino además, en la Biología, nos lleva a la interrelación entre las partes orgánicas e inorgánicas de un objeto tan complejo como es un ecosistema. Del mismo modo, las interacciones químicas juegan también un papel relevante en la descripción de la biosfera.

La interdisciplina entre Biología, Física y Química puede extenderse apropiadamente a las ciencias sociales, si se toma en cuenta la interacción entre sus campos con el de la sociedad y sus valores.

Las interrelaciones temáticas entre las ciencias naturales y otras ciencias se abordan de acuerdo con el grado de desarrollo intelectual de los educandos. Por esto se puede afirmar que la exposición de los temas científicos que se contemplan es en espiral, iniciando con el nivel de profundidad propio para preescolar y continuando de manera ascendente y más profunda en los grados superiores de la escuela primaria.

El nivel de exposición de los temas de Biología, Física y Química que aquí se ofrece corresponde al de secundaria. La fundamentación de esta propuesta radica en que un profesor de primaria debe comprender las ciencias naturales a un nivel superior, para:

1. dominar con soltura e imaginación el contenido disciplinario científico del nivel primaria;
2. responder de manera correcta a las preguntas que sobre los temas científicos le puedan hacer sus alumnos; y

3. diseñar secuencias didácticas originales que conduzcan a los alumnos a un aprendizaje significativo de los conceptos básicos de las ciencias naturales y sus interrelaciones con otras ciencias y campos del conocimiento.

Lo anterior conduce necesariamente a que, en el aprendizaje efectivo de las ciencias, tan importante es el contenido disciplinario como la forma de su enseñanza. Por esta razón, en el apéndice que aparece al final de este libro se presenta un resumen de los contenidos mínimos que un estudiante de primaria debe conocer, así como los aprendizajes esperados. En cuanto a la manera de enseñar estos contenidos, con base en los conceptos de movimiento, interacción y energía, la sugerencia pedagógica es tener en cuenta que la mejor estrategia didáctica es la de enseñar la ciencia como se practica.

A esta estrategia de enseñanza se le conoce como Enseñanza de la Ciencia Basada en la Indagación (ECBI). Se trata de convertir al salón de clase en un laboratorio, a los alumnos en investigadores y al profesor en guía de la investigación científica ([www.pollen-europa.net](http://www.pollen-europa.net)).

La estrategia ECBI se practica en los países altamente desarrollados con el fin de ofrecer a los estudiantes de los niveles básicos una educación científica que los prepare para integrarlos en una sociedad moderna. Estos países actúan bajo la premisa de que la ciencia es una de las principales fuerzas económicas.

En estos términos, desde nuestra perspectiva, la estrategia ECBI debería ser impulsada con mayor determinación en los países con un incipiente desarrollo científico. Éstos tienen la doble tarea de salir de su atraso mejorando la educación científica desde los niveles básicos, y de consolidar su desarrollo en armonía social y con el ambiente.

Con el fin de colaborar en el esfuerzo para el logro del propósito anterior, se ofrece la presente obra.

LOS AUTORES

## LA METODOLOGÍA DE LAS CIENCIAS EMPÍRICAS

Las fuentes del conocimiento son múltiples y muy diversas: la experiencia, el sentido común, el arte en sus distintas manifestaciones, la reflexión filosófica, el intercambio dialógico con la alteridad, etcétera. Sin embargo, cuando hablamos del conocimiento científico y de su origen debemos indagar en otros lugares, pues este tipo de conocimiento se encuentra al margen de las fuentes arriba mencionadas, y por ende se le puede considerar algo especial. En buena medida, la particularidad de la ciencia que la hace admirable y le ha hecho destacar por encima de otro tipo de conocimientos es el enorme éxito que ha tenido, como una manera de indagar sobre la naturaleza del Universo, al dar explicación de los fenómenos del mundo y al permitirnos manipular, en cierta medida, a la naturaleza. La tecnología derivada del conocimiento científico es igualmente admirable: desde las maravillas arquitectónicas y de la ingeniería, los satélites y las naves espaciales, las computadoras capaces de realizar miles de cálculos complejos en billonésimas de segundo, las vacunas y las drogas sintéticas que controlan las bacterias parasíticas, hasta las terapias génicas que remplazan ADN en células defectuosas, la clonación, los organismos genéticamente modificados y la nanotecnología. Todos estos extraordinarios logros brindan testimonio a la validez del conocimiento científico del cual se originan y son prueba fehaciente de su potencial.

Otra característica del conocimiento científico es que surge por el consenso y acuerdo entre científicos, y por la forma en la que los nuevos conocimientos se desarrollan a partir de descubrimientos anteriores en vez de comenzar de cero. En este sentido, como ha señalado Laudan (1978), la ciencia es progresiva. Ciertamente los científicos no concuerdan entre ellos en todas las cosas y en cada punto; particularmente en cuestiones aún no establecidas, pero hay que aclarar que los puntos de desacuerdo, por lo general, no ponen en duda la totalidad del conocimiento previo. Por ejemplo, en la actualidad, los científicos no cuestionan que existan los átomos ni el hecho de que estén formados por partículas y subpartículas, o el que en el Universo existan millones de estrellas, o que la herencia se encuentre contenida en el ADN. Los científicos parten de puntos resueltos en el pasado con el fin de formular nuevas preguntas y resolverlas. Tampoco existe entre los científicos puntos de vista que sean radicalmente opuestos e irreconciliables, como sí ocurre entre distintas religiones, teorías filosóficas o los siempre cambiantes modos de la expresión artística.

Pero, ¿qué hace al conocimiento científico diferente de todas las otras actividades mediante las cuales aprendemos acerca del Universo y de nosotros mismos? Para dar respuesta a esta cuestión identificaremos algunos rasgos distintivos del conocimiento científico. Se explicará que la ciencia implica mucho más que el simple razonamiento inductivo, y se propondrá el método hipotético-deductivo como un paradigma para entender algunas características distintivas de la manera en la que los científicos proceden en su

quehacer. También se considerará el papel que juegan los mecanismos sociales usados en la práctica científica para distinguir la ciencia válida de la inválida. Para todo lo anterior se utilizarán ejemplos históricos para ilustrar aspectos relevantes de cómo el conocimiento científico se desarrolla y cómo funciona la demarcación en la práctica.

### **Características distintivas de la ciencia**

Una de las características que diferencia a la ciencia de otro tipo de conocimientos es que la ciencia busca la organización sistemática del conocimiento acerca del mundo. El sentido común, por ejemplo, comparte con la ciencia el que es una fuente que nos proporciona conocimiento acerca de fenómenos naturales, y este conocimiento es a menudo correcto. Así, el sentido común nos dice que si un niño se parece a un adulto del que va acompañado entonces este último debe ser su padre, o que para obtener una buena cosecha lo mejor es conseguir buenas semillas. Sin embargo, el sentido común no establece, de manera sistemática conexiones entre fenómenos que no están directamente relacionados. Al contrario, a la ciencia le interesa formular leyes generales que expliquen los fenómenos y crear teorías que manifiesten patrones de relaciones entre distintas clases de fenómenos. El desarrollo de la ciencia se debe, en muy buena medida, precisamente a este constante descubrimiento de nuevas relaciones entre los fenómenos, y a la integración de afirmaciones, leyes y teorías, que anteriormente parecían no estar relacionadas, en leyes y teorías más comprensivas.

Por otro lado, la ciencia busca explicar *por qué* los sucesos observados de hecho ocurren y por qué ocurren del modo en que lo hacen. Ahora, es cierto que también el conocimiento adquirido por la experiencia ordinaria es generalmente preciso; sin embargo, a diferencia de la ciencia, este tipo de conocimiento rara vez proporciona explicaciones de por qué los fenómenos ocurren de cierta manera. La experiencia práctica nos dice que los niños heredan rasgos tanto de madre como de padre, o que el abono y el riego adecuado incrementan la producción de una cosecha pero, cómo podemos ver, la experiencia práctica no va más allá ni nos proporciona explicaciones para estos fenómenos. La ciencia, en cambio, al profundizar en su indagación, precisamente formula explicaciones para los fenómenos naturales identificando las condiciones que hacen posible su acaecer.

La búsqueda de la organización sistemática del conocimiento y el tratar de explicar por qué los sucesos son como se observan, son dos características que distinguen a la ciencia del conocimiento adquirido por el sentido común. Pero estas características no son exclusivas de la ciencia, ni la ciencia es el único tipo de conocimiento sistemático; hay otras formas de conocimiento, tales como las matemáticas y la filosofía, que comparten estas particularidades. Sin embargo, hay una tercera característica que distingue a las ciencias empíricas de otras formas sistemáticas del conocimiento, ésta es que las explicaciones generadas por la ciencia son formuladas de tal manera que pueden ser sometidas a pruebas empíricas. Y es precisamente debido a este proceso que todo conocimiento científico incluye la posibilidad de ser sometido a la *refutación empírica*.

En ciencia, se le llama hipótesis a las nuevas ideas, propuestas de explicación o predicciones realizadas por uno o varios investigadores. Las pruebas a las que estas hipótesis son sometidas incluyen la contrastación de éstas con el mundo de la experiencia, de tal



manera que se abre la posibilidad de que cualquier hipótesis pueda ser rechazada si es el caso que ésta no es comprobable empíricamente y lleva a predicciones erróneas. Hay que resaltar el hecho de que una hipótesis que no puede ser sometida a esta posibilidad de refutación por observación y experimentación no puede ser considerada como científica.

Resumiendo, podemos definir a la ciencia de los siguientes modos: como “el conocimiento acerca del Universo formulado en forma de principios explicativos sostenidos por la observación empírica, y sujetos a la posibilidad de la refutación empírica”; como “la construcción de explicaciones plausibles, contrastables y, por lo tanto, refutables acerca de los fenómenos naturales y sociales”; o como “una exploración del universo material que busca relaciones naturales y ordenadas entre los fenómenos observados y que es autocrítica” (Simpson, 1964, p. 91). Entonces, queda claro ya cuáles son los rasgos que distinguen al conocimiento científico, y tenemos ya, aunque no sean definitivas, algunas definiciones sobre la ciencia y su naturaleza. A continuación se intentará explicar y demostrar que el *método inductivo* —del cual se dice que es el método seguido por los científicos— no es un método por el cual se pueda establecer la validez del conocimiento científico.

### La inducción en la ciencia

Es una idea común el que la ciencia avanza por “acumulación de hechos experimentales y extrayendo una teoría de ellos” (Jacob, 1988). Sin embargo, esta idea es falsa y está basada en la muy repetida aseveración de que la ciencia es inductiva. Esta idea se la debemos, en un principio, a Francis Bacon (1561-1626), pensador inglés que jugó un papel de enorme influencia en los inicios de la ciencia moderna por su crítica a las especulaciones metafísicas y a la filosofía escolástica medieval. Más adelante, en el siglo XIX, otro filósofo inglés, John Stuart Mill (1806-1873), se convirtió en el más apasionado y claro proponente del inductivismo. La inducción fue propuesta como un método para lograr la *objetividad* evitando las preconcepciones subjetivas, y para obtener conocimiento *empírico* en vez de abstracto o metafísico. En su forma extrema, el método inductivo sostiene que un científico debe observar todos los fenómenos que acontezcan en su experiencia y registrarlos sin ninguna preconcepción sobre qué observar o cuál sea la verdad acerca de ellos; se espera que así emerjan, eventualmente, verdades de validez universal. La metodología propuesta puede ser ejemplificada como sigue. Un científico midiendo y registrando todo lo que se le confronta, observa un árbol con hojas. Observa que un segundo árbol y un tercero, y muchos otros, tienen hojas. Eventualmente, formulará una afirmación universal del tipo: “todos los árboles tienen hojas”.

El método inductivo no logra explicar el proceso real de la ciencia ya que ningún científico trabaja sin proyecto preconcebido, como sería algo tan básico como el seleccionar su objeto de estudio. Los científicos escogen para sus estudios objetos o sucesos que probablemente les proporcionen las respuestas a las preguntas de su interés y esto hace que la investigación científica sea específica y muy puntual. Por ello, se explica el cómo a un mismo fenómeno u objeto de estudio, distintos científicos lo pueden estudiar desde muy diversas perspectivas y con muy distintas finalidades, como Darwin escribió: “uno puede igualmente ir a una mina de grava y contar los guijarros o describir sus colores” (1903). No sólo resulta imposible que un científico pueda registrar cuidadosamente cada evento observado en todos los momentos de vigilia de su vida, sino que, suponiendo que esto

sucediera, un trabajo así no contribuiría mucho al avance de la ciencia, pues la inducción así llevada a cabo no logra llegar a verdades universales. Lo anterior es por el hecho de que no importa cuántas afirmaciones singulares se acumulen, ninguna afirmación universal puede ser derivada lógicamente de tal acumulación de observaciones. Aun cuando todos los árboles observados hasta un momento dado tengan hojas, queda una lógica posibilidad de que el siguiente árbol no tenga hojas.

Las hipótesis científicas más interesantes y fructíferas no son simples generalizaciones de observaciones realizadas; por el contrario, las hipótesis científicas son creaciones de la facultad humana de la imaginación, es decir, son construcciones mentales que sugieren algo que podría ser cierto. Mendel, el fundador de la genética, observó en la prole de plantas híbridas que las características alternativas —por ejemplo, el color verde o amarillo de los chícharos con los que trabajaba— se segregaban de acuerdo a ciertas proporciones. Repetidas observaciones de estas proporciones nunca podrían haberle llevado inductivamente a la formulación de su hipótesis de que existen factores (genes) en las células sexuales que se combinan en la descendencia de acuerdo con ciertas reglas. Los genes no fueron observados y, por lo tanto, no podrían ser incluidos en afirmaciones que reflejen lo que Mendel observó. Si Mendel se hubiera apegado al método inductivo jamás habría llegado a imaginar y construir sus hipótesis.

Para cerrar entonces, cabe resumir que, como se ha visto, la inducción falla en los tres puntos arriba señalados: no es un método que asegure la objetividad ni evite las preconcepciones; no es un método adecuado para alcanzar la verdad universal; y no es una buena descripción del proceso por medio del cual los científicos formulan sus hipótesis y otras formas del conocimiento científico.

### **El método hipotético-deductivo**

Ya hemos señalado que la validez de una idea científica (una “hipótesis”) se establece derivando (“deducción”) sus consecuencias con respecto al mundo real y procediendo a averiguar si la predicción derivada es correcta o no. Se dice que el método científico es, por lo tanto, *hipotético-deductivo*. El análisis del método hipotético-deductivo se remonta a William Whewell (1794-1866) y a William Stanley Jevons (1835-1882) en Inglaterra, y a Charles S. Peirce (1838-1914) en Estados Unidos. La caracterización más precisa del método científico ha sido expuesta por Karl R. Popper (1959). Eminentes practicantes de este método incluyen a Blaise Pascal (1623-1662) y a Isaac Newton (1642-1727) en el siglo xvii, y, entre los biólogos del siglo xix, a Claude Bernard (1813-1878) y Louis Pasteur (1822-1895) en Francia, Charles Darwin (1809-1882) en Inglaterra, y Gregor Mendel (1822-1884) en Austria. Estos y otros grandes científicos practicaron el método hipotético-deductivo, aun cuando algunos de ellos —Darwin, por ejemplo— alegaban ser inductivistas con el fin de concordar con los debates de los filósofos contemporáneos.

El Premio Nobel François Jacob, describe como sigue la investigación en el Instituto Pasteur de París que lo llevó en la década de los cincuenta a uno de los descubrimientos fundamentales de la biología molecular:

Lo que hizo posible el análisis de la multiplicación de los bacteriófagos, y entender sus diferentes estadios, fue sobre todo el juego entre las hipótesis y los experimentos; entre

las construcciones de la imaginación y las inferencias que de ellas se derivaban. Comenzando con una cierta concepción del sistema, uno diseñaba un experimento para probar uno u otro aspecto de esta concepción. Dependiendo del resultado, se modificaba la concepción para diseñar otro experimento. Y así sucesivamente. Así es como la investigación funcionaba en biología. Contrariamente a lo que anteriormente pensaba, el progreso científico no consistía simplemente en observar, acumular hechos experimentales y extraer una teoría de ellos. Comenzaba con la invención de un mundo posible, o un fragmento de él, lo cual era entonces comparado por medio de la experimentación con el mundo real. Y era este constante diálogo entre la imaginación y la experimentación el que le permitía a uno formar una concepción cada vez más refinada de lo que llamamos realidad (Jacob, 1988, pp. 224-225).

De lo anterior podemos concluir que la ciencia es una compleja actividad que consiste esencialmente de dos episodios interdependientes: uno imaginativo o creativo, y otro crítico. Tener una idea, proponer una hipótesis o una explicación provisional es un ejercicio creativo. Pero las conjeturas científicas o hipótesis deben además estar sujetas a un examen crítico y a la contrastación empírica. Dicha contrastación permitirá decidir si la hipótesis puede seguirse aceptando o debería abandonarse. El pensamiento científico puede ser caracterizado como un proceso de invención o descubrimiento, seguido por su validación o confirmación. Uno de los procesos concierne a la formulación de nuevas ideas (“adquisición de conocimiento”), el otro concierne a su validación (“justificación del conocimiento”).

A los científicos, al igual que al resto de la gente, se les ocurren nuevas ideas; es decir, “adquieren” conocimiento de muy diversas maneras: de conversaciones, libros, de generalizaciones inductivas, a partir de observaciones o experimentos, de sueños y observaciones erróneas. Se dice que Newton fue inspirado por una manzana que cayó frente a él. Es probable que esto sea un mito, lo cierto es que no sabemos con exactitud cuáles fueron los motivos que llevaron a uno de los científicos más importantes en la historia de la ciencia a buscar una explicación que al mismo tiempo da cuenta de la caída de un objeto y de que la Luna se mantenga distante de la Tierra: la gravedad.

Las hipótesis y otras conjeturas imaginativas son el estado inicial de la investigación científica. Es la conjetura imaginativa de lo que puede ser verdadero lo que proporciona el incentivo para buscar la verdad y una clave de dónde podemos encontrarla (Medawar, 1967). Las hipótesis guían la observación y la experimentación porque sugieren qué es lo que debe ser observado. El trabajo empírico de los científicos es guiado por hipótesis, ya sea explícitamente formuladas o simplemente en la forma de conjeturas vagas o intuiciones acerca de cuál sea la verdad. Como podemos ver, la conjetura imaginativa y la observación empírica son procesos mutuamente interdependientes, se enriquecen y complementan uno a otro. Así como una hipótesis guía a las observaciones consecuentes que se harán para probar a esta primera, así también las observaciones hechas son a menudo la fuente de inspiración de nuevas conjeturas o hipótesis. Como lo describe Jacob, el resultado de un experimento a menudo inspira la modificación de una hipótesis y el diseño de nuevos experimentos para probarla.

Este proceso creativo-imaginativo no es exclusivo de los científicos. Por ejemplo, los filósofos y los artistas también realizan su obra a partir de un proceso creativo similar; ellos también proponen modelos de experimentación y también pueden generalizar por

inducción. Lo que distingue a la ciencia de otras formas de conocimiento es el proceso por el cual este conocimiento es justificado o validado, es su puesta a prueba ya en el mundo empírico o por otras hipótesis o teorías. Así que podemos entender el hecho de que la ciencia avanza autocorrigiéndose constantemente.

### **Verificabilidad y refutabilidad**

El requisito de que una hipótesis científica pueda contrastarse con la naturaleza y si es el caso rechazarse, esto es, que sea refutable y no simplemente verificable, podría hacer parecer que el propósito de la ciencia es el establecer la verdad de las hipótesis antes que intentar refutarlas, mas no es así. Hay una asimetría entre la refutabilidad y la verificabilidad de las afirmaciones universales que se deriva de la naturaleza lógica de dichas afirmaciones. Puede mostrarse que una proposición universal es falsa si es inconsistente con una sola proposición singular. Recordemos el ejemplo del argumento que concluye de manera falaz que “todos los árboles tienen hojas”, antes mencionado, y que nos ilustra sobre lo ya señalado acerca de la inducción: una afirmación universal nunca puede ser probada como verdadera por virtud de la verdad de afirmaciones particulares, no importando qué tan numerosas sean éstas.

### **Contingencia y certeza en la ciencia**

Debido al progreso de la ciencia y a que ésta se desarrolla superando y enriqueciendo sus postulados, es que las hipótesis científicas sólo pueden ser aceptadas provisionalmente, ya que su verdad nunca puede ser establecida de manera concluyente. Esto no significa que tengamos el mismo grado de confianza en todas las hipótesis que no han sido aún refutadas. Se puede decir que una hipótesis está “probada” o “corroborada” cuando ha pasado por muchas contrastaciones empíricas. Pero, cabe aclarar: el grado de corroboración, más que una cuestión cuantitativa, es una cuestión cualitativa, es decir, el grado de corroboración no es simplemente cuestión del número de contrastaciones, sino de su severidad. Las pruebas severas son precisamente aquellas que probablemente darán resultados incompatibles con la hipótesis si la hipótesis es falsa. Cuanto más precisas sean las predicciones contrastadas, más severo será el examen. Una contrastación crítica o crucial es un experimento para el cual se dan hipótesis antagonistas que predicen resultados alternativos y mutuamente excluyentes. Una contrastación crítica, por lo tanto, corroborará una hipótesis y refutará las otras.

Resulta obvio el que cuanto mayor sea la variedad de contrastaciones severas a las que se resista una hipótesis, mayor será su grado de corroboración. Las hipótesis o teorías pueden, de este modo, llegar a ser establecidas sin que se les pueda poner en duda razonablemente. Un ejemplo importante es la forma en que se ha validado la teoría darwinista de la evolución. Las pruebas que encontró el propio Darwin y las que se han acumulado en los años siguientes han permitido entender que la evolución es un hecho. Es importante aquí reconocer la diferencia entre el descubrimiento de un hecho y la explicación del mismo. En el caso de la evolución, la ciencia ha demostrado que los seres vivos se han transformado desde que se originó la vida (de esto no hay ninguna duda razona-

ble), pero es distinto lo que ocurre con la teoría que explica los mecanismos por los que el proceso de transformación de las especies ocurre. En este ámbito sí hay discusiones importantes. Un ejemplo son las distintas concepciones que se debaten en torno a si la selección natural puede actuar a nivel de grupo o sólo a nivel individual. Con respecto a las discusiones sobre si hay o no un proceso evolutivo, que han provenido fundamentalmente de planteamientos religiosos, cabe decir que las críticas que se hicieron en tiempos de Darwin y las que se han realizado recientemente han sido superadas gracias al avance de la biología y de otras ciencias. Más adelante explicaremos con mayor detalle el evolucionismo y su desarrollo.

### Hecho" y "teoría" en la ciencia

Los científicos algunas veces se refieren a las hipótesis o modelos científicos que se han establecido más allá de duda razonable como "hechos". Por ejemplo, se dice que la composición molecular de la materia, la doble hélice del ADN, y la evolución de los organismos son hechos. La posibilidad teórica de que estas y otras hipótesis puedan ser incorrectas permanece como una abstracción, pero han sido confirmadas de tantas formas y se ha construido tanto conocimiento sobre su base, que sería totalmente irracional esperar que se probará en un futuro que estas hipótesis son incorrectas.

Los científicos, sin embargo, algunas veces se refieren a una hipótesis bien establecida o explicación llamándola "teoría" o "modelo". Por ejemplo, se habla de la "teoría molecular de la materia" o de la "teoría de la evolución". Estas expresiones no ponen en duda que el conocimiento en cuestión esté bien corroborado, puesto que en el uso científico el término "teoría" a menudo implica un cuerpo de conocimiento, un grupo de explicaciones y principios relacionados entre sí, y los hechos que los sostienen. El uso científico difiere en esto, como en muchos otros casos, del uso común. En el lenguaje común, una "teoría" es un hecho imperfecto, una explicación para la cual hay muy poca o ninguna evidencia, como en la afirmación: "yo tengo mi propia teoría sobre 'x' asunto".

### El método científico en la práctica

El modelo de práctica científica que hemos bosquejado puede ser ejemplificado *ad infinitum* en la historia de la ciencia. Ejemplos bien conocidos son los experimentos de Galileo y de Newton demostrando las leyes del movimiento. Otro caso paradigmático es el de Darwin, quien afirma en su "Autobiografía" y muchos otros escritos el haber seguido los cánones inductivistas; pero los hechos son muy distintos de estas afirmaciones. Las notas de Darwin y su correspondencia privada muestran que formuló la hipótesis de la transmutación evolutiva de las especies tiempo después de haber vuelto de su viaje en el *Beagle*. Es indudable que estaba contrastando las ideas vigentes en ese tiempo acerca del origen de las especies, esto es, la historia bíblica de la creación, con las observaciones que realizó en su viaje por los mares alrededor del mundo. Dichas observaciones contradecían diversos planteamientos bíblicos. Por ejemplo, Darwin escribió en uno de sus cuadernos de notas (1837) que la distribución biogeográfica de las especies podría ser mejor explicada si se toman en cuenta los mecanismos que tienen los diferentes organismos

para dispersarse, que aceptando la idea de una creación especial en cada caso. Asimismo planteó que la ausencia de anfibios en las islas Galápagos se explica por falta de resistencia al agua salada de estos organismos, en vez de la idea de que Dios no los hubiera creado en dichas islas por falta de poder. Esto significa que Darwin abandonó la teoría del creacionismo que muchos científicos contemporáneos a él aún aceptaban, la de un Dios omnipotente, creador de todas las especies, incluida la humana. A partir del trabajo del padre de la teoría evolucionista, la ciencia y la religión quedan separadas para siempre.

Por otro lado, la hipótesis de la selección natural se le ocurrió en 1838 —varios años antes de admitir haberse permitido el lujo de “especular sobre el asunto”—. Entre el regreso del *Beagle* el 2 de octubre de 1836, y la publicación de *El origen de las especies* (y de hecho hasta el final de su vida), Darwin persiguió inexorablemente evidencia empírica para corroborar el origen evolutivo de los organismos, y para contrastar su teoría de la selección natural.

¿Por qué esta disparidad entre lo que Darwin hacía y lo que afirmaba? Hay por lo menos dos razones. Primero, en aquellos tiempos, el término “hipótesis”, era generalmente reservado para especulaciones metafísicas sin contenido empírico. Ésta es la razón por la que Newton, el mayor teórico de todos los científicos, también afirmaba: *hypotheses non fingo* (“yo no fabrico hipótesis”). Darwin expresaba disgusto y, más aun, desprecio por las hipótesis que no pueden ser contrastadas empíricamente. Hay otra razón: una razón de táctica, de por qué Darwin afirmaba proceder de acuerdo con los cánones inductivistas. Él no quería ser acusado de sesgos subjetivos en la evaluación de la evidencia empírica. Esto se muestra en una carta que escribe en 1863 a un joven científico: “Yo le sugeriría a usted la ventaja, por ahora, de ser muy comedido en introducir teoría en sus trabajos; deje que la teoría guíe sus observaciones, pero sea parco en publicar teoría hasta que su reputación esté bien establecida, porque si no las personas dudarán de sus observaciones” (F. Darwin 1903, 2:3 23; véase también Hull, 1973). De manera semejante, los científicos de hoy en día reportan con frecuencia sus trabajos de manera que hacen parecer sus hipótesis como conclusiones derivadas de la evidencia que acaban de observar, en vez de presentarlas como preconcepciones contrastadas por observaciones empíricas.

Darwin rechazaba la afirmación inductivista de que las observaciones no deberían estar guiadas por las hipótesis. El enunciado citado anteriormente, “un hombre pudiera igualmente ir a una mina de grava y contar los guijarros o describir sus colores”, es seguida por esta observación significativa: “qué extraño es que cualquiera pueda no ver que todas las observaciones deben estar a favor o en contra de algún punto de vista si van a servir a algún propósito” (F. Darwin, 1903, 1, p. 195). Él reconocía el papel heurístico de las hipótesis, las cuales guían la investigación empírica diciéndonos qué es lo que merece ser observado, qué evidencia buscar. E incluso confiesa: “No puedo evitar formular una [hipótesis] sobre cada tema” (Darwin, 1958, p. 141).

Darwin era un excelente practicante del método hipotético-deductivo de la ciencia, como los estudiantes actuales de Darwin han mostrado abundantemente (DeBeer, 1964; Mayr, 1964; Ghiselin, 1969; Hull, 1973). Darwin avanzaba hipótesis en muchos campos, incluyendo geología, morfología y fisiología de plantas, psicología y evolución, y sometía sus hipótesis a contrastación empírica. “La línea de argumentación frecuentemente seguida en mi teoría, es el establecer un punto como probable por inducción y aplicarlo como una hipótesis a otras para ver si las resuelve” (Darwin, 1960). Popper (1934) no só-

lo ha puesto claro que la refutabilidad es el criterio de demarcación que separa las ciencias empíricas de otras formas de conocimiento, sino también que la refutación de hipótesis aparentemente verdaderas contribuye al avance de la ciencia. Darwin reconoció esto: “Los hechos falsos son altamente injuriosos para el progreso de la ciencia, ya que frecuentemente perduran, pero propuestas erróneas apoyadas por alguna evidencia no ocasionan gran daño, ya que todo el mundo encuentra un sano placer en probar su falsedad; cuando esto sucede, se cierra el camino hacia el error y al mismo tiempo se abre el camino hacia la verdad” (Darwin, 1871, 2ª ed., p. 606).

Algunos filósofos de la ciencia han afirmado que la biología evolutiva es una ciencia histórica que no necesita satisfacer los requisitos del método hipotético deductivo. La evolución de los organismos, se ha argumentado, es un proceso histórico que depende de eventos únicos e impredecibles y, por lo tanto, no está sujeto a la formulación de teorías e hipótesis contrastables. Dichas afirmaciones emanan de un malentendido monumental. Hay dos tipos de cuestiones en el estudio de la evolución biológica (Dobzhansky, 1951, pp. 11-12). Unas conciernen a la historia: el estudio de la filogenia, el desenmarañamiento y descripción del curso actual de la evolución sobre la Tierra, que ha conducido al estado actual del mundo biológico. Las disciplinas científicas que contribuyen al estudio de la filogenia incluyen a la sistemática, paleontología, biogeografía, anatomía comparada, embriología comparada y bioquímica comparada. El segundo tipo de cuestiones concierne a la elucidación de los mecanismos o procesos que causan el cambio evolutivo. Estas cuestiones tratan con las relaciones causales más que con las históricas. La genética de poblaciones, la ecología de poblaciones, la paleobiología y muchas otras ramas de la biología, son las disciplinas relevantes.

Puede haber cierta duda de que el estudio causal de la evolución proceda mediante la formulación y la contrastación empírica de las hipótesis, de acuerdo con la misma metodología hipotético-deductiva característica de las ciencias fisicoquímicas y otras disciplinas que se ocupan de los procesos causales. Pero aun el estudio de la historia evolutiva se basa en la formulación de hipótesis empíricamente contrastables. Consideremos un sencillo ejemplo. Durante muchos años los especialistas mantenían que el linaje evolutivo que conducía hacia la especie humana se separó de los linajes que conducen hacia los grandes monos (chimpancé, gorila, orangután) antes de que los linajes de los grandes monos se separaran entre sí. Algunos autores recientes han sugerido, por el contrario, que el hombre, los chimpancés y los gorilas están más cercanamente relacionados entre sí, que el chimpancé y el gorila al orangután. Un gran número de predicciones empíricas pueden ser derivadas lógicamente de estas hipótesis. Una predicción concierne al grado de similitud entre enzimas y otras proteínas. Se sabe que la tasa de sustitución de aminoácidos es aproximadamente constante, cuando se toman en cuenta muchas proteínas y largos periodos de tiempo. Si la primera hipótesis es correcta, el grado promedio de diferenciación debería ser mayor entre el hombre y los monos africanos, que entre éstos y los orangutanes. Por otro lado, si la segunda hipótesis es correcta, el hombre y los chimpancés deberían presentar una mayor similitud proteínica que la que presentan cualquiera de los dos con los orangutanes. Estas predicciones alternativas proporcionan una contrastación empírica crítica de las hipótesis. Los datos disponibles favorecen la segunda hipótesis. El hombre, los chimpancés y los gorilas parecen estar más relacionados filogenéticamente entre sí, que como lo están cualquiera de ellos con los orangutanes.

Ciertas disciplinas biológicas importantes para el estudio de la evolución son principalmente descriptivas. La descripción y la clasificación son actividades necesarias en todas las ramas de la ciencia, pero juegan un papel más importante en ciertas disciplinas biológicas como la sistemática y la biogeografía, si se compara con otras disciplinas, como la genética de poblaciones. Sin embargo, aun la sistemática y la biogeografía utilizan el método hipotético-deductivo y formulan hipótesis empíricamente contrastables.

### Remplazamiento de teorías: la mecánica newtoniana y Einstein

Como ya hemos dicho, la ciencia es progresiva, y esto puede observarse en que las teorías que son aceptadas en un momento dado pueden ser rechazadas después. Sin embargo, es más común aún, particularmente en las disciplinas bien desarrolladas, que una teoría que explica mucho de lo que se sabe sea eventualmente remplazada por otra teoría distinta que explica los mismos fenómenos, así como otros más que la primera dejaba sin explicar. Un ejemplo que ilustra estas dos situaciones es la teoría de Newton sobre el movimiento, que fue remplazada por la teoría de Einstein de la relatividad.

El avance científico ocurre no sólo por medio del remplazo de una teoría errónea por una correcta, sino también por el remplazo de una teoría correcta en lo general por otra más precisa o más inclusiva. Como es común en el progreso del conocimiento científico, las predicciones hechas por la teoría anterior son en general correctas, además de que dicha teoría ha pasado numerosas contrastaciones y ha sido generalmente aceptada. Pero es remplazada cuando llega una nueva teoría científica capaz de explicar los fenómenos que la teoría previa había dejado sin explicar. En algunos casos, esto ocurre porque la nueva teoría es mucho más general y es capaz de explicar fenómenos explicados por teorías diferentes o, más aun, por disciplinas distintas.

En el caso de Einstein *vis à vis* Newton, es particularmente interesante que las afirmaciones fundamentales de la teoría newtoniana —e.g., “la masa es constante, y el espacio y el tiempo son realidades absolutas”— son rechazadas por la teoría de la relatividad. Sin embargo, con respecto a los cuerpos con masa intermedia y velocidades intermedias (esto es, los cuerpos y movimientos que se observan en el curso de la experiencia ordinaria), las teorías de Newton y Einstein hacen predicciones prácticamente idénticas.

El conocimiento científico avanza frecuentemente por la sustitución y suplementación de una teoría por otra más completa, más precisa, e incluso más comprensible. De este modo, la teoría moderna de la genética, por ejemplo, identifica circunstancias que son excepciones a la segunda ley de Mendel; ha definido la composición química de los genes; ha integrado ideas originalmente formuladas por la teoría celular; y ha integrado la teoría de Darwin en una subdisciplina conocida como genética de poblaciones.

### Ciencia normal y revoluciones científicas

La idea fundamental de Kuhn (1962) es que la ciencia se desarrolla en dos etapas: una que denomina *ciencia normal*, y otra llamada *ciencia revolucionaria*. La primera está caracterizada por la acumulación del conocimiento dentro de los cauces establecidos por una comunidad científica; en la segunda se rompe con esos cauces y se establecen nue-



vas concepciones teóricas y metodológicas. Estas concepciones sobre la naturaleza (teorías y conceptos) y la forma en que se llegó a ellas (métodos) constituyen lo que Kuhn denomina paradigmas. Cuando un paradigma substituye a otro, lo que hace es rebatir sus planteamientos teóricos y metodológicos. Que un paradigma sustituya a otro implica que una comunidad científica adopte sus planteamientos teóricos y metodológicos para llevar a cabo su indagación sobre el sector de la naturaleza que le ocupa. Entonces el consenso de la comunidad científica define si las nuevas teorías son constitutivas de un paradigma.

Kuhn sostiene que su propuesta historiográfica se basa en la generalización de los casos estudiados en la historia de la ciencia, tanto respecto al desarrollo de la ciencia normal como a los momentos de crisis que conducen a las revoluciones científicas (1975, pp. 20-32). Para Kuhn, la ciencia normal consiste en la investigación basada, sin cuestionamientos, en los paradigmas aceptados por una comunidad científica; es una actividad para resolver enigmas altamente acumulativa, que ha tenido éxito eminente en su objetivo: la extensión continua del alcance y la precisión de los conocimientos científicos (1975, p. 92). Pero aún más interesante para Kuhn es cuando acontecen las transformaciones de los paradigmas, pues éstas son revoluciones científicas y la transición sucesiva de un paradigma a otro por medio de una revolución es el patrón usual de desarrollo de una ciencia madura (1975, p. 36).

Kuhn considera la actividad normal de los científicos como una que tiene como fin resolver enigmas. Es importante precisar que los enigmas son como rompecabezas, problemas que ponen a prueba al científico mas no al paradigma. Si el investigador no puede resolver un problema aplicando el paradigma, esto se debe a su incapacidad y no a que el paradigma sea incorrecto. Para explicar esta posición, Kuhn pone de ejemplo las normas del juego de ajedrez. Si un jugador falla, lo que se demuestra es que el jugador no es un buen ajedrecista y no que las normas del juego están mal. La prueba de su error es que otro científico pueda explicar el problema aplicando el mismo paradigma. Pero, ¿cuándo es el caso en que un enigma se convierte en anomalía? Es decir, ¿cuándo se demuestra que es la limitación del paradigma lo que impide resolver el problema y no otra cosa? Sólo cuando se presenta un nuevo paradigma que es capaz de resolverlo. Por lo tanto, el enigma para Kuhn es un problema que la ciencia normal resuelve con la aplicación de un paradigma aceptado; la anomalía es el problema que obliga al cambio de paradigma.

Kuhn utiliza el término *paradigma* en dos sentidos: como sinónimo de teoría y como logro teórico-metodológico que una comunidad científica avala.

Desde su postura, en las primeras etapas del desarrollo de cualquier ciencia, diferentes personas describen e interpretan la misma gama de fenómenos —si bien no los mismos fenómenos particulares— de modos diferentes. Lo que es sorprendente es que esas divergencias iniciales puedan llegar a eliminarse con el tiempo. Lo importante aquí es que se extinguen por el triunfo de una de las escuelas que competían por constituir en hegemónico el nuevo paradigma (1975, p. 42). Puede decirse que se establece una competencia entre paradigmas alternativos y el consenso de la comunidad científica define cuál es el paradigma que aceptará como modelo científico.

Los paradigmas obtienen su posición (*status*) como tales debido a que tienen más éxito que sus competidores para resolver unos cuantos problemas que el grupo de profesionales ha llegado a reconocer como importantes. Entonces, hay dos momentos en la constitución de un paradigma: un primer momento en el que el paradigma fue capaz

de resolver el enigma que se convirtió en anomalía para el paradigma anterior; y otro en el que se establece como ciencia normal. En suma, si una teoría, por revolucionaria que sea, no se convierte en tradicional, no llega a constituirse en paradigma. Para Kuhn:

Casi ninguna de las investigaciones emprendidas —aun las de los más grandes científicos— está destinada a ser revolucionaria; sólo una fracción muy pequeña de ésta es de naturaleza revolucionaria. Por el contrario, incluso la investigación normal de mejor calidad es una actividad en su mayor parte convergente, fincada sólidamente en un consenso establecido, adquirido este último de la educación científica y fortalecida por la práctica de la profesión. Regularmente, esta investigación convergente o basada en el consenso desemboca en la revolución. Entonces, las técnicas y las creencias tradicionales se abandonan para reemplazarlas por las nuevas. Pero los cambios revolucionarios de una tradición científica son relativamente raros, y épocas prolongadas de investigación convergente son sus preliminares necesarios... sólo las investigaciones cimentadas firmemente en la tradición científica contemporánea tienen la probabilidad de romper esa tradición y dar lugar a otra nueva (1982, p. 250).

Podemos ver que para Kuhn la etapa revolucionaria es tan importante como la tradicional (ciencia normal) para el desarrollo del conocimiento científico. De ahí su afirmación de que en las ciencias maduras, el preludio a descubrimientos importantes y a teorías nuevas no es la ignorancia, sino el reconocimiento de que algo anda mal en lo que se sabe y en lo que se cree (1982, p. 258).

Cabe señalar que la historiografía de Kuhn muestra varias coincidencias con la de Popper. En primer lugar ambos autores comparten una concepción deducccionista del desarrollo de la ciencia. Kuhn, igual que Popper, considera que una teoría no surge de una observación pura: “los descubrimientos dentro de las ciencias maduras no ocurren independientemente del pasado. Por lo contrario, surgen de teorías antiguas y dentro de la matriz de creencias añejas acerca de los fenómenos que el mundo contiene y no contiene. De ordinario, tales novedades son tan esotéricas y recónditas que no las nota el individuo desprovisto de gran adiestramiento científico” (1982, p. 257). Otra coincidencia es que Popper y Kuhn se interesan en el proceso de obtención del conocimiento científico y no en la estructura lógica de las teorías científicas, lo cual los lleva a dar una gran importancia a la historia de la ciencia. Igualmente, ambos rechazan la concepción de que la ciencia progresa por acumulación, y subrayan los procesos revolucionarios durante los cuales la teoría antigua es rechazada y remplazada con otra nueva e incompatible.

Popper coincide con Kuhn en la existencia de una ciencia normal, pero mientras Kuhn la considera como fundamental para el avance de la ciencia, Popper destaca sus peligros. “Al ‘científico normal’, tal como lo describe Kuhn, se le ha enseñado mal. Se le ha enseñado dentro de un espíritu dogmático: ha sido víctima de indoctrinación. Ha aprendido una técnica que puede aplicarse sin preguntar por qué puede aplicarse... El éxito del ‘científico normal’ consiste, por entero, en mostrar que la teoría dominante puede ser adecuada y satisfactoriamente aplicada para alcanzar la solución del rompecabezas (o acertijo) en cuestión” (Popper, 1975). Y esto no significa que para Popper no exista lo que Kuhn denomina “ciencia normal”, sino que tiene poca importancia en el desarrollo de la ciencia; en todo caso lo frena. Para Popper, los verdaderos científicos son revolucionarios en cada momento de su vida; no hay dos etapas, una dogmática, en la que se remiten

a explicar o ampliar las teorías o paradigmas y otra en la que rompen con ellos. En cambio, para Kuhn, el científico es revolucionario cuando es capaz de romper con tales dogmas; en su actividad normal es tradicional y sólo trata de resolver rompecabezas con reglas aceptadas.

### Los programas de investigación

Por último, hablaremos brevemente de Imre Lakatos (1922-1974), sucesor de Popper en la Escuela de Economía de Londres y que tuvo como una de sus principales intenciones afinar los conceptos y extender el campo de aplicación de dicha tradición, la popperiana.

La historiografía de Lakatos parte de la crítica de los postulados fundamentales de Popper, aunque coincide con éste en la interpretación deducccionista del proceso de desarrollo de la ciencia y en la inexistencia de un método distintivo del conocimiento científico. Igual que Popper, Lakatos se propone entender las condiciones que caracterizan el desarrollo científico. Sin embargo, cuestiona el postulado fundamental de Popper que dicta que la ciencia se desarrolla a partir del planteamiento de conjeturas que, si son refutadas empíricamente, obligan a elaborar nuevas conjeturas.

Para Lakatos, las metodologías son más bien sinónimo de “lógicas del descubrimiento” y consisten solamente en un conjunto de reglas para la evaluación de teorías articuladas y puestas ya a punto. Es decir, Lakatos, como Popper, afirma que las metodologías modernas no proveen a la ciencia de una heurística productora de conocimiento, sino de una forma de valoración del conocimiento ya obtenido. Los sistemas de evaluación sirven como “teorías de la racionalidad científica”, “criterios de demarcación” o “definiciones de ciencia”. Dichas metodologías reconstruyen la historia interna de la ciencia con el fin de ofrecer una explicación racional del desarrollo del conocimiento (Lakatos, 1975, pp. 456-457). Pero la metodología de Popper, según Lakatos, no toma en cuenta la historia de la ciencia. Al revisar lo que ha sucedido en la realidad, Lakatos encuentra una actitud de persistencia entre los defensores de una teoría, a pesar de que se encuentren observaciones o resultados experimentales prohibidos: “Confiar en la contrastación como si se tratase del sello que distingue a la ciencia es omitir lo que los científicos hacen generalmente y, con ello, omitir el rasgo más característico de su actividad”, esto es, su capacidad heurística.

La ciencia para Lakatos no es un conjunto de ensayos y errores, una serie de conjeturas y refutaciones, pues observa que su desarrollo no sólo no se debe a algo tan simple, sino que es mucho más complejo. La afirmación “Todos los cisnes son blancos” puede ser falseada por el descubrimiento de un cisne negro. La ciencia newtoniana, por ejemplo, no es sólo un conjunto de cuatro conjeturas (las tres leyes de la mecánica y la ley de la gravitación). Esas cuatro leyes sólo constituyen el “núcleo firme” del programa newtoniano. Pero este núcleo firme está tenazmente protegido contra las refutaciones mediante un gran “cinturón protector” de hipótesis auxiliares. Y, lo que es más importante, el programa de investigación tiene también una heurística; esto es, una poderosa maquinaria para la solución de problemas que, con la ayuda de técnicas matemáticas sofisticadas, asimila las anomalías e incluso las convierte en evidencia positiva. En este sentido, la propuesta de Lakatos es que los científicos se plantean problemas que intentan resolver proponiendo, más que una hipótesis, un programa de investigación. No sólo presen-

tan una teoría para explicar el fenómeno que les preocupa, sino que además elaboran una serie de teorías secundarias que protegen “el centro firme del programa”. Por ello, la unidad básica de análisis no debe ser una teoría aislada ni una conjunción de teorías, sino más bien un “programa de investigación” con un “centro firme” convencionalmente aceptado y con una heurística positiva que defina problemas, esboce la construcción de un cinturón de hipótesis auxiliares, prevea anomalías y las transforme en ejemplos victoriosos; todo ello según un plan preconcebido.

### A manera de conclusión

Evidentemente muchas cosas han quedado en el tintero; se han omitido muchos casos y la referencia a muchos otros científicos y filósofos de la ciencia. Sin embargo, el esbozo aquí ofrecido puede bastar como un primer acercamiento a la reflexión sobre qué es el conocimiento científico, cuál es su método y cómo ha progresado la ciencia en el transcurso de la historia.

Para cerrar se hará referencia a un filósofo que ha dedicado gran parte de sus investigaciones a hacer filosofía de la ciencia y que aún sigue trabajando en nuestros días: Larry Laudan. En su libro *Progress and its Problems* (1978), Laudan nos dice que la ciencia es “esencialmente una actividad que pretende, y de hecho logra, solucionar problemas” (p. 11). Afirma —al igual que Kuhn, Popper y Lakatos— que la ciencia es, de hecho, progresiva, y que el progreso en la ciencia reside principalmente en una constante elección de las teorías más apropiadas por sobre otras teorías con las que compiten. Pero, más que profundizar en la cuestión del remplazo de unas teorías por otras más adecuadas, lo que le interesa a Laudan es ir más allá de esta afirmación y formular un modelo del progreso científico. Esto es, explicar el progreso en la ciencia de un modo distinto a lo hecho hasta ahora. Para Laudan, el progreso de la ciencia consiste en el incremento de la efectividad que las teorías van presentando para resolver los problemas que se han puesto como objeto, ya sean éstos empíricos o conceptuales (p. 68). Esta efectividad es determinada por el número y la importancia de los problemas empíricos que una teoría alcanza a resolver, lo mismo que por el número y la importancia de las anomalías y los problemas conceptuales que estas teorías generan. Lo que importa a Laudan, más allá de reflexionar sobre el progreso de las teorías, es explicar el progreso de las tradiciones de investigación o de los “programas de investigación” (como los llamaba Lakatos). Laudan, a diferencia de otros filósofos de la ciencia y de muchas teorías clásicas sobre el tema, no piensa en el progreso de la ciencia desde una postura ontológica, es decir, no asocia el progreso de la ciencia a una especie de acercamiento progresivo hacia “la Verdad”, pues para él no hay modo de saber si la ciencia se está acercando o no a la Verdad (p. 127), e incluso duda, como buen filósofo y como precavido científico, sobre si existe algo así como “la Verdad”. Sin embargo, nos dice que de lo que sí podemos estar seguros es de que la ciencia es racional y progresiva, y que, por ende, deberíamos buscar el modo de definir estas cualidades sin la necesidad de relacionar a la ciencia con un supuesto “acercamiento a la Verdad”. Para esto —no es ninguna sorpresa—, Laudan considera que su propuesta de definir a la ciencia como una actividad que resuelve problemas es el mejor punto de partida.

De algún modo, lo que podemos observar desde esta postura es que reflexionar sobre el conocimiento científico y querer definir a la ciencia sigue siendo una labor que nos

reta y enfrenta a problemas cada vez más complejos y multidisciplinarios, que se habrán de buscar solucionar de manera innovadora y comprometida. En la actualidad sería un sinsentido negar que a la ciencia le debemos casi todo lo que distingue a nuestra cultura contemporánea de las del pasado. La ciencia es el fundamento de la tecnología a la que cada vez nos volvemos más asiduos y dependientes; la ciencia también ha ido absorbiendo a las otras disciplinas productoras de conocimiento (la historia, la psicología, la sociología, la geografía, la filosofía, la economía, etc.) de manera que cada vez es más difícil distinguir dónde comienzan y dónde terminan los límites entre una y otras. La ciencia se ha vuelto en nuestros días tan omnipresente e influyente que incluso ha permeado ya a las dos disciplinas que permanecían un tanto al margen de ella: la ética y la estética. El maridaje de las dos anteriores con la ciencia se manifiesta en dos nuevas formas de abordar los problemas concernientes a cada una de ellas desde la óptica científica: la Bioética y el Bioarte, dos apasionantes nuevas vías de investigación que están en plena construcción de sus edificios teóricos y metodologías.

De lo que no hay duda es de que la ciencia sigue su curso y nosotros podemos ser parte —como científicos o como usuarios del conocimiento que de ella emana— de este progreso y de esta historia que no se detiene y de la que aún no sabemos, ni tal vez sospechamos, los nuevos horizontes que en el futuro se descubrirán.

## Bibliografía

- Ayala, F. J., "Biology as an Autonomous Science", *American Scientist*, núm. 56, 1968, pp. 207-221.
- , "Philosophical Issues", en Th. Dobzhansky, F. J. Ayala, G. L. Stebbins y J. Valentine (comps.), *Evolution*, San Francisco, California, Freeman, 1977, pp. 474-516.
- , "On the Scientific Method, its Practice and its Pitfalls", *History and Philosophy of Life Sciences*, 16.2, 1994, 205-240.
- Bradie, M. "The Evolution of Scientific Lineages", *Philosophy of Science Association*, núm. 2, 1986, pp. 245-254.
- Campbell, D. T., "Evolutionary Epistemology", en P. A. Schilpp (comp.), *The Philosophy of Karl Popper*, vol. I. La Salle, Illinois, Open Court, 1974, pp. 413-463.
- , "Variación injustificada y retención selectiva en los descubrimientos científicos", en F. J. Ayala y Th. Dobzhansky (comps.), *Estudios sobre la filosofía de la biología*, Barcelona, Ariel, 1983, pp. 188-217.
- Darwin, C., *The descent of man and selection in relation to sex* (2ª ed., 1889), Londres, Murray, 1871.
- , *The Autobiography of Charles Darwin (1809-1882)*, N. Barlow (comp.), Londres, Collins, 1958.
- , *Darwin's notebooks on transmutation of species*, G. De Beer (comp.), Bull. Brit. Mus., 2, 1960, pp. 23-200.
- Darwin, F., *More Letters of Charles Darwin*, vol. 1, Londres, Murray, 1903.
- De Beer, G., *Charles Darwin, A Scientific Biography*, Nueva York, Doubleday, Garden City, 1964.
- Dobzhansky, Th., *Genetics and the Origin of Species*, Nueva York, Columbia University Press, 1937.
- Dupré, J., "Scientific Pluralism and the Plurality of the Sciences. Comments on David Hull's Science as a Process", *Philosophical Studies*, núm. 60, 1990, pp. 61-76.
- Ghiselin, M. T., *The Triumph of the Darwinian Method*, University of California Press, 1969.
- Hull, D., *Darwin and his Critics*, Cambridge, Massachusetts, Harvard University Press, 1973.
- , *Science as a Process. An Evolutionary Account of the Social and Conceptual Development of Science*, Chicago, University of Chicago Press, 1988.
- Jacob, F., *The Statue Within. An autobiography*, Nueva York, Basic Books, 1988, pp. 224-225.
- Kuhn, T., *The Structure of Scientific Revolutions*, Chicago, University of Chicago Press, 1962.

- , “Lógica del descubrimiento o psicología de la investigación”, en I. Lakatos y A. Musgrave (comps.), *La crítica y el desarrollo del conocimiento*, Barcelona y México, Grijalbo, 1975, pp. 81-111.
- , *La tensión inicial*, México, FCE, 1982.
- Lakatos, I., “Criticism and the Methodology in Science Research Programmes”, *Proceedings of the Aristotelian Society*, núm. 69, 1968, pp. 149-186.
- , “La falsación y la metodología de los programas de investigación científica”, en I. Lakatos y A. Musgrave (comps.), *La crítica y el desarrollo del conocimiento*, Barcelona y México, Grijalbo, 1975, pp. 203-343.
- , *La historia de la ciencia y sus reconstrucciones racionales*, Madrid, Tecnos, 1987.
- Laudan, L., *Progress and its Problems*, University of California Press, 1978.
- Mayr, E., *Animal Species and Evolution*, Cambridge, Cambridge University Press, 1963.
- McMullin, E., “Progress and its Problems by Larry Laudan”, *Philosophy of Science*, vol. 46, núm. 4, University of Chicago Press, 1979, pp. 623-644.
- Medawar, P. B., *The Art of the Soluble*, Londres, Methuen, 1967.
- Nagel, E., *The Structure of Science*, Nueva York, Harcourt, Brace and World, 1961.
- Popper, K. R., *La lógica de la investigación científica*, Madrid Tecnos, [1934] 1985.
- , *Objective Knowledge. An Evolutionary Approach*, Oxford, Clarendon Press, 1972.
- , “La ciencia normal y sus peligros”, en I. Lakatos and A. Musgrave (comps.), *La crítica y el desarrollo del conocimiento*, Barcelona y México, Grijalbo, 1975, pp. 145-157.
- Simpson, G. G., *Tempo and Mode in Evolution*, Nueva York, Columbia University Press, 1944.
- , *This View of Life*, Nueva York, Harcourt, Brace and World, p. 91, 1964.