



El método en las ciencias

ROSAURA RUIZ
FRANCISCO J. AYALA

Epistemología y darwinismo



El método en las ciencias

ROSAURA RUIZ
FRANCISCO J. AYALA

Epistemología y darwinismo

SECCIÓN DE OBRAS DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA

EL MÉTODO EN LAS CIENCIAS

EPISTEMOLOGÍA Y DARWINISMO

ROSAURA RUIZ

FRANCISCO J. AYALA

El método en las ciencias

Epistemología y darwinismo



FONDO DE CULTURA ECONÓMICA

MÉXICO

Primera edición, 1998

Primera edición electrónica, 2015

D. R. © 1998, Fondo de Cultura Económica

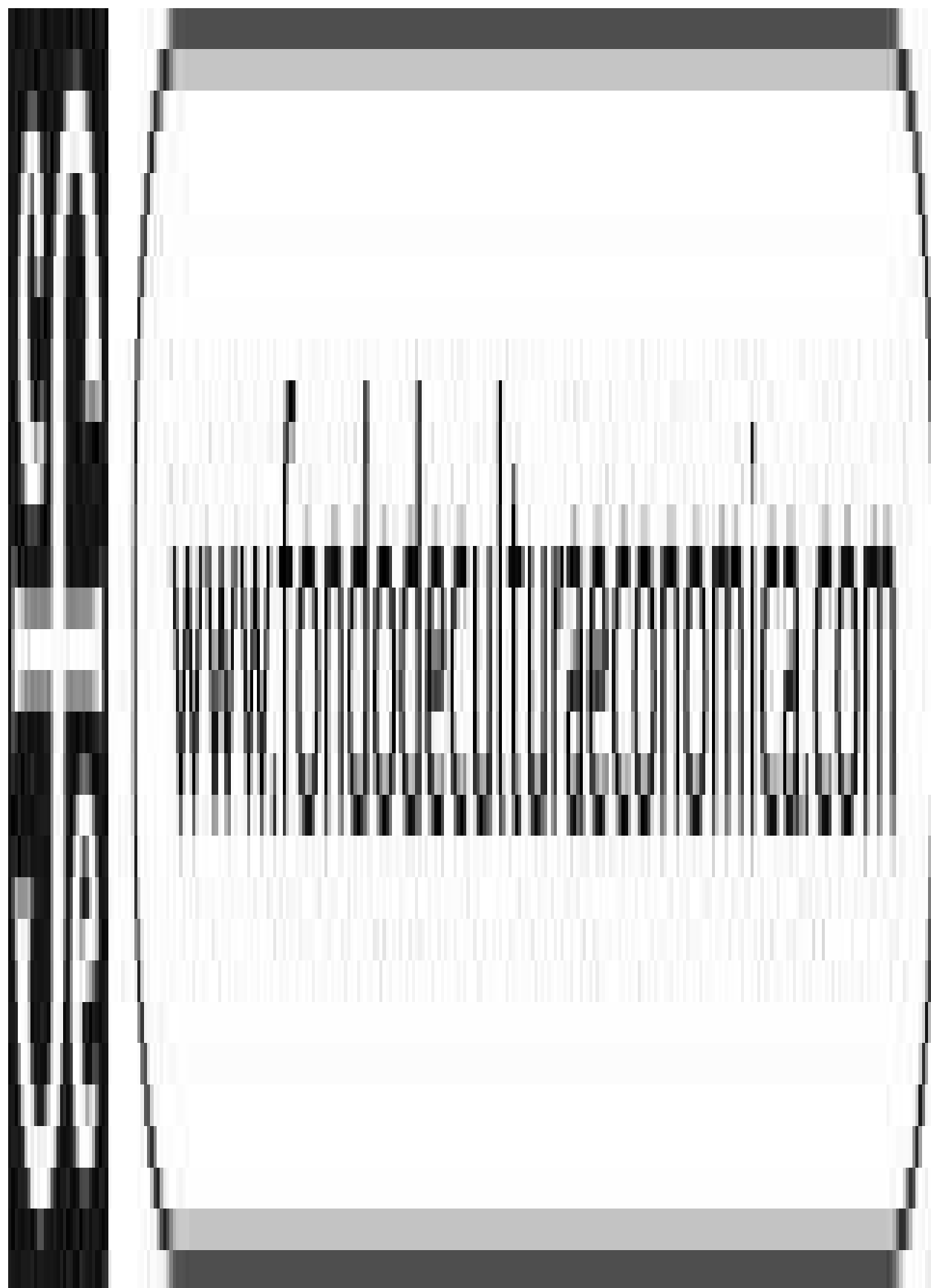
Carretera Picacho-Ajusco, 227; 14738 México, D. F.

Empresa certificada ISO 9001:2008

Comentarios:

editorial@fondodeculturaeconomica.com

Tel. (55) 5227-4672



Se prohíbe la reproducción total o parcial de esta obra, sea cual fuere el medio. Todos los contenidos que se incluyen tales como características tipográficas y de diagramación, textos, gráficos, logotipos, iconos, imágenes, etc., son propiedad exclusiva del Fondo de Cultura Económica y están protegidos por las leyes mexicanas e internacionales del copyright o derecho de autor.

ISBN 978-607-16-2640-0 (ePub)

Hecho en México - Made in Mexico

Prólogo

Este libro aborda cuestiones epistemológicas: cómo se adquiere y se justifica el conocimiento científico. La epistemología analiza de qué manera los científicos se plantean problemas y las formas en que los resuelven, los cambian o los abandonan.

El asunto es importante puesto que ningún otro modo de conocimiento (filosofía, literatura, arte, religión) afecta la vida social y económica de la humanidad moderna de manera tan radical y universal como la ciencia. Los grandes avances tecnológicos y médicos —que han sentado las bases para un desarrollo económico y social en que la humanidad podría incrementar todas sus potencialidades, pero que al mismo tiempo posibilitan la destrucción de la naturaleza, incluida nuestra especie— derivan todos ellos de la ciencia, una manera de investigar el Universo que ha florecido sólo en los tres últimos siglos (que representan menos de una milésima de la existencia de nuestra especie *Homo sapiens*). ¿Cuáles son las características del conocimiento científico que justifican su validez y dan cuenta de su impacto en nuestra vida?

Las cuestiones epistemológicas son de interés en la práctica científica, puesto que orientan el desarrollo de las teorías y conceptos de las ciencias. El conocimiento del cuerpo teórico de una ciencia es parte integral de la formación en esa ciencia. Tener claridad en los conceptos y teorías de las ciencias implica entenderlas como el conjunto de respuestas que se han dado a los fenómenos naturales y de los métodos con que se han adquirido tales respuestas. Esto permite no sólo comprender el contexto científico general y poder integrar en él los resultados obtenidos, sino también afrontar sistemáticamente los problemas nuevos y las formas de resolverlos.

En los tres primeros capítulos se analizan las nociones de metodología científica que dan sustento a las epistemologías darwinistas que se presentan a partir del capítulo IV.

En el primer capítulo hacemos una descripción del método científico. El conocimiento científico se desarrolla como un diálogo entre dos etapas entrelazadas, una imaginativa y otra crítica. Una etapa consiste en la creación de

hipótesis o teorías; la otra etapa en la contrastación de esas teorías. Este diálogo implica que, con frecuencia, estructuras teóricas previamente aceptadas son luego rechazadas y sustituidas por otras. El experimento y la observación desempeñan un papel decisivo en este caso: una hipótesis es aceptada por los científicos en tanto que la observación o la experimentación no logren desmentirla. Ninguna proposición teórica puede, pues, reclamar para sí ser verdad absoluta y definitiva. Toda teoría es sólo provisionalmente verdadera; se encuentra en espera de alguna prueba que la desmienta y que ponga de relieve un conocimiento más verdadero o más preciso.

En este capítulo se hace una crítica a la propuesta de que el inductivismo sea un modo válido del conocimiento científico. Primero, porque un conocimiento inductivo tendría que validarse por un número infinito de observaciones; segundo, porque la inducción de por sí es ajena a ser interpretada, pero toda observación depende de concepciones previas. Por ello, la correspondencia que la ciencia manifiesta no es entre enunciados y hechos, sino entre enunciados y hechos interpretados; lo que se contrasta son las diferentes interpretaciones de la realidad, es decir, se contrastan teorías con teorías y teorías con observaciones cargadas de teoría.

Aunque rechazamos el inductivismo como modo válido de justificar conocimientos científicos, sostenemos que una teoría es aceptada o rechazada con base en observaciones y experimentos. Un programa de investigación produce teorías científicas válidas sólo si éstas son susceptibles de ser contrastadas por la experiencia. Tal como dice Karl Popper, el criterio de demarcación del conocimiento científico no es el de la verificabilidad, sino el de la falsabilidad de las teorías. Claro que no basta con que una teoría sea refutable, sino que es necesario corroborarla: su resistencia a pruebas críticas se transforma en la evidencia que la hace más fuerte.

La objetividad de los enunciados científicos descansa en el hecho de que pueden contrastarse intersubjetivamente. Para que otros científicos puedan poner a prueba nuestras teorías, debemos especificar sus límites, sus prohibiciones. Por lo tanto, una teoría es falsable si existe una clase no vacía de eventos (por lo tanto de enunciados) prohibidos por ella. Tales eventos (observaciones o experimentos) tienen que ser incompatibles con la teoría y excluidos por ella. El contenido empírico de una teoría está basado en los eventos que prohíbe. Esto no significa simplemente que la teoría que prohíba más sea la más científica; una teoría necesita “explicar”, dar la razón que da cuenta de los sucesos, y tiene que

ser predictiva. La predicción puede ser de hechos que vayan a ocurrir en el futuro, pero esto no es esencial. Una teoría científica predice la ocurrencia de hechos o procesos que no son conocidos, aun cuando pueda tratarse de eventos que ocurrieron en el pasado. Ejemplos de esta situación se dan en todas las ciencias, pero son particularmente notables en la evolución y en la astronomía. Los evolucionistas predijeron la existencia de organismos con características comunes a aves y reptiles antes de descubrir a *Archaeopteryx*, un animal que vivió hace millones de años. Los astrónomos predijeron la existencia de Plutón, un planeta que se formó con el resto del sistema solar pero que no se conocía todavía.

En el capítulo II se analizan las ideas de Thomas Kuhn, quien propone que la ciencia no es una actividad de científicos aislados sino de investigadores que comparten una constelación de creencias, valores, métodos y técnicas, que les hace parte de una comunidad científica. Una comunidad científica avanza los conocimientos, pero al mismo tiempo establece las formas de su legitimación. Particularmente polémica es la diferencia defendida por Kuhn entre ciencia normal y ciencia revolucionaria.

En el capítulo III presentamos la concepción de Imre Lakatos. Analizamos su idea de que las comunidades de científicos no producen tanto teorías aisladas como programas de investigación, sistemas de teorías unidos en torno a un núcleo duro o meollo. Es decir, los científicos no sólo presentan una teoría para explicar un fenómeno determinado, sino que además elaboran una serie de teorías secundarias que protegen lo que Lakatos llama el centro firme del programa, que es provisionalmente irrefutable. Lakatos propone que se ignoren las observaciones que aparentemente refutan el núcleo del programa, con el fin de continuar investigando evidencias a su favor. En vez de tratar de refutar el meollo de la teoría, se deben crear “hipótesis auxiliares” que protejan el centro del programa.

El capítulo IV analiza la epistemología evolucionista de Stephen Toulmin. Toulmin propone que la ciencia es un proceso continuo; rechaza la noción de revoluciones científicas. La distinción de Kuhn entre ciencia normal y ciencia revolucionaria es falaz, de manera similar a como no hay solución de continuidad radical entre macroevolución y microevolución, sino que la macroevolución es el resultado acumulado de cambios microevolutivos. Toulmin hace uso heurístico de la comparación entre evolución biológica y evolución conceptual, pero considera que se trata no tanto de una analogía explicativa, sino

justificativa. Para Toulmin, el darwinismo es una forma general de explicación histórica, la evolución por variación y selección, que es aplicable a otros procesos.

En el capítulo V discutimos la noción de Popper según la cual tanto los científicos como los organismos tratan de resolver problemas por ensayo y error. Las variaciones genéticas, al igual que las nuevas hipótesis científicas, son intentos de resolver los problemas planteados, ya sea por la naturaleza o por la ciencia. La selección natural y la selección de teorías son procedimientos de eliminación de errores que actúan tanto descartando las formas sin éxito (selección negativa) como modificándolas gradualmente (selección positiva).

El capítulo VI está dedicado a la epistemología evolutiva de David Hull. De acuerdo con Hull, los científicos forman linajes conceptuales: compiten entre sí para convencer a otros científicos de las virtudes de sus teorías y forman linajes de científicos que comparten ideas. La ciencia avanza gracias a la competencia entre grupos de científicos que intentan a la vez conseguir evidencias a favor de sus puntos de vista y refutar los de otros grupos. Hull cree que el darwinismo puede constituirse en una teoría general capaz de explicar fenómenos muy diversos, en todos los cuales los procesos de selección desempeñan un papel preponderante. Para Hull lo que cuenta no es la “verdad” de una teoría sino el número de sus adeptos. Lo importante para los científicos, como para los organismos, es el número de descendientes que dejan.

Nuestro empeño en las teorías epistemológicas que utilizan de manera heurística la teoría de la evolución se basa en la preponderancia de tales teorías en la filosofía de la ciencia contemporánea, preponderancia debida en buena parte a su originalidad en reconocer los paralelos entre la evolución de los organismos y la evolución del conocimiento científico. Hemos escrito este libro con el propósito de estimular el interés en estas teorías, identificar lo que hay de válido en ellas y definir sus límites.

I. El método en las ciencias

Introducción

EL CONOCIMIENTO DERIVA DE VARIAS FUENTES, tales como la experiencia del sentido común, la expresión artística y la reflexión filosófica. El conocimiento científico, sin embargo, se mantiene al margen como algo especial. El gran éxito de la ciencia como una manera de indagar sobre la naturaleza del universo es motivo de admiración. La tecnología derivada del conocimiento científico es igualmente admirable: los rascacielos de nuestras ciudades, cohetes que llevan hombres a la Luna, teléfonos que proporcionan comunicación instantánea entre continentes, computadoras que realizan cálculos complejos en milésimas de segundo, vacunas y drogas que controlan las bacterias parasíticas, terapias génicas que reemplazan DNA en células defectuosas. Todos estos extraordinarios logros brindan testimonio de la validez del conocimiento científico del cual se originan.

El conocimiento científico es también notable en la medida en la 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 nuevamente con cada generación o con cada nuevo científico. Ciertamente los científicos no concuerdan entre sí en muchos puntos; pero éstas son cuestiones aun no establecidas, y los puntos de desacuerdo generalmente no ponen en cuestión el conocimiento previo. Los científicos modernos no ponen en cuestión el que los átomos existan, o el que haya un universo con millones de estrellas, o que la herencia se encuentre contenida en el DNA. Los científicos difieren en este sentido de los filósofos, quienes debaten interminablemente las preguntas que buscan contestar. Los filósofos, hoy en día, se centran en las mismas cuestiones que se debatían en la Antigüedad o en la Edad Media o hace dos décadas, sin nunca llegar a un acuerdo definitivo. No sucede así con los científicos, quienes parten de puntos resueltos en el pasado con el fin de formular nuevas preguntas y resolverlas. Tampoco existe entre los científicos nada como los puntos de vista radicalmente dispares e irreconciliables sostenidos por distintas religiones, o los siempre cambiantes modos de la expresión artística.

¿Qué es, entonces, lo que hace al conocimiento científico diferente de todas las otras actividades mediante las cuales aprendemos acerca del universo y de

nosotros mismos? En este trabajo abordamos la cuestión identificando primero algunos rasgos distintivos del conocimiento científico. Explicamos a continuación que la ciencia implica mucho más que el simple razonamiento inductivo, y pasamos a proponer el método hipotético-deductivo como un paradigma para entender algunas características distintivas de la manera en la que los científicos proceden en sus esfuerzos para entender el mundo. Más adelante consideramos el problema de la demarcación, o cómo distinguir entre las afirmaciones científicas válidas e inválidas; y discutimos brevemente el papel que desempeñan los mecanismos sociales usados en la práctica científica para distinguir la ciencia válida de la no válida. Utilizamos 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

La ciencia busca la organización sistemática del conocimiento acerca del mundo. El sentido común, como la ciencia, proporciona conocimiento acerca de fenómenos naturales, y este conocimiento es a menudo correcto. Por ejemplo, el sentido común nos dice que un niño se parece a sus padres y que las buenas semillas producen buenas cosechas. El sentido común, sin embargo, muestra poco interés en establecer sistemáticamente conexiones entre fenómenos que no parecen estar evidentemente relacionados. En contraste, la ciencia se interesa por formular leyes generales y teorías que manifiesten patrones de relaciones entre muy distintas clases de fenómenos. La ciencia se desarrolla descubriendo nuevas relaciones, y particularmente integrando afirmaciones, leyes y teorías, que anteriormente parecían no estar relacionadas, en leyes y teorías más comprensivas.

La ciencia procura explicar por qué los sucesos observados de hecho ocurren. Aun cuando el conocimiento adquirido en el curso de la experiencia ordinaria es frecuentemente preciso, rara vez proporciona explicaciones de por qué los fenómenos ocurren de cierta manera. La experiencia práctica nos dice que los niños se parecen a uno de sus padres en ciertos rasgos y a al otro en ciertos otros, o que el abono incrementa la producción de la cosecha. Pero no proporciona explicaciones para estos fenómenos. La ciencia, por otro lado, busca formular explicaciones para los fenómenos naturales identificando las condiciones que hacen posible su ocurrencia.

La búsqueda de la organización sistemática del conocimiento y el propósito de explicar por qué los sucesos son como se observan, son dos características que distinguen a la ciencia del conocimiento de sentido común. Pero estas características son también compartidas por otras formas de conocimiento sistemático, tales como las matemáticas y la filosofía. Una tercera característica de la ciencia, que distingue a las ciencias empíricas de las otras formas sistemáticas del conocimiento, es que las explicaciones deben ser formuladas de tal manera que puedan ser sometidas a pruebas empíricas, proceso que debe incluir la posibilidad de refutación empírica. La refutabilidad ha sido propuesta como el criterio de demarcación que diferencia a la ciencia de las demás formas de conocimiento (Popper, 1959).

En ciencia, las nuevas ideas son llamadas hipótesis. Las pruebas a las que las ideas científicas son sometidas, incluyen la contrastación de las hipótesis con el mundo de la experiencia de tal manera que debe dejarse abierta la posibilidad de que se pueda rechazar cualquier hipótesis particular si ésta lleva a predicciones erróneas acerca del mundo de la experiencia. La posibilidad de refutación empírica de una hipótesis se lleva a cabo estableciendo si las predicciones precisas derivadas como consecuencias lógicas de la hipótesis concuerdan con el estado de los hechos encontrados en el mundo empírico. Una hipótesis que no puede ser sometida a la posibilidad de refutación por observación y experimentación no puede ser considerada como científica.

Posteriormente retomaremos esta cuestión de la “refutación empírica” como el criterio de demarcación que separa a la ciencia de otras formas de conocimiento. Por ahora, resumiremos la discusión de la naturaleza de la ciencia definiéndola 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”. Otra definición sería la siguiente: “La ciencia es una exploración del universo material que busca relaciones naturales y ordenadas entre los fenómenos observados y que es autocrítica” (Simpson, 1964, p. 91). Otras definiciones pueden ser propuestas, pero buscar una definición “perfecta” es un esfuerzo vano. La ciencia es una empresa compleja que no puede ser capturada adecuadamente en una sola enunciación. En cualquier caso, nuestro propósito no es tanto proporcionar una definición adecuada sino identificar los rasgos que distinguen al conocimiento científico. Pasaremos primero a discutir “el método inductivo”, del cual se dice a veces que es el método seguido por los científicos. Explicaremos que la inducción no es un método por el cual se pueda establecer la validez del conocimiento científico (aun cuando es a menudo un proceso por el cual nos encontramos con nuevas ideas, pero esto es un problema distinto).

La inducción en la ciencia

Es una idea común pero falsa la de que la ciencia avanza por “acumulación de hechos experimentales y extrayendo una teoría de ellos” (Jacob, 1988; véase más adelante). Este concepto erróneo está basado en la muy repetida aseveración de que la ciencia es inductiva, noción que se remonta al ensayista y estadista inglés Francis Bacon (1561-1626). Bacon tuvo un papel importante e influyente en los inicios de la ciencia moderna por su crítica a las especulaciones metafísicas propagadas por los filósofos escolásticos medievales. En el siglo XIX el más apasionado y claro proponente del inductivismo fue John Stuart Mill (1806-1873), economista y filósofo inglés.

La inducción fue propuesta por Bacon y Mill 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 sostendría 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. Midiendo y registrando todo lo que se le confronta, un científico observa un árbol con hojas. Observa que un segundo árbol y un tercero, y muchos otros, tienen hojas. Eventualmente, formula una afirmación universal, “todos los árboles tienen hojas”.

El método inductivo no logra explicar el proceso real de la ciencia. Antes que nada, ningún científico trabaja sin proyecto preconcebido de acuerdo con el tipo de fenómeno por observar. Los científicos escogen para sus estudios objetos o sucesos que, en su opinión, es probable que les proporcionen las respuestas a preguntas de su interés. De lo contrario, como Darwin (1903) escribió, “uno puede igualmente ir a una mina de grava y contar los guijarros y describir los colores”. Un científico cuya meta fuera registrar cuidadosamente cada hecho observado en todos los momentos de vigilia de su vida, no contribuiría mucho al avance de la ciencia; muy probablemente, sería considerado un loco por sus colegas.

Además, la inducción no logra llegar a verdades universales. No importa cuántas

afirmaciones singulares puedan ser acumuladas, ninguna afirmación universal puede ser derivada lógicamente de tal acumulación de observaciones. Aun cuando todos los árboles observados hasta esos momentos tengan hojas, o todos los cisnes observados sean blancos, queda una posibilidad lógica de que el siguiente árbol no tenga hojas o que el siguiente cisne no sea blanco. El paso de numerosas afirmaciones singulares a una universal implica amplificación lógica. La afirmación universal tiene un mayor contenido lógico, esto es, dice más que la suma de todas las afirmaciones singulares.

Otra seria dificultad de la inducción como la propuesta del método científico es que las hipótesis y teorías científicas son formuladas en términos abstractos que no ocurren para nada en la descripción de los sucesos empíricos. Mendel, el fundador de la genética, observó en la progenie de plantas híbridas que las características alternativas se segregaban de acuerdo con 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. Las hipótesis científicas más interesantes y fructíferas no son simples generalizaciones. Por el contrario, las hipótesis científicas son creaciones de la mente, sugerencias imaginativas de lo que podría ser cierto.

La inducción yerra en los tres puntos señalados. No es un método que asegure la objetividad y que evite las preconcepciones; no es un método para alcanzar la verdad universal, y no es una buena descripción del proceso por medio del cual los científicos formulen sus hipótesis y otras formas del conocimiento científico. Es un asunto diferente el que, de hecho, un científico pueda llegar a una nueva idea o desarrollar una hipótesis como consecuencia de repetidas observaciones de fenómenos relacionados entre sí. Pero cómo llegamos a tener una nueva idea es una cuestión distinta de por qué aceptamos que algo es científicamente válido. Ya hemos señalado esta distinción pero volveremos a ella de nuevo.

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. (Es esencial al proceso, como se explicará, que para que la observación de tales consecuencias sirva para validar la hipótesis, no debe saberse de antemano si tales consecuencias se cumplen o no; también se requiere que las consecuencias sean poco probables.)

El análisis del método hipotético-deductivo se remonta a William Whewell (1794-1866) y William Stanley Jevons (1835-1882) en Inglaterra, y a Charles S. Peirce (1838-1914) en los Estados Unidos. La caracterización más precisa del método científico ha sido expuesta por Karl R. Popper (1959; véase también Hempel, 1965). Los científicos, por supuesto, practicaban el método hipotético-deductivo mucho antes de que estuviera adecuadamente definido por los filósofos. Eminentes practicantes de este método incluyen a Blaise Pascal (1623-1662) y a Isaac Newton (1624-1727) 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. Éstos, y otros grandes científicos, practicaron el método hipotético-deductivo aún cuando algunos de ellos, por ejemplo Darwin, alegaban ser inductivistas con el fin de concordar con los debates de los filósofos contemporáneos.

El premio Nobel François Jacob, en su autobiografía, 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 el 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 se 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].

La ciencia es una compleja actividad que consiste esencialmente de dos episodios interdependientes, uno imaginativo o creativo, y otro crítico. El tener una idea, proponer una hipótesis, o sugerir lo que puede ser verdadero es un ejercicio creativo. Pero las conjeturas científicas o hipótesis deben además estar sujetas a examen crítico y contrastación empírica. El pensamiento científico puede ser caracterizado como un proceso de invención o descubrimiento, seguido por su validación o confirmación. A uno de los procesos concierne la formulación de nuevas ideas (“adquisición de conocimiento”); al otro concierne 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 con otras personas, de leer libros y periódicos, de generalizaciones inductivas, y hasta de sueños y observaciones erróneas. Se dice que Newton fue inspirado por una manzana que cayó. Kekulé había estado intentando sin éxito diseñar un modelo para la estructura molecular del benceno; una tarde se encontraba adormilado frente al fuego; las flamas le parecieron como grupos de átomos en forma de serpientes. De pronto, una serpiente apareció mordiendo su propia cola y luego girando burlonamente frente a él. La apariencia circular de la imagen le inspiró el modelo del benceno en anillo hexagonal. El modelo para explicar la diversificación evolutiva de las especies le vino a Darwin mientras montaba su carruaje y observaba el paisaje. “Puedo recordar el punto preciso en el camino [...] cuando para mi alegría, me vino a la mente la solución; [...] la solución es que la progenie modificada [...] tiende a adaptarse a diversos lugares en la economía de la naturaleza”. (Darwin, 1958)

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. Pero la conjetura imaginativa y la observación empírica son procesos mutuamente interdependientes. Las observaciones hechas para probar una hipótesis 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.

La concepción de una idea es el punto de partida de la investigación científica, pero este proceso no es objeto de investigación en lógica o epistemología. Los complejos sucesos conscientes e inconscientes que están detrás de la mente creativa son propiamente el interés de la psicología empírica. El proceso creativo, obviamente, no es único para los científicos. Los filósofos, así como los novelistas, poetas y pintores, también son creativos; ellos también proponen modelos de experimentación y también generalizan 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.

El criterio de demarcación

El probar una hipótesis (o teoría) implica por lo menos cuatro actividades diferentes. Primero, la hipótesis debe ser examinada en cuanto a su consistencia interna. Una hipótesis que es autocontradictoria o que no está lógicamente bien formulada, debe ser rechazada.

Segundo, la estructura lógica de una hipótesis debe ser examinada para averiguar si tiene valor explicativo; esto es, si hace al fenómeno observado inteligible en algún sentido, si ayuda a comprender por qué el fenómeno ocurre de hecho como se observa. Una hipótesis que es puramente tautológica debe ser rechazada, ya que no tiene valor explicativo. Una hipótesis científica identifica las condiciones, procesos o mecanismos que responden a los fenómenos que pretende explicar. Por lo tanto, las hipótesis establecen relaciones generales entre ciertas condiciones y sus consecuencias o entre ciertas causas y sus efectos. Por ejemplo, el movimiento de los planetas alrededor del Sol es explicado como consecuencia de la gravedad, y la respiración es un efecto de los glóbulos rojos, que transportan oxígeno de los pulmones a varias partes del cuerpo.

Tercero, la hipótesis debe ser examinada en cuanto a su consistencia con hipótesis y teorías comúnmente aceptadas en el campo particular de la ciencia; es decir, si representa algún avance con respecto a hipótesis alternativas bien establecidas. La carencia de consistencia con otras teorías no siempre es razón para rechazar una hipótesis, aunque a menudo lo sea. Algunos de los grandes avances científicos ocurren precisamente cuando se muestra que una hipótesis ampliamente sostenida es reemplazada por otra nueva, que explica los mismos fenómenos explicados por la hipótesis preexistente, y otros que la hipótesis preexistente no podía explicar. Un ejemplo es el reemplazo de la mecánica newtoniana por la teoría de la relatividad, la cual rechaza, por ejemplo, la conservación de la materia y la simultaneidad de eventos que ocurren a una cierta distancia —dos principios fundamentales de la teoría de Newton.

Abundan ejemplos de este tipo en las disciplinas que avanzan rápidamente, como la biología molecular en el presente. El así llamado “dogma central” sostiene que la información molecular fluye en una sola dirección, de DNA a RNA y a proteínas. El DNA contiene la información genética que determina lo

que un organismo es, pero esta información debe ser expresada en enzimas (una clase particular de proteínas) que guíen todos los procesos químicos en las células. La información contenida en las moléculas de DNA se transfiere a las proteínas por medio de moléculas intermediarias, llamadas RNA mensajero. David Baltimore y Howard Temin ganaron el premio Nobel por descubrir que la información podía fluir en la dirección opuesta, de RNA a DNA, por medio de la enzima transcriptasa reversa. Mostraron que algunos virus, al infectar células, son capaces de copiar su RNA en DNA, el cual después se integra al DNA de la célula infectada, donde es utilizado como si fuera DNA propio de la célula. Otros ejemplos, entre los muchos que podrían darse, son los siguientes. Hasta hace poco, se pensaba universalmente que sólo las proteínas conocidas como enzimas podían mediar (técnicamente “catalizar”) las reacciones químicas en la célula. Sin embargo, Thomas Cech y Sidney Altman recibieron en 1989 el premio Nobel por demostrar que ciertas moléculas de RNA actúan como enzimas y catalizan sus propias reacciones. Un ejemplo más concierne a la llamada “colinearidad” entre el DNA y la proteína. Un principio generalmente aceptado era la noción de que la secuencia de nucleótidos en el DNA de un gen se expresa consecutivamente en la secuencia de aminoácidos en la proteína. Esta concepción fue puesta en jaque por el descubrimiento de que los genes se dan en fragmentos, separados por segmentos intermedios de DNA que no portan información genética; Richard Roberts y Philip Sharp recibieron el premio Nobel en 1993 por este descubrimiento.

Estas hipótesis revolucionarias fueron publicadas después de que sus autores las sometieron a severas pruebas empíricas. Las teorías que son inconsistentes con las hipótesis bien aceptadas en la disciplina relevante tienden a ser ignoradas cuando no están avaladas por evidencia empírica convincente. La microhistoria de la ciencia se ve ensuciada con hipótesis rebuscadas o ad hoc, a menudo propuestas por individuos que no las apoyan con datos científicos apropiados. Las teorías de este tipo usualmente desaparecen de forma gradual ya que son ignoradas por la mayor parte de la comunidad científica. Sin embargo, en ocasiones atraen interés, cuando una teoría recibe atención de los medios de comunicación o en círculos políticos o religiosos. El desastre de la propuesta reciente sobre la “fusión fría” es, sin embargo, un ejemplo de una hipótesis mal contrastada experimentalmente que recibió alguna atención de la comunidad científica porque sus proponentes eran científicos renombrados (Taubes, 1993).

La cuarta y más distintiva de las pruebas a que debe someterse una hipótesis es la siguiente: una hipótesis científica debe ser probada empíricamente indagando

si las predicciones acerca del mundo de la experiencia derivadas como consecuencias lógicas de la hipótesis, concuerdan con lo que se observa o no. Éste es el elemento crítico que distingue a la ciencia empírica de otras formas de conocimiento: el requerimiento de que las hipótesis científicas sean refutables empíricamente. Las hipótesis científicas no pueden ser consistentes con todos los estados posibles de sucesos en el mundo empírico. Una hipótesis es científica sólo si es consistente con algunos pero no con otros estados posibles de sucesos aún no observados, de manera que puedan ser sujetas a la posibilidad de refutación por observación. Las predicciones derivadas de hipótesis científicas deben ser lo suficientemente precisas para limitar el rango de posibles observaciones con las cuales son compatibles. Si los resultados de un examen empírico concuerdan con las predicciones derivadas de una hipótesis, se dice que la hipótesis está provisionalmente corroborada; de lo contrario, es refutada.

El requerimiento de que una hipótesis científica sea refutada ha sido apropiadamente llamado el criterio de demarcación de las ciencias empíricas, ya que separa a las ciencias empíricas de otras formas de conocimiento (Popper, 1959). Una hipótesis que no está sujeta a la posibilidad de refutación empírica no pertenece al campo de la ciencia.

Verificabilidad y refutabilidad

El requisito de que una hipótesis científica sea refutable, y no simplemente verificable, puede parecer sorprendente en un principio. Podría parecer que el propósito de la ciencia es el de establecer la verdad de las hipótesis antes que intentar refutarlas. No es así. Hay una asimetría entre la refutabilidad y la verificabilidad de las afirmaciones universales que deriva de la naturaleza lógica de dichas afirmaciones. Puede mostrarse que una proposición universal es falsa si es inconsistente con una sola proposición singular (esto es, una proposición sobre un suceso particular), aun cuando sea una sola entre numerosas que sean consistentes con dicha proposición universal. Pero, como se ha señalado en la discusión sobre 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.

Considérese una hipótesis particular de la cual se derivan lógicamente ciertas consecuencias. Considérese el argumento: si la hipótesis es verdadera, entonces la consecuencia específica también debe serlo; es el caso que la consecuencia es verdadera; por lo tanto, la hipótesis es verdadera. Ésta es una manera errónea de inferencia, llamada por los lógicos “falacia de afirmar lo consecuente”. El error de esta clase de inferencia puede ser ilustrado con el siguiente ejemplo trivial. Si las manzanas están hechas de hierro, deben caer al suelo cuando son cortadas del árbol; las manzanas caen cuando son cortadas; por lo tanto, las manzanas son de hierro. La conclusión es inválida aun cuando las dos premisas son verdaderas. En general, puede darse el caso de que haya alguna otra hipótesis de la cual se puedan derivar las mismas consecuencias o predicciones. Los fenómenos observados son verdaderos porque son consecuencias de estas diferentes hipótesis, y no de la utilizada en la deducción.

La forma adecuada de la inferencia lógica para afirmaciones condicionales es la que los lógicos llaman *modus tollens* (*modus* = modo; *tollens* = quitar, rechazar). Puede ser representado por el siguiente argumento. Si una hipótesis particular es verdadera, entonces cierta consecuencia debe ser verdadera; pero la evidencia muestra que la consecuencia no es verdadera; por lo tanto, la hipótesis es falsa. Como ejemplo simple consideremos el siguiente argumento. Si las manzanas están hechas de hierro, se hundirán en el agua; no se hunden, por lo tanto no

están hechas de hierro. El modus tollens es una forma concluyente de inferencia. Si ambas premisas son verdaderas, la conclusión que refuta la hipótesis se sigue necesariamente.

De este razonamiento se sigue que es posible mostrar la refutabilidad de un enunciado universal concerniente al mundo empírico, pero nunca es posible demostrar su verdad de manera concluyente. Esta asimetría entre la verificación y la refutación se reconoce en la metodología estadística de la prueba de hipótesis. La hipótesis sujeta a contrastación, la hipótesis nula, puede ser rechazada si las observaciones son inconsistentes con ella. Si las observaciones son consistentes con las predicciones derivadas de la hipótesis, la conclusión adecuada es que la contrastación no refuta la hipótesis nula, y no que la verdad ha sido establecida.

(El requisito de que las hipótesis científicas sean refutables tiene un paralelo en la inferencia estadística, a saber, en el requerimiento de que el dominio de la contrastación sea mayor que cero. Los estadísticos reconocen dos clases de errores: un error del tipo I, la probabilidad de rechazar la hipótesis nula cuando es verdadera, usualmente llamado error alfa; y un error del tipo II, la probabilidad de no rechazar la hipótesis cuando es falsa, simbolizado como beta. Los científicos ponen considerable atención a los errores del tipo I, y por lo tanto, escogen niveles alfa suficientemente bajos, pero ponen menos atención a los errores del tipo II. No obstante, el poder de la prueba depende de la probabilidad, $1 - \beta$, de rechazar la hipótesis nula cuando es incorrecta. Por lo tanto, bajos niveles para alfa y para beta son deseables. Aun cuando para cualquier contrastación dada las magnitudes de alfa y beta estén inversamente relacionadas, el valor de beta puede ser reducido ya sea incrementando el tamaño de la muestra o el número de repeticiones en una prueba.)

Contenido empírico o “veracidad”

Las pruebas de una hipótesis científica deben tener una probabilidad positiva que lleve a rechazar la hipótesis si ésta es falsa. Una hipótesis científica divide todas las proposiciones factuales particulares en dos subclases. Primero, tenemos la subclase de todas las proposiciones con las cuales es inconsistente; ésta es la subclase de los “refutadores potenciales” de la hipótesis. Segundo, hay una subclase de todas las proposiciones que la hipótesis no contradice, la subclase de las proposiciones “permitidas”. Una hipótesis es científica sólo si la clase de sus “refutadores potenciales” no está vacía, porque la hipótesis hace empíricamente afirmaciones significativas sólo acerca de sus refutadores potenciales —afirma que son falsos—. “No por nada llamamos a las leyes de la naturaleza ‘leyes’; entre más prohíben más dicen” (Popper, 1959).

El contenido empírico o información de una hipótesis (la “veracidad” expresada por un enunciado científico) es medido por la clase de sus refutadores potenciales. Cuanto más grande sea esta clase, mayor será el contenido de información de la hipótesis. Una hipótesis afirma que sus refutadores potenciales son falsos; si cualquiera de éstos es verdadero, se prueba que la hipótesis es falsa. Una hipótesis o teoría consistente con todos los estados posibles o acontecimientos en el mundo natural (por ejemplo, “las aves tienen alas porque Dios las hizo así; los peces no, por la misma razón”) carece de contenido empírico, y por lo tanto, no es científica.

Contingencia y certeza en la ciencia

Las hipótesis científicas sólo pueden ser aceptadas contingentemente, ya que su verdad nunca puede ser concluyentemente establecida. Esto no significa que tengamos el mismo grado de confianza en todas las hipótesis que no han sido aún refutadas. De una hipótesis que ha pasado por muchas contrastaciones empíricas se puede decir que está “probada”, o “corroborada”. El grado de corroboración no es simplemente cuestión del número de contrastaciones, sino de su severidad. Las pruebas severas son precisamente aquéllas 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.

Un ejemplo es el experimento realizado por Mathew Meselson y Franklin Stahl (1958) para probar el modelo de la doble hélice propuesto por James Watson y Francis Crick (1953) que marca el comienzo de la biología molecular, una de las grandes revoluciones científicas de todos los tiempos. El modelo de la doble hélice predice que la replicación del DNA es “semiconservativa”; esto quiere decir que cada molécula hija de DNA constará de una hebra parental (la hebra conservada) y de una nueva hebra sintetizada. Otros dos modelos posibles de replicación son 1) el modelo conservativo, de acuerdo al cual la molécula de DNA parental es conservada completamente y la molécula hija consiste totalmente en nuevo DNA sintetizado; y 2) el modelo disperso, de acuerdo al cual ambas moléculas hijas de DNA son sintetizadas de novo y la molécula parental es degradada en los fragmentos que la componen (nucleótidos), los cuales son posteriormente utilizados, junto con nucleótidos adicionales en la síntesis de moléculas hijas de DNA.

Meselson y Stahl produjeron bacterias que contenían nitrógeno radiactivo (el isótopo N^{15}) en su DNA; luego transfirieron esas bacterias a un medio que contenía nitrógeno ligero (N^{14}). También tenían un método para determinar exactamente la densidad del DNA en las bacterias. El modelo de la doble hélice predecía que después de una generación de replicación todo el DNA tendría una

densidad intermedia (ya que una hebra de cada molécula tendría nitrógeno radiactivo y la otra hebra, nitrógeno ligero). Esto también lo predecía el modelo disperso (pues cada molécula tendría más o menos el mismo número de nucleótidos pesados y ligeros); no así el modelo conservativo (el cual predecía que la mitad de las moléculas de DNA serían pesadas y la otra mitad ligeras). El modelo de la doble hélice predecía que después de una segunda ronda de replicación, la mitad de las moléculas de DNA serían intermedias en densidad y la otra mitad sería ligera. Los otros dos modelos llevaban a predicciones distintas para la segunda generación de moléculas. En particular, el modelo disperso predecía que todas las moléculas de DNA serían idénticas unas a otras, con densidades de un cuarto del rango entre las moléculas ligeras y pesadas. Las predicciones de los tres modelos eran también distintas para la tercera y demás rondas de replicación. Meselson y Stahl llevaron a cabo experimentos críticos y corroboraron el modelo de la doble hélice y rechazaron los otros dos.

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, por lo tanto, llegar a ser establecidas sin que se les pueda poner en duda razonablemente. El modelo de la doble hélice del DNA, por ejemplo, también fue corroborado por un experimento realizado por J. Herbert Taylor y sus colegas (1957) utilizando DNA de raíces de plantas, marcado autorradiográficamente; y por la observación directa en el microscopio de cromosomas en replicación (los cuerpos celulares que contienen el DNA; véase Cairns, 1963). Desde la década de los sesenta, las observaciones y experimentos que han corroborado el modelo de la doble hélice (y refutado modelos alternativos del material hereditario) son tan numerosos (y consistentes) como para hacer imposible resumirlos aun en una discusión del tamaño de un libro.

“Hecho” y “teoría” en la ciencia

Algunas veces los científicos se refieren a las hipótesis o modelos científicos que se han establecido, más allá de la duda razonable, como “hechos”. Por ejemplo, la composición molecular de la materia, la doble hélice del DNA y la evolución de los organismos, se dice, son hechos. La posibilidad teórica de que éstas y otras hipótesis o explicaciones puedan ser incorrectas permanece como una abstracción, pero han sido confirmadas de tantas formas, y se ha construido tanto conocimiento sobre tales hipótesis, que sería totalmente irracional esperar que se probara, en un futuro, que son incorrectas. Simplemente no esperamos que el sol deje de salir o que la nieve se derrita en algo distinto al agua.

Los científicos, sin embargo, algunas veces se refieren a una hipótesis bien establecida o explicación llamándola “teoría” o “modelo”. Los científicos, por ejemplo, hablan 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. Más bien, 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 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 de quién asesinó al presidente Kennedy”.

Error y fraude en la ciencia

El procedimiento por el cual las hipótesis científicas son empíricamente probadas o rechazadas (el modus tollens) es un método lógicamente concluyente —si una consecuencia necesaria de una premisa es falsa, entonces, la premisa lo es también. No obstante, el proceso de refutación está sujeto a error humano. Es posible, por ejemplo, que una observación o un experimento que contradigan una hipótesis hayan sido erróneamente formulados o interpretados. Por lo tanto, se requiere a menudo, particularmente en el caso de hipótesis importantes bien corroboradas, que la observación refutadora pueda ser repetida o que se hagan otras pruebas refutadoras.

El modus tollens puede también llevar a una conclusión errónea si la predicción examinada no es una consecuencia lógica necesaria de la hipótesis. Por lo general, la conexión entre una hipótesis y las predicciones específicas derivadas de ella no es un asunto sencillo. La validez lógica de una inferencia puede depender no sólo de la hipótesis que está siendo probada, sino de otras hipótesis, ya sean explícitamente formuladas o no, así como de suposiciones que atañen a las condiciones particulares bajo las cuales se dan las inferencias deducidas (condiciones “limitadoras”). Si una predicción particular es refutada, se sigue que la hipótesis probada, así como las otras hipótesis necesariamente implicadas y las condiciones limitadoras no pueden ser todas ellas verdaderas. Existe la posibilidad de que una de las hipótesis subsidiarias o alguna condición asumida sean falsas. Por lo tanto, una prueba adecuada para una hipótesis asume (y en algunos casos, examina) la validez de todas las otras hipótesis y condiciones involucradas en el diseño y realización del experimento u observación por medio del cual va a ser probada la hipótesis.

Las conclusiones erróneas en ciencia son, a menudo, consecuencia de suposiciones erróneas en el diseño o en la realización de los experimentos. Las suposiciones erróneas pueden ser hipótesis erróneas que se consideran correctas, o errores en las condiciones o materiales utilizados. Una razón por la cual los científicos invierten gran parte de su tiempo y esfuerzo en procesos de revisión entre colegas (véase más adelante) es que desean eliminar hipótesis erróneas así como procedimientos incorrectos.

Un experimento (como los requeridos, por ejemplo, para investigar cuestiones de genética de poblaciones) puede llevar varios meses y requerir la inversión de muchos miles de dólares para costos de material, trabajo y equipo. Es por esta razón también que los científicos deben especificar en detalle el material, las condiciones y procedimientos utilizados en sus experimentos. En el formato estándar de un artículo científico hay una detallada sección, con frecuencia titulada “Materiales y Métodos”, que sigue a la introducción donde se plantea el problema, pero precede a la presentación de los resultados. Ya que el trabajo del científico depende de la validez del trabajo de otros, los científicos examinan de manera cuidadosa los trabajos de sus colegas. Seguramente ocurren abusos, pero en general son los científicos mismos quienes los descubren.

El fracaso de contrastación adecuada es usualmente la violación que lleva a conclusiones científicas erróneas. Pero aunque estas conclusiones tengan importancia teórica o práctica, otros científicos realizarán pruebas adicionales y descubrirán los errores. La contrastación impropia o inadecuada está a menudo acompañada de otras violaciones de los cánones de la ciencia. Como veremos posteriormente, Robert Koch, el descubridor del bacilo de la tuberculosis, hizo uso de su considerable prestigio para evitar someter su propuesta de haber encontrado la cura de la tuberculosis a revisiones críticas antes de anunciar su “descubrimiento”. Los proponentes de la fusión fría cometieron el mismo error de contrastación inadecuada, pero también buscaron gran publicidad y soporte financiero comunicando sus conclusiones a los medios de comunicación, en lugar de someterlas antes a la revisión de sus colegas y a la publicación en revistas científicas.

Los errores en la ciencia no siempre se deben a presupuestos equívocos, ni son por lo general fraudulentos. Hay cuatro pasos en lo que es una progresión continua que va del error inevitable al fraude (National Academy of Sciences, 1989).

En primer lugar, nos encontramos con “caprichos de la naturaleza”, eventos que pueden suceder aunque sean poco probables o debido a leyes desconocidas de la naturaleza. Esta situación puede ser ilustrada con un ejemplo, que es únicamente una caricatura. Supongamos que se le pide a un científico averiguar si saldrá la cara o la cruz de una moneda con la misma probabilidad. El científico tira la moneda 20 veces, obtiene caras todas las veces, y concluye que la moneda está sesgada. Con todo, este resultado es compatible con una moneda sin sesgo: la probabilidad de que en las 20 tiradas salga siempre cara es de una millonésima.

El ejemplo es una caricatura, ya que un experimento tan simple debería ser repetido muchas más veces antes de llegar a alguna conclusión. La posibilidad de que ocurran estos caprichos de la naturaleza es una razón por la cual los científicos repiten los experimentos.

Los errores también pueden deberse a equivocaciones “honestas”. Un científico puede utilizar por equivocación el material incorrecto, medir erróneamente, o suponer las condiciones equivocadas. Estos errores se descubren normalmente por la repetición. Pero un científico no tiene tiempo o recursos ilimitados, así que hasta el más concienzudo de los científicos puede cometer un error. Los errores de este tipo son corregidos cuando otros científicos reproducen los experimentos o cuando contrastan la misma hipótesis de alguna otra forma.

Una tercera fuente de error es la negligencia. Un científico puede llegar a una conclusión errónea por prisa, descuido o desidia. Éstas y otras faltas similares son violaciones a los estándares esperados en ciencia y son reprobadas por los científicos, aun cuando los resultados erróneos no sean intencionales.

Finalmente, tenemos el fraude rotundo, cuando un científico oculta, modifica o fabrica los resultados. Ésta es una violación aún más grave de los estándares científicos que el descuido, y es proporcionalmente penalizada cuando se descubre. La desidia y el fraude pueden ocasionar incontables daños a la empresa científica, pero las conclusiones basadas en ellos es poco probable que persistan, ya que otros científicos buscarán corroborar o refutar cualquier resultado de interés. Algunas veces estos errores serán descubiertos, con altos costos personales, cuando se asume su validez en experimentos realizados por otros científicos.

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, por los cuales demostraron las leyes del movimiento; igualmente, las mediciones de Pascal sobre la presión atmosférica, la demostración de William Harvey sobre la circulación de la sangre, el rechazo que hizo Antoine Lavoisier de la teoría del flogisto y su demostración de la existencia del oxígeno, los experimentos de Louis Pasteur sobre la fermentación y putrefacción, mostrando que son ocasionadas por organismos vivos; y algunos otros. Hemos bosquejado anteriormente otro ejemplo: el experimento de Meselson y Stahl, con el que demostraron que el DNA se replica tal como lo predice el modelo de la doble hélice. Los dos episodios que caracterizan el conocimiento científico se pueden ver en todos los casos: la formulación de una hipótesis osada está asociada con experimentos inteligentemente diseñados para refutar la hipótesis si ésta no es correcta.

En seguida se describe, de una manera algo más detallada, otro ejemplo: el descubrimiento de las leyes de la herencia de Mendel y la formulación de una teoría que constituye el núcleo de la genética. El ejemplo de Mendel es significativo porque manifiesta el diálogo entre hipótesis y experimento. Los experimentos iniciales diseñados para probar hipótesis simples (por ejemplo, si tanto los rasgos maternos como paternos son transmitidos a la progenie) llevaron a la formulación de nuevas hipótesis (la primera y segunda leyes de la herencia), las cuales fueron posteriormente contrastadas e impulsaron una teoría general de la herencia, la cual fue entonces objeto de experimentos críticos. Es notable que todo esto se llevara a cabo en un solo trabajo científico, siendo su autor un humilde maestro de escuela.

Un paradigma histórico: el descubrimiento de Mendel de las leyes de la herencia

Gregorio Mendel era un monje agustino que vivió en la ciudad austríaca de Brünn (ahora Brno, República Checa). Estudió con distinguidos científicos en la Universidad de Viena y se convirtió en maestro de ciencias del bachillerato. Tuvo éxito donde sus contemporáneos y predecesores distinguidos habían fracasado: descubrió las leyes de la herencia y formuló la teoría sobre la cual se construyó toda la genética moderna.

Mendel realizó experimentos con plantas de guisante y reportó sus descubrimientos en un trabajo publicado en 1866, “Experimentos en hibridación de plantas”, notable por su lúcido conocimiento de los requisitos del método científico. Mendel formuló hipótesis; examinó su consistencia con resultados previos; luego sometió las hipótesis a severa contrastación crítica y sugirió pruebas adicionales que podrían ser realizadas más adelante.

El genio de Mendel es evidente en su reconocimiento de las condiciones requeridas para formular y contrastar una teoría de la herencia: diferentes caracteres en una planta (tales como el color de la flor o la forma de la semilla) deben ser considerados individualmente; estados alternativos de los caracteres deben diferir de manera bien clara (como los colores morado o blanco de la flor); se debe conocer con precisión el ancestro de las plantas utilizando únicamente líneas de razas puras en los experimentos. (En el lenguaje técnico moderno, éstas son “condiciones limitantes” que deben obtenerse con el fin de establecer los patrones conforme a los cuales los caracteres paternos son heredados por su progenie.) Las hipótesis de Mendel fueron formuladas en términos probabilísticos; por consiguiente, obtuvo grandes muestras y las sometió a análisis estadístico.

Mendel estudió la transmisión de siete caracteres diferentes en el guisante de jardín, *Pisum sativum*, incluyendo el color de la semilla (amarillo vs. verde), la configuración de la semilla (lisa vs. rugosa) y el tamaño de la planta (altas vs. enanas). Los resultados de los experimentos de Mendel son bien conocidos como para que necesiten una presentación detallada, pero merece la pena analizar los distintos pasos de su metodología. Su primera serie de experimentos fue con

plantas que diferían en un solo carácter. Las regulares observadas lo llevaron a ciertas generalizaciones formuladas en forma de ley: sólo uno de los dos caracteres (el carácter dominante) aparece en la primera generación de la progenie; después de la autofecundación, tres cuartos de la segunda generación de progenie exhiben el carácter dominante, y un cuarto exhibe el otro carácter (recesivo); las plantas de la segunda generación que exhiben el rasgo recesivo dan lugar a razas puras en las siguientes generaciones, pero las plantas que exhiben la característica dominante son de dos tipos, un tercio dará lugar a razas puras, y los otros dos tercios son híbridos. Mendel contrastó estas generalizaciones repitiendo sus experimentos para cada uno de los siete caracteres. Estas generalizaciones fueron resumidas en una ley, llamada posteriormente Principio de la Segregación: las plantas híbridas producen semillas que son la mitad híbridas, un cuarto puras para el carácter dominante y un cuarto puras para el carácter recesivo.

Mendel contrastó la hipótesis de la segregación derivando y verificando predicciones adicionales. Por ejemplo, predijo que después de n generaciones de autofecundación la proporción entre plantas de raza pura y plantas híbridas en la progenie de un híbrido debería ser de $2n - 1$ a 1. Explícitamente formuló que esta predicción prevalecería sólo si se da la condición de que todas las plantas tengan “el mismo promedio de fertilidad [...] en todas las generaciones”.

El estudio de las progenies de cruza entre plantas que difieren en dos características (e.g., semillas lisas y amarillas en uno de los progenitores y semillas arrugadas y verdes en el otro progenitor) le permitió formular una segunda ley, que más tarde fue llamada Principio de la Recombinación Independiente. “El principio implica que en la progenie de híbridos en los cuales varios caracteres esenciales son combinados [...] la relación de cada par de caracteres diferentes en uniones híbridas es independiente de las otras diferencias en las dos stirpes parentales originales.” Corroboró este principio examinando las progenies de plantas que difieren en tres y cuatro caracteres. Predijo correctamente y corroboró experimentalmente que en las progenies de plantas híbridas para n caracteres habrá $3n$ clases diferentes de plantas.

La formulación y la corroboración experimental de los dos principios establecidos (también conocidos como la primera y segunda leyes de la herencia) ocupan aproximadamente la primera mitad del trabajo de Mendel. En este punto Mendel adelanta lo que él propiamente llamó una “hipótesis” o teoría para explicar los resultados experimentales previos y las dos leyes. La segunda

mitad del trabajo está dedicada a deducir predicciones de la teoría y a contrastarlas.

La teoría de Mendel de la herencia contiene los siguientes elementos: 1) para cada carácter, en cualquier planta, sea híbrida o no, hay un par de factores hereditarios (“genes”); 2) estos dos factores son heredados, uno de cada padre; 3) los dos factores de cada par se segregan durante la formación de las células sexuales, de manera que cada célula recibe sólo un factor; 4) cada célula sexual recibe uno u otro factor de un par con una probabilidad de un medio; 5) los factores alternativos para diferentes caracteres se asocian al azar en la formación de las células sexuales.

El bien merecido reconocimiento de Mendel como uno de los más grandes científicos de todos los tiempos se basa particularmente en la formulación de esta teoría de la herencia. Mendel estaba también consciente del estatus lógico de su propuesta, es decir, que era una hipótesis que requería corroboración experimental. Poco después de haber formulado la teoría resumida en el párrafo anterior, escribió: “esta hipótesis bastaría para dar cuenta del desarrollo de los híbridos en generaciones separadas”, esto es, la hipótesis era consistente con los experimentos previos. Pero esto no era suficiente, como él mismo reconoció, ya que la teoría había sido diseñada para concordar con los resultados. Nuevas pruebas serían requeridas. Añadió: “Con el fin de someter estas proposiciones a una prueba experimental, se diseñaron los siguientes experimentos”. Los experimentos fueron dos series de retrocruzamientos que confirmaron la segregación y el arreglo independiente en las células huevo, y luego en las células del polen.

La destrucción del conocimiento por la ideología: Lysenko y la genética en la Unión Soviética

Febrero de 1935. El agrónomo Trofim Denisovich Lysenko —un charlatán oportunista con pretensiones de gran científico revolucionario— se dirige al Segundo Congreso de Granjas Colectivas sobre la penosa situación de la agricultura soviética. Lysenko castiga a los genetistas soviéticos, acusándolos de ser enemigos del pueblo, ya que destruyen la agricultura soviética al depender de teorías abstractas importadas del occidente capitalista. Stalin, que preside el acto, expresa su aprobación: “¡Bravo, camarada Lysenko, bravo!”

La aprobación pública de Stalin consumó el meteórico ascenso de Lysenko al poder y la fama. Por tres largas décadas, hasta la caída de Kruschév, en octubre de 1964, Lysenko y sus partidarios presidieron y controlaron la agricultura soviética, impusieron sus ideas en biología y completaron la eliminación de la genética soviética (y de numerosos genetistas soviéticos que fueron sentenciados a muerte, enviados a campos de concentración, o en el mejor de los casos despedidos de sus trabajos de enseñanza e investigación). En consecuencia, la Unión Soviética, un país con enorme potencial agrícola, devendría, por muchos años, insuficiente en agricultura y se estancaría en biología (contrariamente a su éxito en otras disciplinas, como la física y las matemáticas).

Lysenko denunció a la genética como una ciencia capitalista que perpetuaba la noción de que hay diferencias cualitativas —afirmando que tenían su origen en los genes— entre plantas, animales, o gente. Tales diferencias inmutables no existen, de acuerdo con Lysenko; las diferencias entre los individuos se deben a los efectos del ambiente y pueden ser radicalmente modificadas exponiendo los organismos a retos ambientales apropiados. Por lo tanto, la producción de nuevas cosechas, o su adaptación a nuevos hábitats, no necesita pasar por un largo proceso de selección de los genotipos adecuados, como proponen los capitalistas, sino que puede lograrse simple y rápidamente exponiendo las semillas de plantas jóvenes a las condiciones apropiadas. En la cima de su poder, bajo la aprobación protectora de Stalin, las absurdas ideas de Lysenko incluían la afirmación de que en el ambiente apropiado las plantas de trigo producen semillas de centeno.

Lysenko prometió rápido incremento en la producción de las cosechas y en la transformación de tierras estériles o pobres en tierras fértiles y productivas. Introdujo prácticas como el método de “vernalización” para la adaptación de las semillas a climas duros, o el sistema pastizal de rotación de los cultivos, que resultaron ser enormes catástrofes para la agricultura. Suprimió la investigación en genética y eliminó la enseñanza de esta disciplina en las universidades e institutos de agricultura.

¿Cómo pudieron afirmaciones absurdas de tan enorme magnitud y consecuencia económica persistir por décadas? Por supuesto, tuvieron que ver factores sociales y políticos, entre otros. Lo relevante para el propósito actual es que Lysenko esquivó las prácticas tradicionales de la ciencia. Evitó las pruebas que, diseñadas apropiadamente, pudieran refutar sus teorías y, en su lugar, respaldó sus afirmaciones con experimentos mal elaborados y que pudieran ser interpretados a voluntad. Cualquier evidencia que mostrara lo contrario fue negada o denunciada con base en que nada que contradijera la ideología dominante del marxismo-leninismo podía estar en lo correcto. El enorme fracaso de las prácticas agrícolas de Lysenko fue atribuido a la subversión de los campesinos y de los enemigos del pueblo. Cualquier evidencia, cualquier práctica, cualquier teoría era juzgada por su congruencia con la ideología marxista; sólo aquellas acciones que servían a la causa del Estado soviético estaban justificadas.

Hasta qué punto las consideraciones políticas, en vez de la práctica científica, predominaban en esta historia, se pone de manifiesto en el registro estenográfico de la sesión de la Academia Lenin para la Ciencia de la Agricultura de la URSS (julio 31-agosto 7, 1948). En esa ocasión, Lysenko destruyó lo que quedaba de la genética (y de los genetistas) en la Unión Soviética. En el discurso inaugural, Lysenko declara:

El partido, el Gobierno y personalmente J. V. Stalin, han tenido un interés persistente en el desarrollo ulterior de la enseñanza del Michurin. No hay empresa más honorable para nosotros, como biólogos soviéticos, que el desarrollar creativamente la enseñanza de Michurin. (Ivan Vladimirovich Michurin [1855-1935] fue el horticultor ruso cuyas ideas sobre la herencia de los caracteres adquiridos eran consagradas por Lysenko.)

La transcripción de la última reunión de la sesión de la Academia incluye las observaciones concluyentes de Lysenko:

Camaradas, antes de pasar a mis observaciones concluyentes, considero mi deber hacer la siguiente declaración. Se me pregunta en una de las notas que me han pasado, “¿cuál es la actitud del Comité Central del Partido con respecto a mi reporte?” Yo respondo: El Comité Central del Partido ha analizado mi reporte y lo ha aprobado. (Estruendosos aplausos. Ovociones. Todos de pie.)

¡Viva la enseñanza de Michurin, que muestra cómo transformar a la naturaleza viva para el beneficio del pueblo soviético! (Aplausos.)

¡Viva el partido de Lenin y Stalin, quienes descubrieron a Michurin para el mundo (aplausos) y crearon las condiciones para el progreso y avance de la biología materialista en nuestro país! (Aplausos.)

¡Gloria al gran amigo de la ciencia, nuestro líder y maestro, camarada Stalin! (todos de pie, aplausos prolongados.)

La transcripción completa de la sesión ha sido traducida al inglés y publicada en *The Situation in Biological Sciences* (véase L. Warren y H. Koprowski, 1991, p. 74).

El curioso caso de Darwin o la discrepancia entre lo que los científicos dicen y lo que hacen

Muy pocos científicos en el siglo XIX o en cualquier momento anterior igualan la clara delineación de Mendel del método científico que él seguía. En los países de habla inglesa, los científicos adelantaban sus hipótesis y luego las probaban en su trabajo, pero a menudo afirmaban en sus escritos que seguían la ortodoxia del induccionismo proclamada por los filósofos como el método para la buena ciencia. Darwin es un notable ejemplo de esta discrepancia.

En su Autobiografía, Darwin dice que procedió “según los principios baconianos” y que sus observaciones no estaban hechas “a partir de una teoría” (1958, p. 119). El párrafo inicial de *El origen de las especies* transmite la misma impresión:

Cuando estaba como naturalista a bordo del *Beagle*, me impresionaron mucho ciertos hechos sobre la distribución geográfica de los seres orgánicos que viven en América del Sur y sobre las relaciones geológicas entre los habitantes actuales y los pasados de aquel continente. Tales hechos parecían dar alguna luz sobre el origen de las especies, este misterio de los misterios, como lo ha llamado uno de nuestros mayores filósofos. A mi regreso a Inglaterra, ocurrióme, en 1837, que acaso se podría llegar a descifrar esta cuestión acumulando pacientemente y reflexionando sobre toda clase de hechos que pudiesen tener quizá alguna relación con ella. Después de cinco años de trabajo me permití discurrir especulativamente sobre el asunto y redacté unas breves notas, ampliadas en 1844, formando así un bosquejo de las conclusiones que entonces me parecían probables. Desde este periodo hasta el día de hoy me he dedicado invariablemente al mismo asunto. [Cursivas nuestras.]

En muchos otros escritos, Darwin afirma haber seguido los cánones inductivistas; pero los hechos son muy distintos de estas afirmaciones. Sus notas y su correspondencia privada denotan que formuló la hipótesis de la

transmutación evolutiva de las especies tiempo después de haber vuelto de su viaje en el Beagle, y que la hipótesis de la selección natural se le ocurrió en 1838 —varios años antes de cuando él admite haberse permitido por primera vez 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 evidencias empíricas para corroborar el origen evolutivo de los organismos, y para contrastar su teoría de la selección natural.

¿Por qué esta disparidad entre lo que 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 entre todos los científicos, también afirmaba *Hypotheses non fingo* (“yo no fabrico hipótesis”). Darwin expresaba disgusto y, más aún, desprecio por las hipótesis que no pueden ser contrastadas empíricamente. Acerca de Herbert Spencer escribió:

Su manera deductiva de tratar cualquier tema es totalmente opuesta a mi manera de pensar. Sus conclusiones nunca me convencieron[...] sus generalizaciones fundamentales (¡que han sido comparadas en importancia por algunas personas con las leyes de Newton!) las cuales, me atreveré a decir, pudieran ser muy valiosas desde un punto de vista filosófico, son de tal naturaleza que no me parece que sean de ningún valor estrictamente científico. Se trata más de definiciones que de leyes de la naturaleza. No me ayudan a predecir qué sucederá en cualquier caso particular [1958, p. 109].

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, 2:323; véase también Hull, 1973). De manera semejante, los científicos de hoy en día, jóvenes o no, frecuentemente reportan

sus trabajos de manera que hacen que sus hipótesis parezcan 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 y describir los 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, 1:195). 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. Y confesaba: “No puedo evitar formular una [hipótesis] sobre cada tema” (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 sólo ha puesto en 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; y 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 hipotéticodeductivo. 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 la sistemática, la paleontología, la biogeografía, la anatomía comparada, la embriología comparada y la 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 condujo hacia el hombre se separó de los linajes que condujeron 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, en contraste con el chimpancé y el gorila con respecto al orangután. Un gran número de predicciones empíricas puede ser derivado 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 presenta cualquiera de los dos en relación 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 está 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 tienen un papel más importante en ciertas disciplinas biológicas, como la sistemática y la biogeografía, que en 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.

Reemplazo de teorías: el flogisto y Lavoisier; la mecánica newtoniana y Einstein

La ciencia es progresiva. Las teorías que son aceptadas en un momento dado, pueden ser rechazadas después. Más común aun, sin embargo, particularmente en las disciplinas bien desarrolladas, es que una teoría que explica mucho de lo que se sabe, es eventualmente reemplazada por una teoría distinta que explica los mismos fenómenos, así como otros más que la primera dejaba sin explicar. Dos ejemplos ilustran ambas situaciones: la teoría del flogisto que fue reemplazada por el descubrimiento del oxígeno por Lavoisier y su teoría de la combustión, y la teoría de Newton sobre el movimiento, que fue reemplazada por la teoría de la relatividad.

Johann Becher propuso en 1669 que la materia consistía de tres tipos de tierra: la vitrificable, la mercúrica y la combustible. Una sustancia como la madera consistía en tierra combustible más cenizas. Cuando la madera se quemaba, la tierra combustible era liberada. Medio siglo después, la tierra combustible hipotética fue llamada “flogisto” por Georges Stahl, quien afirmaba que la corrosión de los metales también era una forma de combustión, y que en el proceso se perdía flogisto. La teoría del flogisto fue aceptada por Joseph Priestley y otros eminentes científicos del siglo XVIII.

La teoría del flogisto fue demolida por Antoine Lavoisier en una serie de experimentos publicados en 1787. Esta publicación fue seguida en 1789 por su *Traité élémentaire de chimie*, que bien podría ser considerado el tratado que da inicio a la química moderna. Lavoisier rechazaba la teoría del flogisto con la base de que conducía a predicciones erróneas. Primero notó que las cenizas de la madera y otras sustancias orgánicas quemadas pesaban menos que las mismas sustancias antes de ser quemadas, mientras que el sulfuro y el fósforo pesaban más, aunque el flogisto hubiera sido liberado en ambos casos de acuerdo con la teoría. Lavoisier contrastó la teoría del flogisto, pesando sistemáticamente todas las sustancias involucradas en la combustión o en la calcinación de una gran variedad de sustancias orgánicas así como de metales. Estos experimentos manifestaron la presencia de dos sustancias en el aire; una (a la cual llamó oxígeno) era absorbida al quemar, la otra era el aire “no vital” (nitrógeno) que se quedaba como residuo. Entonces propuso que la combustión no era el resultado

de la liberación del flogisto hipotético, sino de la combinación de la sustancia que se quemaba con el oxígeno. Contrastó su teoría con experimentos diseñados cuidadosamente, en los que todas las sustancias involucradas eran pesadas antes y después de ser quemadas; e incluso extendió la teoría a otros procesos que implicaban oxidación, como la oxidación del hierro, y otros fenómenos naturales. De manera similar, Lavoisier explicó que el producto de la combinación del oxígeno con el hidrógeno era el agua. Aplicó esta metodología de contrastar teorías por medio de la predicción de sucesos y la medición precisa de sus resultados, para resolver numerosas cuestiones de interés público. Es bien conocido que en una ocasión colaboró con Benjamin Franklin para bajar de su pedestal a Franz Anton Mesmer, quien afirmaba que era capaz de curar por medio de “magnetismo animal”.

La teoría del flogisto también ilustra una importante dimensión del proceso científico: la aversión de los científicos por rechazar las teorías aceptadas antes de que sea formulada otra que dé cuenta de los fenómenos explicados por la teoría preexistente. Joseph Priestley y otros científicos contemporáneos suyos siguieron aceptando durante algún tiempo la teoría del flogisto, aun a la luz de experimentos refutadores. La teoría del flogisto sólo fue generalmente rechazada hacia finales del siglo XVIII, después de que Lavoisier había desarrollado y corroborado su propia teoría de la combustión.

El avance científico ocurre no sólo, como en el caso del flogisto, por medio del reemplazo de una teoría errónea por una correcta, sino también por el reemplazo de una teoría correcta en lo general por otra más precisa o más inclusiva. Los ejemplos son numerosos. Un caso famoso es el reemplazo de la mecánica newtoniana por la teoría de la relatividad de Einstein. Como es común en el progreso del conocimiento científico, las predicciones hechas por la teoría anterior son en general correctas, razón por la cual la teoría, en este caso la mecánica newtoniana, ha pasado numerosas contrastaciones y ha sido generalmente aceptada. Pero la nueva teoría científica es 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 incluir fenómenos explicados por teorías diferentes o, más aún, por disciplinas distintas. Un ejemplo es la mecánica estadística, que fue capaz de explicar muchas conclusiones de la termodinámica una vez que se descubrió que la temperatura de un gas refleja la energía cinética de sus moléculas.

En el caso de Einstein vis a vis Newton es particularmente interesante que las

afirmaciones fundamentales de la teoría newtoniana, e.g., que la masa es constante y que espacio y 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.

Isaac Newton (1642-1727) es uno de los grandes científicos de todos los tiempos. Formuló las leyes del movimiento, así como la ley de la gravedad; desarrolló una teoría de la luz, inventó el cálculo, y mucho más. El gran número de descubrimientos de Newton incluye soluciones del llamado “problema de dos cuerpos”, i.e., la configuración y dimensiones de las órbitas planetarias; la masa de la Luna (un octavo de la de la Tierra), calculada por la elevación de las mareas; la inclinación del eje de la Tierra (23.5 grados) que da cuenta de las estaciones del año; el tamaño de la convexidad de la Tierra en el ecuador; y demostró que los tiempos de las órbitas planetarias deberían ser proporcionales al cuadrado de sus distancias al Sol, en vez de tres mitades, como lo predijo Descartes.

Albert Einstein (1879-1955) es otro científico gigante. Como Newton, hizo descubrimientos de importancia monumental. En 1905, formuló la teoría especial de la relatividad, la cual establece que la masa de un cuerpo no es constante, como fue asumido por la teoría de Newton y por la experiencia del sentido común, sino que se incrementa con la velocidad del cuerpo y tiende a infinito a medida que la velocidad del cuerpo se acerca a la velocidad de la luz. (La ecuación es

$$m = \frac{m_0}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}$$

donde m_0 es la masa en reposo, v es la velocidad del cuerpo, y c es la velocidad de la luz en el vacío.) La teoría general de la relatividad de Einstein (1916) establece que la masa no es constante, y que por el contrario puede ser convertida en energía, como expresó por medio de la famosa ecuación $E = mc^2$; que, contrariamente a la experiencia del sentido común y a la teoría de Newton, el espacio y el tiempo no son absolutos; que dos mismos eventos pueden ser simultáneos para un observador, pero no para otros observadores; que la velocidad de la luz es la velocidad máxima posible en el universo; que el ritmo de un reloj en movimiento decrece a medida que su velocidad aumenta (y en consecuencia que si un viajero del espacio dejara a su hermano gemelo en la Tierra mientras él viajara a gran velocidad durante un año, al regresar descubriría que era más joven que su hermano gemelo); y otras consecuencias similares. La teoría especial de la relatividad está ahora bien confirmada y la teoría general se ha mostrado consistente con algunos experimentos críticos diseñados para contrastarla. Con respecto a fenómenos de experiencia ordinaria, los resultados predichos por la relatividad y por la mecánica newtoniana son virtualmente idénticos. En cambio, para fenómenos que ocurren a velocidades cercanas a la velocidad de la luz, las dos teorías discrepan de manera importante.

El conocimiento científico frecuentemente avanza por la sustitución y suplementación de una teoría por otra más completa, más precisa, y más comprehensiva. 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 acelerada: la vacuna fallida de Robert Koch contra la tuberculosis

Hacia la mitad de sus 30 años, Robert Koch (1843-1910) era ya considerado un científico distinguido. Ejerciendo como médico y trabajando en un modesto laboratorio que construyó en su propia casa (en la pequeña ciudad de Wollstein en el norte de Alemania), desarrolló métodos para cultivar y fotografiar bacterias. Esos métodos lo llevaron al descubrimiento del ciclo de vida del ántrax (lo cual hizo posible explicar la recurrencia de una enfermedad en grandes pastizales abandonados por mucho tiempo). Después adquirió un puesto científico en Berlín, donde empezó a investigar la tuberculosis, la mayor causa de mortandad en el siglo XIX. El 24 de marzo de 1882, anunció que había descubierto el origen de la tuberculosis, el *tubérculo bacillus*, descubrimiento que le trajo mayor fama y más tarde el premio Nobel.

Koch aisló y cultivó al *tubérculo bacilo* y comenzó a buscar una cura para la tuberculosis. Pronto anunciaría que había descubierto una sustancia que podría proteger contra la tuberculosis e incluso la curaría. Ese anuncio fue recibido en el mundo como una bomba. Diarios ingleses como *The Lancet* y *The British Medical Journal* publicaron la traducción completa del artículo, y el *Review of Reviews* le dedicó casi un número completo al asunto. Arthur Conan Doyle (creador de Sherlock Holmes), quien aún ejercía la medicina cuando era ya un escritor bien conocido, llegó a Berlín poco tiempo después del anuncio, y pronto publicaría un artículo sobre Koch y su descubrimiento.

Dos cosas importunaron el anuncio de Koch. Una fue que rechazó en un principio revelar la naturaleza de la sustancia curativa, aunque si bien lo hizo un año después bajo la presión de la crítica pública. El segundo asunto puede estar relacionado con el primero: la contrastación experimental de la vacuna de Koch estuvo virtualmente ausente. Eventualmente fue probada su ineficacia curativa y preventiva. Koch presupuso, basado en evidencia limitada, que habiendo inyectado bacilos muertos a una persona, si ésta más tarde fuera infectada con bacilos vivos, el resultado sería una reacción local que podría proteger a la persona. En cualquier caso la reacción local serviría para propósitos de diagnóstico. Quizás por su éxito temprano (que incluye el descubrimiento del agente del cólera y su manera de transmisión), Koch se persuadió de que su hipótesis para el diagnóstico y la cura de la tuberculosis probaría ser correcta. De

este modo, procedió a anunciarlo como un método curativo sin ninguna contrastación adecuada. The British Medical Journal, el cual celebró prematuramente el anuncio original, publicó un artículo devastador condenando a Koch por haber intentado guardar en secreto la composición de la sustancia y por haberla recomendado como remedio sin haber hecho pruebas adecuadas.

El contexto explicativo del descubrimiento, o por qué la contrastación no es suficiente: el DNA de Avery

y la deriva continental de Wegener

La contrastación empírica puede ser necesaria, pero no es suficiente para que la comunidad científica acepte una nueva hipótesis. Una hipótesis que ha resistido aun los intentos más severos para refutarla no será aceptada a menos que tenga valor explicativo; i.e., a menos que pueda ser entendida en el contexto científico contemporáneo y a menos que haga inteligible el problema en mano. Hay varios casos notables de descubrimientos científicos que no fueron aceptados en su momento porque eran “prematurados”, contextualmente no eran inteligibles. El descubrimiento de Mendel de las leyes de la herencia puede caber en esta situación. Dos ejemplos más recientes son, uno, el descubrimiento de Oswald Avery y sus colegas de que el DNA es la sustancia hereditaria (en lugar de las proteínas, como generalmente se creía en esa época); y dos, la teoría de la deriva continental propuesta por Alfred Wegener.

Avery fue un científico distinguido en una de las principales instituciones de investigación, el Instituto Rockefeller para la Investigación Médica en Nueva York. En 1944 publicó un trabajo, con sus colegas C. M. MacLeod y M. McCarty, mostrando que el “factor transformador” responsable de la especificidad hereditaria de la bacteria *Pneumococcus* (agente de la pulmonía severa) era el ácido desoxirribonucleico (DNA) y que las proteínas no estaban involucradas del todo. Avery llevó a cabo series cuidadosas de diversos y muy específicos experimentos que definitivamente identificaron al DNA como el factor transformante y excluye a otras especies moleculares. No hubo objeción a los resultados experimentales, pero la comunidad científica se rehusó por varios años a aceptar que el DNA es la sustancia de la herencia. Esta renuencia derivaba precisamente de lo que se conocía del DNA, “conocimiento” que establecía la imposibilidad para el DNA de codificar la información hereditaria. Impensadamente sucedió que “lo que se conocía” acerca del DNA estaba equivocado; aparentemente al menos un hecho inconsecuente lo estaba. El DNA vino a ser aceptado como la sustancia hereditaria sólo después de que el “detalle” equivocado fue corregido.

El ácido nucleico fue descubierto en 1869 por Johann Friedrich Miescher, un suizo de 25 años de edad. Para la década de los veinte se llegó a conocer dos tipos de ácidos nucleicos (RNA, i.e., ácido ribonucleico, y el DNA) y después de esto su composición fue pronto elucidada. Se mostró que el DNA está integrado con cuatro componentes relativamente simples (nucleótidos) muy parecidos entre sí en todo respecto, excepto en sus bases nitrogenadas, cada una de las cuales podría ser de uno de cuatro tipos: adenina, guanina, citosina y timina (usualmente representadas por A, G, C y T). Mucho del conocimiento relevante viene de Phoebius Aaron Levene, un químico orgánico de alta reputación que también trabajaba en el Instituto Rockefeller. Levene propuso que el DNA estaba hecho de largas repeticiones de los cuatro nucleótidos seguidos uno de otro en una forma invariante. Fue llamada “hipótesis del tetranucleótido”, la que fue aceptada sin ninguna objeción —en gran parte porque mediciones exactas de las proporciones de los cuatro nucleótidos no eran posibles con los métodos analíticos de química disponibles en la época, pero además porque fue incorporada en el modelo para la composición de DNA elucidado por el altamente reconocido Levene.

La hipótesis del tetranucleótido hacía imposible que el DNA pudiera ser el portador de la información hereditaria. Una repetición interminable de los mismos cuatro componentes en el mismo orden no puede codificar información de ningún tipo, por la misma razón que una repetición de las mismas cuatro letras del alfabeto español no puede transmitir información semántica, no importando cuán larga sea la secuencia. Por el contrario, se conocía que las proteínas estaban hechas de unos veinte aminoácidos diferentes, los cuales varían en proporción de una a otra proteína. Las proteínas, por lo tanto, podrían ser una molécula informativa, mientras que el DNA era una molécula “estúpida”. Dado que proteínas y DNA estaban ambos presentes en el núcleo de la célula, se asumió generalmente que las proteínas probarían ser las portadoras de la información hereditaria. En cualquier caso, el DNA no lo podía ser; los experimentos de Avery no aguantaron, porque podrían no llevar información. Más tarde, después de que el químico Erwin Chargaff de la Universidad de Columbia mostrara que las proporciones de las cuatro bases, A, T, C, y G, varían de un organismo a otro y que la hipótesis del tetranucleótido era errónea, el DNA vino a ser prontamente aceptado como el material químico de la herencia. La carrera para determinar su estructura se puso en marcha, una hazaña que fue realizada en 1953 por James Watson y Francis Crick.

Un estado de acontecimientos un poco diferentes, pero basados en la misma

necesidad de valor explicativo, es el caso de Alfred Wegener, un geólogo y meteorólogo respetado, quien propuso primero en 1912, y desarrolló en 1915, la hipótesis de la deriva continental. Él notó la forma complementaria de la línea de costa en ambos lados del Atlántico y revisó la evidencia geológica y paleontológica esparcida en la literatura, lo que le permitió concluir que durante el Paleozoico tardío (225 a 350 millones de años) todos los continentes estuvieron ensamblados en un único supercontinente, al cual nombró “Pangea”.

Wegener contrastó su hipótesis de que los continentes se mueven a la deriva, buscando en la literatura evidencias geológicas, biogeográficas y paleoclimatológicas relevantes. Las evidencias eran extraordinarias; mostraban, por ejemplo, que los estratos y los pliegues en los lados opuestos del Atlántico encajaban precisamente unos con otros, y se extendían más allá de las líneas de costa en patrones complementarios. Wegener, sin embargo, fue incapaz de producir una explicación convincente de cómo los continentes podrían moverse. Su hipótesis fue rechazada con incredulidad y la evidencia relegada a una simple coincidencia. Sólo tres décadas después la deriva continental sería aceptada, una vez que la teoría de la tectónica de placas proporcionara un mecanismo plausible para el desplazamiento continental.

Mecanismos sociales: revisión y publicación

El proceso de contrastar una hipótesis científica puede validarla o refutarla. La validación puede ser más tarde derribada. La refutación es un método lógico conclusivo: si una consecuencia necesaria de una premisa es falsa, entonces la premisa también debe ser falsa. Pero los procesos de validación y refutación están sujetos a error. Por ejemplo, pueden llegar a conclusiones erróneas si se da el caso de que la predicción contrastada en realidad no sigue lógicamente de la hipótesis. Además, observaciones o experimentos que contradicen a una hipótesis pueden haber sido ejecutados o interpretados erróneamente. Por esto, los científicos requieren que sus experimentos se publiquen con suficiente detalle, de modo que puedan ser repetidos. La repetición actual de experimentos es, no obstante, selectiva. Usualmente está reservada para experimentos de significancia inusual o para aquéllos que contradicen conocimientos bien establecidos. Confrontados con un nuevo resultado que impacta su propio trabajo, en general los científicos no proceden a repetirlo, sino, más bien, se basan en tales resultados cuando formulan sus propias hipótesis y diseñan sus propios experimentos. Si el resultado de los experimentos es inesperado, pueden regresar sobre los resultados originales y repetir, para asegurarse de que son válidos. Pero entonces queda el riesgo de perder tiempo, recursos y prestigio a lo largo del camino.

Para minimizar dichos problemas, los mecanismos de revisión han venido a ser parte integral de la ciencia. La comunidad científica busca simultáneamente estimular el pensamiento innovador y asegurar que las nuevas ideas son revisadas rigurosamente. Por un lado, la ciencia es un proceso creativo en el cual el avance ocurre sólo si las investigaciones son alentadas a desarrollar y contrastar ideas innovadoras. De hecho, la comunidad científica reserva los más altos honores para aquellos individuos que se han arriesgado a tomar perspectivas novedosas para resolver cierto problema. Por otro lado, precisamente porque la ciencia es una actividad acumulativa en la cual cada científico debe construir sobre el trabajo de otros, la comunidad científica tiene gran interés en echar fuera ideas falsas. Por lo tanto, la creatividad es templada por la necesidad de revisiones rigurosas de los nuevos resultados.

Las revisiones hechas por los pares representan un esfuerzo tanto de vigilar los

resultados científicos, como de asegurar su disseminación lo más ampliamente posible. La presión que los científicos tienen de publicar deriva no sólo del interés de reconocimiento y desarrollo profesional, sino también del deseo que ellos tienen de estar informados sobre nuevos descubrimientos que puedan guiar su propio trabajo. Porque someter un trabajo para su revisión por pares es la mejor manera de difundir y de establecer prioridades; tanto para difundir nueva información, como para controlar su calidad. Las observaciones de los pares contribuyen al desarrollo de la ciencia, puesto que ayudan a los proponentes de nuevas hipótesis a mejorar sus investigaciones e interpretaciones.

El escrutinio del arbitraje por pares de la ciencia ocurre en una amplia variedad de contextos. Revisión informal puede ocurrir cuando los científicos discuten su trabajo entre ellos en las bancas del laboratorio, durante conversaciones y seminarios, en encuentros científicos. El arbitraje formal generalmente es una parte integral del proceso de publicación científica y del proceso por el cual las bolsas de investigación y otros recursos son distribuidos. Una conclusión que cambia significativamente el cuerpo del conocimiento científico debe ser tomada escépticamente en tanto no haya sido sujeta a revisión por pares y otras formas de arbitraje y escrutinio, incluyendo preferiblemente su publicación en una revista prestigiosa. La publicación en una revista que incluya el arbitraje por pares no garantiza por sí misma la validez de los resultados publicados; no hay tampoco razón para rechazar cualquier trabajo que no ha sido publicado en una revista prestigiada. Pero se debe tratar con suma sospecha cualquier conclusión que no haya sido sujeta al arbitraje.

El arbitraje retrasa algo la publicación de los resultados, pero ese retraso y el largo tiempo que los examinadores y los editores de las revistas dedican a tal proceso están justificados por la necesidad de eliminar resultados erróneos. El proceso de arbitraje está sujeto al error humano y los prejuicios, pero es el más accesible y a menudo el elemento más confiable del proceso de invención, validación y refinamiento por el cual el conocimiento científico avanza.

El arbitraje no impide las nuevas ideas. Los editores de revistas y el “establishment científico” no son hostiles hacia los nuevos descubrimientos. La ciencia prospera gracias a los descubrimientos; y las publicaciones científicas compiten para dar a conocer nuevos avances. Los premios más prestigiados son concedidos a aquellos científicos que hacen los más dramáticos e intrépidos descubrimientos, aun cuando éstos contradigan teorías veneradas. Nos hemos referido antes al carácter revolucionario de la teoría de la relatividad de Einstein

y al avance explosivo de la biología molecular disparada por una secuencia de descubrimientos inesperados, recompensados por el premio Nobel y por otros premios, que contradecían presupuestos previos.

Equivocaciones, errores, fracasos y prejuicios infectan la ciencia así como otras actividades humanas. Pero el largo y siempre expansivo cuerpo del conocimiento científico y sus aplicaciones útiles atestiguan el éxito de la empresa científica. La metodología distintiva de la ciencia da cuenta en parte de ese éxito, pero los mecanismos institucionales que se han desarrollado, también contribuyen a él.

II. La estructura de las revoluciones científicas: Thomas Kuhn

LA IDEA FUNDAMENTAL DE KUHN (1962) ES ÉSTA: la ciencia se desarrolla en dos etapas. Una a la que denomina ciencia normal, y otra a la que llama ciencia revolucionaria. La primera está caracterizada por la acumulación del conocimiento dentro de los cauces establecidos por una comunidad científica; en la segunda se rompen esos cauces y se establecen nuevas 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 sustituye a otro, rebate 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.

Hasta aquí se han mencionado tres de los conceptos básicos de Kuhn: ciencia normal, ciencia revolucionaria y paradigma. Otras nociones fundamentales son la inconmesurabilidad de los paradigmas sucesivos y la idea del consenso de la comunidad científica como proceso de validación del conocimiento científico.

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 (1971, 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 (1971, p. 92).

En este último párrafo hay dos nociones que explicar, la de paradigma y la de enigma. Kuhn ha utilizado de distintas maneras la voz paradigma, de forma que

parece estar aplicando el mismo término a varios conceptos (véase Masterman, 1975). Sin embargo hay una acepción que es la más general y la más importante en su metodología: la noción de paradigma como el conjunto de realizaciones que comparten dos características, a saber, definición de los problemas y formulación de los métodos legítimos de un campo de investigación para generaciones sucesivas de científicos. Las transformaciones de los paradigmas 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 (1971, p. 36).

Puesto que Kuhn considera a la actividad normal de los científicos como aquella cuyo fin consiste en resolver enigmas, es importante precisar que los enigmas son como rompecabezas; son problemas que ponen a prueba al científico, no al paradigma. Si el investigador no puede resolver un problema aplicando el paradigma, ello habla de su incapacidad y no de que el paradigma sea incorrecto. Para explicar esta posición, Kuhn pone de ejemplo las normas del juego de ajedrez. Si un jugador falla, se demuestra que no es un buen ajedrecista; no que las normas del juego están mal. De forma similar le sucede al científico que aplica un paradigma. La prueba de su error es que otro científico pueda explicar el problema aplicando el mismo paradigma. Pero, ¿cuándo se da el caso de que un enigma se convierte en anomalía? Es decir, ¿cuándo se demuestra que no es la incapacidad del científico sino la limitación del paradigma lo que impide resolver el problema? Sólo cuando se presenta un nuevo paradigma 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:

Tratar de reducir una anomalía es tarea fructífera sólo cuando la anomalía es algo más que trivial. Habiéndola descubierto, lo primero que hace el científico, igual que sus colegas, es lo mismo que están haciendo actualmente los físicos nucleares. Luchan por generalizar la anomalía, por descubrir otras manifestaciones reveladoras del mismo efecto, a fin de conferirle estructura examinando sus complejas relaciones recíprocas con los fenómenos que, creen ellos, entienden todavía. Muy pocas anomalías son susceptibles de esta clase de tratamiento. Para que lo sean, deben estar en conflicto explícito e inequívoco con alguna afirmación que se encuentre en algún lugar clave de la doctrina científica presente. Por consiguiente, reconocerla y evaluarla depende de un firme

compromiso hacia la tradición científica contemporánea [1982, p. 259].

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

La constitución de una ciencia madura tiene lugar en un proceso tendiente a la homogeneización del conocimiento, y por eso podría decirse que hay tendencia a la constitución en hegemónico de un paradigma. En las primeras etapas del desarrollo de cualquier ciencia, escribe Kuhn, 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 con el tiempo a eliminarse. Pero desaparecen hasta un punto muy considerable y, aparentemente, de una vez por todas. Lo importante aquí es que se extinguen por el triunfo de una de las escuelas que competían por constituir en hegemónico el nuevo paradigma (1971, p. 42). Puede decirse que se establece una competencia entre paradigmas alternativos y que el consenso de la comunidad científica define cuál es el paradigma que aceptará como modelo científico.

Cuando un paradigma logra su hegemonía sobre los paradigmas alternativos afecta la estructura del grupo que practica en ese campo, a tal grado que puede provocar la desaparición de las escuelas antiguas por la conversión de sus miembros al nuevo paradigma. Los miembros que se aferran a alguna de las viejas opiniones son excluidos de la profesión que, a partir de entonces, pasa por alto sus trabajos (1971, p. 46). La ciencia normal se basa en el compromiso con los paradigmas compartidos, y dicho compromiso es requisito previo para la continuación de una tradición particular de la investigación. En este contexto, un paradigma raramente es un objeto de renovación; en lugar de ello, afirma Kuhn, es un objeto para una mayor articulación y especificación, en condiciones nuevas o más rigurosas (1971, p. 51). Esto se debe, sigue Kuhn, a lo limitado que en alcance y precisión puede ser un paradigma en el momento de su primera aparición. Los paradigmas obtienen su posición (status) como tales, gracias a que tienen más éxito que sus competidores para resolver unos cuantos problemas que el grupo de profesionales ha llegado a reconocer como importantes. Pero es más que nada una promesa de éxito. La ciencia normal consiste en la realización de esa promesa, una realización lograda mediante la ampliación del

conocimiento de aquellos hechos que el paradigma muestra como particularmente reveladores, aumentando la extensión del acoplamiento entre esos hechos y las predicciones del paradigma y por medio de la articulación ulterior del paradigma mismo. 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.

Convencidos de que el paradigma posibilitará el avance del conocimiento, señala Kuhn, los científicos de determinada área lo aplican, lo revisan, lo limpian. Con base en el paradigma tratan de explicar toda observación, todo experimento. Parecen estar obligando a la naturaleza a encajarse en los límites preestablecidos y relativamente inflexibles que proporciona el paradigma. En dicha etapa no se tiene como objetivo el provocar nuevos tipos de fenómenos; en realidad, a los fenómenos que no encajan dentro de los límites mencionados frecuentemente ni siquiera se les observa. El paradigma no sólo limita la observación de fenómenos nuevos, sino también el planteamiento de nuevas teorías. Es indudable, comenta Kuhn, que a menudo los científicos se muestran intolerantes con los colegas que formulan teorías alternativas.

Esto último parece tener consecuencias negativas en el avance de la ciencia. Sin embargo Kuhn analiza los efectos positivos que también produce la hegemonía de un paradigma: al enfocar la atención sobre un cuadro pequeño de problemas relativamente esotéricos, el paradigma obliga a los científicos a investigar alguna parte de la naturaleza de una manera detallada y profunda que sería inimaginable en otras condiciones. Y la ciencia normal posee un mecanismo interno capaz de hacer que cuando el paradigma del que se procede deja de funcionar de manera efectiva, se asegure el relajamiento de las restricciones que atan a la investigación. En ese punto los científicos comienzan a comportarse de manera diferente, al mismo tiempo que cambian sus problemas de investigación (1971, p. 92). Es decir, la investigación bajo un paradigma debe ser particularmente efectiva, como método, para producir cambios de dicho paradigma.

Por lo tanto, hay dos formas en que avanza el conocimiento científico. Kuhn ha denominado conocimiento convergente al que es resultado de la aplicación acrítica del paradigma, y pensamiento divergente al que conduce a las revoluciones científicas. La relación entre estas dos formas de pensamiento

produce una tensión (la “tensión esencial”). Tal tensión se produce porque ambas entran en conflicto:

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].

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 de descubrimientos importantes y de 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).

Para mostrar lo que entiende por ciencia normal, Kuhn la divide primero en actividades teóricas y fácticas, y pasa entonces a clasificar los problemas en los que se trabaja.

Respecto a la actividad observacional y experimental, sostiene que la investigación normal detecta sólo tres tipos de fenómenos como focos normales para la investigación científica (1971, pp. 54-61):

1. Los hechos que el paradigma ha mostrado que son particularmente reveladores de la naturaleza de las cosas. Los esfuerzos por aumentar la exactitud y el alcance con que se conocen estos hechos ocupan una parte

importante de la literatura de la ciencia fáctica. Algunos ejemplos son: los puntos de ebullición y acidez de las soluciones, las longitudes de onda, la posición y magnitud de las estrellas; en biología los números cromosómicos, las secuencias génicas, etc. Algunos científicos han adquirido gran reputación, no por la novedad de sus descubrimientos, sino por la precisión, la seguridad y el alcance de los métodos que desarrollaron para la redeterminación de algún hecho previamente conocido.

2. Los hechos que, aunque no tengan a menudo mucho interés intrínseco, pueden compararse directamente con predicciones de la teoría del paradigma. Este tipo de hechos tiene gran importancia en los campos en los que es difícil que la teoría pueda contrastarse directamente con la realidad (sobre todo cuando la teoría es formulada de manera predominantemente matemática). Aquí Kuhn se refiere sobre todo a observaciones que se obtienen con aparatos elaborados con el fin de confirmar el paradigma. La existencia del paradigma establece el problema que debe resolverse; con frecuencia, agrega, la teoría del paradigma se encuentra implicada de manera directa en el diseño del aparato capaz de resolver el problema. Por ejemplo, sin los Principia, las mediciones realizadas por la máquina de Atwood (sobre la segunda ley de Newton) no hubieran podido significar nada en absoluto.

3. Los experimentos y observaciones que permiten la articulación de la práctica y la teoría del paradigma, resolviendo algunas de sus ambigüedades residuales y permitiendo resolver problemas hacia los que anteriormente sólo se había llamado la atención. La realización de este tipo de experimentos sólo puede plantearse a la luz del paradigma. Ejemplos de experimentos incluidos en este tercer grupo son los que han permitido: a) la determinación de constantes universales (por ejemplo, la carga electrónica y el número de Avogadro) — podría incluirse aquí el código genético, que es universal en el núcleo celular de todos los seres vivos— b) el establecimiento de leyes cuantitativas, (por ejemplo, la ley de Boyle, que relaciona la presión del gas con el volumen). La necesidad de la preexistencia de un paradigma previo para este tipo de mediciones demuestra para Kuhn, las dificultades del método inductivo, pues tales resultados son relevantes sólo en un contexto teórico; y c) la elección entre teorías y métodos alternativos en el estudio de un fenómeno.

Kuhn propone que los problemas teóricos de la ciencia normal pueden

organizarse en las mismas clases que los de la ciencia empírica (1971, pp. 61-66):

1. Una parte pequeña del trabajo teórico normal consiste en el uso de la teoría existente para predecir información fáctica relevante. Se trata de manipulaciones de la teoría emprendidas por la necesidad de buscar el acuerdo entre la teoría y la naturaleza, es decir, para hacer posible confrontar la teoría con el experimento. Por ejemplo, escribe Kuhn, en los siglos XVIII y XIX, Bernoulli, Euler, Lagrange, Laplace y Gauss realizaron parte de sus trabajos más brillantes en problemas destinados a mejorar la concordancia entre el paradigma de Newton y la naturaleza. En biología, gran parte de la investigación postdarwiniana ha tenido como fin la extensión del darwinismo a todo tipo de disciplinas biológicas.

2. Otra parte del trabajo teórico normal consiste en aclarar, por medio de la reformulación del paradigma. En general, es inevitable que la primera formulación de una teoría sea tosca, poco clara. Un ejemplo es el esfuerzo de los neodarwinistas en comprender y mejorar la teoría de la especiación de Darwin, o incluso el concepto de selección natural; numerosos estudios recientes han tenido como objetivo precisar las teorías y conceptos darwinianos.

3. La articulación de los paradigmas es un problema a la vez teórico y experimental. La actividad de los científicos que trabajan tanto con teorías como con hechos no produce simplemente una nueva información sino un paradigma más preciso, obtenido mediante la eliminación de ambigüedades retenidas en el original. En casi todas las ciencias, agrega Kuhn, la mayor parte del trabajo normal es de ese tipo.

Estas tres clases de problemas —la determinación del hecho significativo, el aumento en la precisión del paradigma y la articulación de la teoría— constituyen el trabajo de la ciencia normal. El abordar los problemas científicos de esta manera es lo que da a la ciencia normal su carácter acumulativo. Sin embargo, dice Kuhn, en ocasiones especiales surgen problemas extraordinarios, surgidos en el avance de la investigación normal. Esto da lugar a la deserción de algunos de los científicos del paradigma. Estas deserciones son los puntos de apoyo sobre los que giran las revoluciones científicas.

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 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 reemplazada con otra nueva e incompatible. Por último, ambos destacan el papel desempeñado por el fracaso ocasional de una teoría preexistente en satisfacer las exigencias de la lógica, el experimento o la observación.

Según Popper, las revoluciones científicas se inician con un experimento u observación crucial, una noción equivalente del “hecho significativo” o “problema extraordinario” de Kuhn. Se sigue entonces el acomodamiento entre hecho y teoría: la elaboración de la conjetura en Popper, la articulación del paradigma en Kuhn. El hecho significativo equivale a la observación falsadora de Popper: es una anomalía para la teoría predecesora. Pero Popper niega la existencia de todo proceso de verificación y “en su lugar, hace hincapié en la importancia de la falsación, o sea de la prueba que, debido a que su resultado es negativo, hace necesario rechazar una teoría establecida. Claramente, el papel atribuido así a la falsación se parece mucho al que en este ensayo atribuimos a las experiencias anómalas; o sea las experiencias que, al provocar una crisis, preparan el camino hacia una nueva teoría” (Kuhn, 1971, p. 227). Kuhn explica que hay diferencias esenciales entre su propuesta de las anomalías productoras

de crisis y los experimentos falsadores de Popper. En primer lugar, subraya Kuhn, ninguna teoría resuelve nunca todos los problemas con que en un momento dado se enfrenta, ni es frecuente que las soluciones ya alcanzadas sean perfectas. Precisamente durante la fase de ciencia normal, los científicos intentan ajustar la teoría y los datos existentes. Entonces la cuestión es si un dato que no se ajusta a la teoría es una refutación contundente; la respuesta, afirma Kuhn, enfrenta el mismo tipo de dificultades que obsesiona a los partidarios de las diversas teorías de verificación probabilista.

Los experimentos cruciales de Popper producen competidores para un paradigma existente, sostiene Kuhn,

pero la demostración de falsación aunque seguramente tiene lugar, no aparece con el surgimiento, o simplemente a causa del surgimiento de una anomalía o de un ejemplo que demuestre la falsación. En lugar de ello, es un proceso subsiguiente y separado que igualmente bien podría llamarse verificación, puesto que consiste en el triunfo de un nuevo paradigma sobre el anterior. Además, es en este proceso conjunto de verificación y demostración de falsación en donde desempeña un papel crucial la comparación probabilista de teorías [1971, p. 228].

La diferencia sustancial consiste en que, según Popper, la teoría se pone a prueba y es o no falsada según el resultado empírico; según Kuhn, lo que está a prueba es la capacidad del científico para realizar el ajuste entre la teoría y la observación, que es parte de la actividad normal del científico. La diferencia, entonces, se encuentra en la concepción que ambos tienen acerca de “ciencia normal”.

Popper coincide con Kuhn en la existencia de una ciencia normal, pero mientras Kuhn la considera 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].

En fin, no es que para Popper no exista lo que Kuhn denomina “ciencia normal”, sino que ésta tiene poca importancia en el desarrollo de la ciencia; en todo caso lo frena. Para Popper, los verdaderos científicos son, en cada momento de su vida, revolucionarios; 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. El científico auténtico, para Popper, no sustenta su investigación en dogmas que deba aplicar. El científico, según Kuhn, 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. Como vemos, para Popper un científico sólo merece ese nombre cuando es antidogmático, revolucionario. De igual modo, para Popper, no hay dos etapas en el desarrollo de la ciencia, una donde se intenta resolver rompecabezas y otra en la que se resuelven problemas. No hay una etapa en la que los científicos estén atrapados en el marco general de las teorías y otra en la que escapen de ese marco:

si lo intentamos, en cualquier momento podemos escapar de nuestro marco general. Es indudable que nos encontraremos de nuevo en otro marco general, pero será uno mejor y más espacioso; y en todo momento de nuevo podemos escapar de él.

El punto central es que siempre es posible una discusión crítica y una comparación de los varios marcos generales. No es sino un dogma —un peligroso dogma— el que los distintos marcos generales sean lenguajes mutuamente intraducibles [Popper, 1975 p. 155].

De la ciencia normal a la ciencia extraordinaria: las revoluciones científicas

Una característica sorprendente de la ciencia normal, señala Kuhn, es que no aspira a producir novedades importantes, conceptuales o fenomenales (1971, p. 68). Si los científicos participan en ella es porque consideran importante contribuir a aumentar el alcance y la precisión con los que puede aplicarse un paradigma. El llegar a la conclusión de un problema de investigación normal es lograr lo esperado, de una manera nueva, y eso requiere la resolución de toda clase de complejos enigmas instrumentales, conceptuales y matemáticos (1971, p. 70). Pero en biología, por ejemplo, la aplicación del paradigma darwiniano ha permitido el avance del conocimiento en diversas áreas. Es decir, por lo menos en biología no se trata solamente de aplicar el paradigma de una manera nueva, sino que se aplica a problemas nuevos; por ejemplo, la aplicación de la teoría de Darwin en el nivel genético, que era desconocido en tiempos de Darwin.

Con un paradigma, la comunidad científica adquiere un criterio para seleccionar problemas. Problemas que la comunidad aceptará como científicos y que, a partir de ellos, estimulará a sus miembros a tratar de resolverlos. Esta actitud puede llegar a aislar a la comunidad de problemas importantes desde el punto de vista social, pero que no pueden reducirse a la forma de enigma. Como antes se señala, Kuhn define como enigmas los problemas que pueden servir para poner a prueba el ingenio o la habilidad para resolverlos; por lo tanto, tiene que haber una solución asegurada dentro del paradigma. Esta resistencia que plantea el paradigma tiene una utilidad, pues asegura que no será fácil derrumbarlo, y ello garantiza que los científicos no serán distraídos con ligereza y que las anomalías que conduzcan al cambio del paradigma penetrarán hasta el fondo de los conocimientos existentes (1971, p. 111). Es notable la diferencia entre esta interpretación de ciencia normal y la visión de Popper mencionada anteriormente.

En su análisis de la ciencia normal, Kuhn percibe que hay ciertos compromisos (reglas, puntos de vista establecidos) que los científicos deducen de los paradigmas. De acuerdo con dichos compromisos, los científicos se ponen determinadas restricciones. La más evidente es la que respecta a los enunciados explícitos de leyes, teorías y conceptos científicos; mientras continúan siendo reconocidos, estos enunciados ayudan a fijar enigmas y a limitar las soluciones

aceptables. De la misma manera se establecen compromisos metodológicos (por ejemplo, cómo deben ser las leyes finales, las explicaciones fundamentales); y técnicos (los tipos preferidos de instrumentación, los modos en que pueden utilizarse legítimamente los instrumentos aceptados) (1971, p. 75).

La existencia de esta sólida red de compromisos —conceptuales, teóricos, instrumentales y metodológicos— es una fuente principal de la metaesfera que relaciona a la ciencia normal con la resolución de enigmas, y gracias a que proporciona reglas que dicen, a quien practica una especialidad madura, cómo son el mundo y su ciencia, el científico puede concentrarse con seguridad en los problemas esotéricos que le definen esas reglas y los conocimientos existentes. Entonces lo que constituye un reto para él es cómo llegar a resolver el enigma residual (1971, p. 78). En los campos hacia los que el paradigma dirige la atención del grupo, la ciencia normal conduce a una información tan detallada y a una precisión tal en la coincidencia de la teoría y de la observación, como no podrían lograrse en ninguna otra forma (1971, p. 110). Sin embargo, las reglas explícitas, cuando existen, son generalmente comunes a un grupo científico muy amplio, pero no puede decirse lo mismo de los paradigmas. Quienes practican en campos muy separados, se educan a través del estudio de logros muy distintos, descritos en libros absolutamente diferentes. La ciencia no es para Kuhn una empresa única, monolítica y unificada; por ello el derrumbe de un paradigma no implica el derrumbe de toda la ciencia, sino solamente de una de sus partes. La especialización profesional provoca que los científicos puedan sostener paradigmas muy diferentes. Por ello una revolución producida en el interior de una de esas tradiciones no tendrá que extenderse necesariamente a todas las demás.

Este punto deberá analizarse también en cuanto a la importación de paradigmas de una disciplina a otra. Es de esperarse que paradigmas surgidos en diferentes ciencias no entren en contradicción entre sí; no puede haber, por ejemplo, contradicción entre las concepciones de Einstein y las de Darwin. No obstante, ha ocurrido que un paradigma surgido en una disciplina pretenda juzgar a otros de diferentes áreas; el ejemplo más conocido, tal vez por trágico, es el del caso Lysenko. Lysenko pretendió que la concepción de la dialéctica de la naturaleza contradecía las teorías genéticas sostenidas por los evolucionistas occidentales. Sus adeptos en la Unión Soviética pagaron con su vida su adhesión a la ciencia de la herencia.

Otro caso es el de la importación del método newtoniano a la biología,

importación que condujo al planteamiento mecanicista de que los fenómenos característicos de lo viviente pueden ser explicados en términos físicos. En oposición a esta corriente, los vitalistas, no siempre con argumentos propiamente científicos, defendieron que las particularidades de lo vivo no pueden ser reducidas a conceptos físicos. Por último, un asunto de fundamental interés: el de la extrapolación de la explicación darwinista al desarrollo de las sociedades humanas, que en general ha sido de consecuencias nefastas y no ha aportado ningún avance a la sociología.

Parece haber revoluciones que afectan sólo a un pequeño sector de la ciencia y revoluciones mucho más amplias. Por ejemplo la revolución newtoniana y la darwiniana afectaron a un sector mayor que el correspondiente a la física o la biología.

La revolución de las estructuras científicas

El desarrollo de la ciencia normal tiene como consecuencia el planteamiento de novedades teóricas y fácticas, y las produce de manera inadvertida por un juego llevado a cabo con base en un conjunto de reglas cuya asimilación requiere la elaboración de otro conjunto de reglas: esto es considerado por Kuhn como una etapa de preparación al cambio revolucionario; es decir, el cambio en las estructuras científicas prepara las revoluciones científicas.

Lakatos (1987) ha señalado que es una confusión de Kuhn hablar de la estructura de las revoluciones científicas, pues las revoluciones no tienen estructura. En su lugar, dice Lakatos, debería hablarse de revolución en la estructura de la ciencia. Sin embargo, es claro que en Kuhn no hay confusión de términos, sino que él habla de “estructura” de las revoluciones científicas, en consideración de que no son sucesos aislados, sino episodios extensos con una estructura que aparece regularmente:

1. El descubrimiento comienza con la percepción de la anomalía; o sea, el reconocimiento de que en cierto modo la naturaleza ha violado las expectativas inducidas por el paradigma, que rigen a la ciencia normal.
2. A continuación se produce una exploración más o menos prolongada de la zona de la anomalía. El descubrimiento de un tipo nuevo de fenómeno es necesariamente un suceso complejo, que involucra el reconocimiento, tanto de que algo existe como de qué es.
3. Tanto la observación como la teoría están enlazadas inseparablemente en un descubrimiento. Por ello la revolución concluye cuando la teoría del paradigma ha sido ajustada de tal modo que lo anormal se haya convertido en lo esperado. La asimilación de un hecho de tipo nuevo exige un ajuste más que aditivo de la teoría y en tanto no se ha llevado a cabo ese ajuste —hasta que la ciencia aprende a ver la naturaleza de manera diferente—, el nuevo hecho no es completamente científico.

Kuhn defiende que existe una unidad indisoluble entre experimento y teoría. El descubrimiento (de un hecho nuevo) involucra un proceso extenso, aunque no necesariamente prolongado, de asimilación conceptual; Kuhn menciona el caso del descubrimiento del oxígeno, y muestra que dicho descubrimiento no fue por sí mismo la causa del cambio en la teoría química. Mucho antes de que desempeñara un papel en el descubrimiento del nuevo gas, Lavoisier estaba convencido tanto de que había algo que no encajaba en la teoría del flogisto como de que los cuerpos en combustión absorbían alguna parte de la atmósfera. Lo que logró el trabajo con el oxígeno fue dar forma y estructura adicionales al primer sentimiento de Lavoisier de que algo faltaba: le comunicó algo que ya estaba preparado para descubrir: la naturaleza de la sustancia que la combustión sustrae de la atmósfera (1971, pp. 98-99). Sólo cuando el experimento y la teoría coinciden surge el descubrimiento, y entonces la teoría se convierte en paradigma. En suma, escribe Kuhn, las características comunes de los descubrimientos de los que surgen nuevos tipos de fenómenos incluyen: la percepción previa de la anomalía, la aparición gradual y simultánea del reconocimiento tanto conceptual como de observación, y el cambio consiguiente de las categorías y los procedimientos del paradigma, acompañado a menudo de resistencia (1971, p. 107).

Un paradigma prepara su propio cambio

El surgimiento de un nuevo paradigma es precedido por una situación crítica que provoca cierta inseguridad intelectual porque exige la destrucción, en gran escala, de los paradigmas aceptados. Esa inseguridad es generada por el fracaso persistente de los enigmas de la ciencia normal para los resultados apetecidos. El fracaso de las reglas existentes sirve de preludio a la búsqueda de otras nuevas (1971, p. 114). En estas condiciones la proliferación de las versiones de una teoría contribuye a exacerbar la competencia entre escuelas que interpretan la teoría de diferentes modos y por lo tanto a generar la crisis. Esa crisis, el fracaso en la actividad normal de resolución de problemas, posibilita la invención de teorías y técnicas alternativas.

Es importante mencionar que Kuhn remarca la idea de que sólo cuando hay fracaso en la aplicación del paradigma anterior puede surgir un paradigma alternativo:

En tanto los instrumentos que proporciona el paradigma continúan mostrándose capaces de resolver los problemas que define, la ciencia tiene un movimiento más rápido y una penetración más profunda por medio del empleo confiado de esos instrumentos. La razón es clara. Lo mismo en la manufactura que en la ciencia, el volver a diseñar herramientas es una extravagancia reservada para las ocasiones en que sea absolutamente necesario hacerlo. El significado de las crisis es la indicación que proporcionan de que ha llegado la ocasión de diseñar las herramientas [1971, p. 127].

Las crisis parecen hacer perder el profundo respeto que los científicos le tienen a sus predecesores exitosos.

Un paradigma desplaza a otro si es capaz de explicar una gama más amplia de fenómenos naturales o de explicar con mayor precisión algunos de los previamente conocidos. Este avance sólo se logra descartando ciertas creencias y

procedimientos previamente aceptados y, al mismo tiempo, reemplazando los componentes del paradigma previo por otros (1971, p. 112). Este planteamiento de Kuhn es similar al de Lakatos respecto a la caracterización de progresivo para un programa de investigación; en cambio lo separa del falsacionismo popperiano. Para Popper un cambio de teoría se inicia con un experimento crucial, una anomalía que no puede ser explicada en los términos de la teoría anterior, y después se plantea una teoría que puede explicarla; en Kuhn ni basta una observación para el cambio de paradigma, ni es un evento instantáneo, ni se separa la percepción de la anomalía del planteamiento de la nueva explicación.

En contraposición al falsacionismo, Kuhn plantea:

Ningún proceso descubierto hasta ahora por el estudio histórico del desarrollo científico se parece en nada al estereotipo metodológico de la demostración de falsedad, por medio de la comparación directa con la naturaleza. Esta observación no significa que los científicos no rechacen las teorías científicas o que la experiencia y la experimentación no sean esenciales en el proceso en que lo hacen. Significa (lo que será un punto central) que el acto de juicio que conduce a los científicos a rechazar una teoría aceptada previamente, se basa siempre en más de una comparación de dicha teoría con el mundo. La decisión de rechazar un paradigma es siempre, simultáneamente, la decisión de aceptar otro, y el juicio que conduce a esta decisión involucra la comparación de ambos paradigmas con la naturaleza y la comparación entre ellos [1971, p. 129].

Las anomalías o ejemplos en contrario, afirma Kuhn, pueden contribuir a crear una crisis o, más precisamente, a reforzar una crisis que ya existe. Las anomalías no pueden por sí mismas demostrar que una teoría es falsa. Los científicos defensores de un paradigma elaborarán modificaciones ad hoc de su teoría para eliminar cualquier conflicto aparente.

A diferencia de Popper, y, de forma similar, de Lakatos, Kuhn sostiene que un científico no abandona sus teorías por enfrentarse con anomalías. Cuando comprueba que realmente el paradigma es incapaz de explicar los experimentos en contrario, el científico kuhniano construye una teoría alternativa que, si es capaz de explicar los fenómenos que explicaba el paradigma anterior, además de

las anomalías, puede a su vez alcanzar el status de paradigma. Pero este científico nunca trabajará sin paradigma, sino que sustituirá uno por otro. En cambio, el científico popperiano comienza a buscar una teoría nueva una vez que ha abandonado la anterior.

En el caso de Lakatos, el científico no abandona su teoría porque se enfrente con una anomalía. Tiene dos opciones: persistir en la elaboración de teorías ad hoc para mantener su teoría defendiendo posiblemente un programa de investigación degenerativo; o plantear un programa de investigación nuevo. Este programa de investigación será progresivo sólo cuando sea capaz no de explicar hechos nuevos ya descubiertos, sino de prever la aparición de fenómenos nuevos a la luz del nuevo programa.

Enfrentemos estas concepciones a un hecho histórico, la construcción del darwinismo. En el darwinismo, del abandono del paradigma creacionista por parte de Darwin al planteamiento del nuevo paradigma, la evolución por selección natural, no puede hablarse de un proceso simultáneo en términos de Kuhn. Darwin escribió en su diario que estaba convencido de la incapacidad del creacionismo para explicar una serie de anomalías observadas por él en el viaje a América, pero al mismo tiempo aclaró que por el momento no tenía una explicación alternativa. Del abandono del fijismo a la construcción de la teoría de la selección natural, pasaron 18 meses de trabajo, no en el intento de explicar las anomalías en términos del creacionismo sino en la búsqueda explícita de una teoría que explicara dichas observaciones anómalas. En la concepción de Kuhn el tiempo transcurrido en el planteamiento de un paradigma no tiene importancia y no es lo que aquí se destaca, sino el hecho de que Darwin sí abandonó un paradigma sin tener otro que lo sustituyera, y sobre todo no trabajó para acoplar el viejo paradigma a las nuevas observaciones. En suma, Darwin no consideró las anomalías como enigmas que pudieran resolverse dentro del creacionismo, no trató de ajustar el creacionismo a la naturaleza. Actuó como Popper esperaría que hubiera actuado, abandonó una teoría e inició la construcción de otra, sin elaborar hipótesis ad hoc para intentar rescatar el creacionismo.

Esto no significa que Darwin trabajara sin paradigma. Lo que pasa es que el paradigma creacionista no incluye sólo la concepción de una naturaleza invariante y en equilibrio sino un conjunto de concepciones; por ejemplo, la taxonomía linneana, las ideas ecológicas o si se quiere protoecológicas de De Candolle, las concepciones sobre embriología de Von Baer, y de manera muy importante los planteamientos de la geología de Lyell (que incluyen una posición

crítica respecto al lamarckismo). Puede decirse que Darwin rompió muy pronto con el planteamiento central del creacionismo, la fijeza de las especies, pero tardó más tiempo en romper con otros aspectos. Cuando tuvo construida su teoría, o en ciertos casos simultáneamente con la construcción, fue rompiendo con todas las nociones creacionistas: la ecológica, la taxonómica, la embriológica, etc., a la vez que desarrollaba una nueva metodología (por ejemplo, realizó los primeros estudios poblacionales característicos de la ecología de poblaciones). Por otra parte, Kohn (1980) ha mostrado que Darwin abandonó muy tarde la idea de la teología natural de equilibrio en la naturaleza.

Es importante discutir la diferencia entre teoría (la unidad de análisis de Popper) y paradigma (la unidad de análisis de Kuhn). Si bien Darwin desarrolló su teoría en la forma que se esquematiza arriba, la transformación de la teoría darwiniana en paradigma es otro proceso en el que ya se involucran otros científicos contemporáneos e incluso sucesores de Darwin; esto es, se trata de un proceso de carácter social. Visto el proceso general de constitución del darwinismo como paradigma de la biología, en él hubo intentos de otros biólogos (Agassiz, por ejemplo) de ajustar la naturaleza y el creacionismo, es decir de considerar las observaciones conceptuadas como anomalías por Darwin como enigmas que resolver. Al mismo tiempo hubo un gradual convencimiento de la comunidad científica de las ventajas heurísticas del darwinismo. La explicación de Kuhn parece adecuada en este aspecto, en tanto que a nivel social ha habido algunos intentos (y los sigue habiendo) de hacer compatible la teoría evolutiva y el creacionismo. Es decir, de adaptar el viejo paradigma a las nuevas observaciones. Sin embargo, habría que analizar hasta qué punto tales intentos pueden ser incluidos en un análisis historiográfico de la ciencia.

He aquí una diferencia sustancial entre Popper y Kuhn. Mientras el primero analiza el comportamiento del científico que ha sido capaz de producir una revolución en la ciencia, el segundo analiza el mismo asunto pero al nivel de la comunidad científica. El problema es que a veces es muy complicado delimitar a una comunidad científica. Pero con respecto al darwinismo, Kuhn tiene razón cuando afirma que no basta con una observación falsadora para abandonar una teoría, pues el abandono del fijismo surgió de una serie de observaciones anómalas inexplicables por el creacionismo. No obstante, esto es perfectamente aceptable en la posición de Popper.

Es importante aclarar aquí la diferencia entre enigma, cuya resolución es el objeto de la ciencia normal, y anomalía o ejemplo en contrario. De acuerdo con

Kuhn, un problema es enigma para un paradigma mientras los científicos trabajan en su resolución. Pero cuando entienden que no puede ser explicado por el paradigma anterior sino por uno nuevo, entonces se habla de anomalía o ejemplo en contrario; es decir, cuando una observación pone en crisis el paradigma, es un ejemplo en contrario.

Pero no cualquier anomalía puede ocasionar una crisis. Incluso cuando un paradigma presenta problemas de ajuste con la naturaleza a veces se relegan tales problemas para un trabajo posterior sin poner en cuestión el paradigma. En ocasiones, anomalías de este tipo se resuelven. En cambio, hay anomalías que llegan a parecer más que un mero enigma de la ciencia normal, las cuales sí pueden iniciar la transición a la crisis y a la ciencia fuera de lo ordinario.

Entonces la anomalía misma llega a ser reconocida de manera más general como tal en la profesión. Cada vez le presta mayor atención un número mayor de los hombres más eminentes del campo de que se trate. Si tal anomalía continúa oponiendo resistencia, lo cual no sucede habitualmente, muchos de ellos pueden llegar a considerar su resolución como el objetivo principal de su disciplina. Para ellos, el campo no parecerá ser ya lo que era antes. Parte de ese aspecto diferente es simplemente el resultado del nuevo punto de enfoque del examen científico [1971, p. 136].

Según Kuhn,

una fuente todavía más importante de cambio es la naturaleza divergente de las numerosas soluciones parciales a que se llega por medio de la atención concertada que se presta al problema. Los primeros intentos de resolución del problema seguirán de cerca las reglas establecidas por el paradigma; pero, al continuar adelante sin poder vencer la resistencia, las tentativas de resolución involucrarán, cada vez más, alguna coyuntura menor o no tan ligera del paradigma, de modo que no existan dos de esas articulaciones completamente iguales, con un éxito parcial cada una de ellas, ni con el suficiente éxito como para poder ser aceptadas como paradigmas por el grupo. A través de esta proliferación de coyunturas divergentes (de manera cada vez más frecuente

llegarán a describirse como ajustes ad hoc), las reglas de la ciencia normal se hacen cada vez más confusas. Aun cuando existe todavía un paradigma, pocos de los que practican la ciencia en su campo están completamente de acuerdo con él. Incluso las soluciones de algunos problemas aceptadas con anterioridad se ponen en duda [1971, p. 137].

Los efectos de una crisis a veces son reconocidos explícitamente por los científicos involucrados, pero no dependen por completo de su reconocimiento consciente. Sobre estos efectos, Kuhn señala que dos parecen ser universales: a) las crisis se inician con la confusión de un paradigma y el aflojamiento consiguiente de las reglas para la investigación normal; y b) las crisis concluyen con la aparición de un nuevo candidato a paradigma y con la lucha subsiguiente para su aceptación (1971, pp. 138-139).

En el caso del cambio de paradigma entre creacionismo y evolucionismo, puede decirse que la crisis comienza con la discusión de varios puntos. A principios del siglo XIX, se iniciaron diversas polémicas en relación con el origen y distribución de los seres vivos. Por ejemplo, se debatía el planteamiento de Linneo sobre la existencia de un centro único de creación del que habían emigrado todos los seres creados a los lugares de su distribución actual. Otros sostenían múltiples centros de creación, pues la distribución actual no admitía la explicación de un centro único a menos de recurrir a demasiados puentes, ya desaparecidos, entre los diferentes continentes. Otra controversia se presentó en los enfoques ecológico y biogeográfico; por ejemplo, los planteamientos de De Candolle y Lyell acerca de la “guerra entre las especies” cuestionan las ideas de equilibrio natural de Linneo y Paley. Los cuestionamientos de Lyell y De Candolle tienen sentido distinto: De Candolle estaba ya convencido de la evolución mientras Lyell siguió siendo creacionista hasta 1963.

Surgen además otros cuestionamientos al creacionismo en el estudio del origen de las especies, por ejemplo, la problemática de la especiación (entendida como multiplicación del número de especies a partir de una). Uno de los pioneros en esta cuestión, Leopold von Buch, escribió en 1836 que el aislamiento reproductivo a que obliga la distribución de las especies en islas (un modelo ejemplar sería la llegada de una especie a un archipiélago), puede llevar a la formación de especies nuevas. Von Buch, como Darwin y la mayor parte de sus contemporáneos, cree en la fusión del material hereditario materno con el

paterno. A la vez comprenden que mientras dos poblaciones son parte de la misma comunidad reproductiva no pueden llegar a formar dos especies separadas reproductivamente. Por eso su noción de la necesidad de separación geográfica que impida la reproducción cruzada entre dos poblaciones (variedades) de la misma especie (véase Limoges, 1976). Por último, el hecho observado de la mayor diversidad en los continentes que en las islas cercanas a ellos y la ausencia de anfibios en éstas, son también anomalías que el creacionismo no puede explicar. Darwin se preguntaba si el poder del Creador había disminuido en las islas.

En suma, Darwin estaba consciente de que el paradigma prevaleciente no podía dar cuenta de las observaciones antes mencionadas. Lo primero que ocurre (primavera de 1836) es su explícito abandono del creacionismo, lo cual implica la aceptación de la evolución (había polémicas en este sentido; científicos como De Candolle y Von Buch ya aceptaban la evolución, pero no sabían cómo explicarla). A partir de ese momento Darwin ha reconocido un hecho, la evolución, y se propone explícitamente elaborar una teoría que lo explique. En septiembre de 1838 llega al planteamiento de la teoría de la selección natural (antes propuso otra que abandonó inmediatamente, véase Kohn, 1980).

Sin embargo, la historiografía kuhniana entiende de manera diferente este momento del cambio de paradigma:

Frente a la admisión de una anomalía fundamental en la teoría, el primer esfuerzo de un científico será frecuentemente aislarla de manera más precisa y darle una estructura. Aun cuando se dé cuenta de que ya no pueden ser absolutamente correctas, el científico aplicará las reglas de la ciencia normal con mayor fuerza que nunca, con el fin de ver en la zona en que haya surgido la dificultad, dónde y hasta dónde pueden aplicarse [1971, p. 142].

Al principio el científico se asemeja a un hombre que busca al azar, y que probando experimentos para ver qué sucede, busca un efecto cuya naturaleza no puede prever; y ya que no es posible concebir ningún experimento sin algún tipo de teoría, el científico en crisis tratará simultánea y constantemente de generar teorías especulativas que, si dan buenos resultados, puedan mostrar el camino

hacia un nuevo paradigma y, si no tienen éxito, puedan desdeñarse con relativa facilidad. Los experimentos pueden ser incluso experimentos imaginarios. Este tipo de experimentos, dice Kuhn, exponen el paradigma antiguo a los conocimientos existentes de modo tal que aíslan la raíz de la crisis con una claridad inalcanzable en el laboratorio.

El punto en el que se insiste es que en el caso de Darwin no hubo intentos de reacondicionar la teología natural, el creacionismo, la ciencia normal del momento, a las anomalías antes citadas. En cuanto al segundo punto, si hay coincidencia con lo que ocurrió en el desarrollo del darwinismo, Darwin generó activamente teorías para explicar las observaciones anómalas.

En suma, coincidimos con Kuhn en que puede decirse que la crisis estimula el desarrollo de la ciencia. Al poner el foco de atención científica en un punto problemático y al prepararse la mentalidad científica para reconocer las anomalías experimentales, las crisis pueden hacer proliferar los intentos de explicación. Esto, indudablemente, favorece el desarrollo de la ciencia.

La ciencia extraordinaria

Para Kuhn las revoluciones científicas son aquellos episodios de desarrollo no acumulativo en que un antiguo paradigma es reemplazado, completamente o en parte, por otro nuevo e incompatible (1971, p. 149). Los términos de “revolución” y “ciencia extraordinaria” aparecen como equivalentes y significando simplemente ciencia no normal. En todo caso una revolución es resultado de la actividad extraordinaria, antidogmática, de los científicos.

Como se ha señalado antes, Kuhn sostiene, que una revolución científica es precedida por una crisis conceptual. La crisis se caracteriza por la proliferación de articulaciones, la competencia entre datos y paradigma y una disposición para ensayar todo. Lo que antes habría parecido casi una herejía es permitido. (En el caso de Darwin no es metafórico hablar de herejía, respecto a la refutación del creacionismo, pero no hay demasiada diferencia en cuestionar a alguien como Newton o Einstein o incluso hoy al propio Darwin.) Son momentos de gran libertad de pensamiento que permiten la expresión explícita del descontento. Otra característica, agrega Kuhn, es el recurso a la filosofía y el debate de los fundamentos.

La asimilación de todas las nuevas teorías y de casi todos los tipos nuevos de fenómenos ha exigido, en realidad, la destrucción de un paradigma anterior y un conflicto consiguiente entre escuelas competitivas de pensamiento científico. La adquisición acumulativa de novedades no previstas, concluye Kuhn, resulta una rara excepción a la regla del desarrollo. El hombre que tome en serio los hechos históricos deberá sospechar que la ciencia no tiende al ideal que ha forjado nuestra imagen de su acumulación. Quizá es otro tipo de empresa (1971, p. 155).

La apreciación de Kuhn sobre las características de la etapa crítica anterior al cambio paradigmático puede ser correcta. Sin embargo hay dos contradicciones, la primera sobre el carácter no acumulativo de las revoluciones científicas, pues previamente Kuhn ha señalado que las crisis impulsan, estimulan a los científicos y en esas condiciones se favorece la acumulación del conocimiento. Además, si el reemplazo de un paradigma por otro no es completo, no puede hablarse de incompatibilidad de los paradigmas, pues en tal caso habrá compatibilidad parcial al menos. Pero según Kuhn, hay un rompimiento entre los

dos paradigmas. Al no haber un cambio gradual, el salto es cambio de terreno y cesa la etapa acumulativa de la ciencia normal sostenida por un paradigma y empieza una nueva etapa acumulativa con un nuevo paradigma independiente del anterior. No obstante hay que reconocer que los científicos no parten cada vez de cero; es decir, consideran innecesario revisar todo el conocimiento previo, sólo rebaten lo que consideran equivocado.

Kuhn hace una analogía entre las revoluciones políticas y las científicas. Sostiene que en la elección de un paradigma sucede lo que en las revoluciones políticas: no hay ninguna norma más elevada que la aceptación de la comunidad pertinente (1971, p. 152). Aquí Kuhn introduce una de las nociones más importantes y características de su historiografía: el consenso. De acuerdo con esto, no es el contenido de verdad lo que lleva a una teoría a establecerse como paradigma, sino la sanción de la comunidad científica, que a partir de la aceptación la seguirá como modelo de científicidad.

Como antes se mencionó, para Kuhn la investigación normal sí es acumulativa. La ciencia normal debe su éxito a la habilidad de los científicos para seleccionar regularmente problemas que pueden resolverse con técnicas conceptuales e instrumentales vecinas a las ya existentes. De ahí que una preocupación excesiva por los problemas útiles (los de la ciencia aplicada), sin tener en cuenta su relación con el conocimiento y las técnicas existentes, puede con tanta facilidad inhibir el desarrollo científico (1971, p. 155). Sin embargo, sigue Kuhn, la persona que se esfuerza en resolver un problema definido por los conocimientos y las técnicas existentes, no se limita a mirar en torno suyo. Sabe lo que desea lograr y diseña sus instrumentos y dirige sus pensamientos en consecuencia. La novedad inesperada, el nuevo descubrimiento, pueden surgir sólo en la medida en que sus instrumentos resulten erróneos. Con frecuencia, la importancia del descubrimiento resultante será proporcional a la amplitud y a la tenacidad de la anomalía que lo provocó. Así pues, es evidente que debe haber un conflicto entre el paradigma que descubre la anomalía y el que, más tarde, hace que la anomalía resulte normal dentro de las nuevas reglas. No existe, concluye Kuhn, ningún otro modo efectivo en que pudieran generarse los descubrimientos (1971, p. 156).

El mismo argumento, escribe Kuhn, se aplica, de manera todavía más clara, a la invención de nuevas teorías. En principio, hay sólo tres tipos de fenómenos sobre los que puede desarrollarse una nueva teoría (1971, pp. 156-157):

1. Los fenómenos que ya han sido tratados por los paradigmas existentes y que raramente proporcionan un motivo o un punto de partida para la construcción de una nueva teoría. Cuando lo hacen, las teorías resultantes son raramente aceptadas, ya que la naturaleza no proporciona terreno para la discriminación. (No puede generalizarse a la biología el que los fenómenos tratados por un paradigma no sean punto de partida para el planteamiento de un nuevo paradigma; más bien, diferentes paradigmas pueden visualizar de manera diferente un mismo fenómeno. Esto es evidente en el caso del estudio del registro fósil, que es el mismo para fijistas, darwinistas o para los defensores del equilibrio puntuado, pero cada uno lo ve con sus propios lentes.)
2. Aquellos fenómenos cuya naturaleza es indicada por paradigmas existentes, pero cuyos detalles sólo pueden comprenderse a través de una articulación ulterior de la teoría. Estos son los fenómenos a los que los científicos dirigen sus investigaciones, la mayor parte del tiempo; pero estas investigaciones están encaminadas a la articulación de los paradigmas existentes más que a la creación de otros nuevos.
3. Las fallas en los esfuerzos de articulación posibilitan el encuentro de fenómenos que no pueden ser asimilados a los paradigmas existentes.

Según Kuhn, sólo este último tipo de fenómenos produce nuevas teorías. Los paradigmas proporcionan a todos los fenómenos, excepto a las anomalías, un lugar determinado por la teoría en el campo de visión de los científicos. Entonces, si se adelantan nuevas teorías para resolver anomalías en la relación entre una teoría existente y la naturaleza, la nueva teoría que tenga éxito deberá permitir ciertas predicciones que sean diferentes de las derivadas de su predecesora. Esta diferencia podría no presentarse si las dos teorías fueran lógicamente compatibles. En el proceso de asimilación, la segunda teoría deberá desplazar a la primera (1971, p. 157). Esta proposición es prácticamente idéntica a la diferenciación que hace Lakatos entre programas de investigación progresivos y programas de investigación degenerativos.

Aquí hemos llegado a otro punto clave en la historiografía kuhniana, que analizaremos a continuación.

La inconmensurabilidad de las teorías

Una de las ideas de Kuhn que más polémicas han causado es la de que dos teorías sobre un mismo fenómeno son incompatibles. Su afirmación de que sólo puede aceptarse una teoría reconociendo que la anterior estaba equivocada, ha sido rebatida particularmente en el caso de las teorías de Newton y Einstein. Sus detractores señalan que la dinámica relativista no puede haber demostrado que la newtoniana fuera errónea, puesto que hay numerosas aplicaciones prácticas de la teoría en las que funcionan perfectamente, por ejemplo en ingeniería. También afirman que la teoría de Newton puede considerarse como un caso especial de la teoría, más general, de Einstein, pues la primera proporciona una buena solución cuando los cuerpos estudiados se mueven a velocidades pequeñas en comparación con la velocidad de la luz.

Kuhn ha objetado tales críticas señalando que la mecánica newtoniana no es derivable de la de Einstein. Para derivarla hay que reinterpretarla de un modo que hubiera sido imposible hasta después de los trabajos de Einstein:

Las variables y parámetros que en la serie einsteiniana E_i [conjunto de enunciados que abarcan las leyes de la teoría de la relatividad] representaban la posición espacial, el tiempo, la masa, etc., se presentan todavía en N_i [la serie de leyes de la teoría de Newton] y continúan representando allí espacio, tiempo y masa einsteinianos. Pero las referencias físicas de esos conceptos einsteinianos no son de ninguna manera idénticos a las de los conceptos newtonianos que llevan el mismo nombre: la masa newtoniana se conserva; la einsteiniana es transformable por medio de la energía. Sólo a bajas velocidades relativas pueden medirse ambas del mismo modo e, incluso en ese caso, no deben ser consideradas idénticas. A menos que cambiemos las definiciones de las variables en N_i , los enunciados derivados no serán newtonianos [1971, p. 163].

Respecto a la imposibilidad de derivar las leyes de Newton de la teoría de la relatividad, al considerarlas como un caso especial, la argumentación de Kuhn es

convinciente. En efecto, se trata de conceptos diferentes sobre los mismos fenómenos, lo cual hace a las teorías inconmensurables. Sin embargo, no sucede lo mismo con la respuesta de Kuhn a la observación de que la teoría de Newton es aplicable a una parte de la naturaleza. Su respuesta no es suficiente para demostrar lo que en realidad está negando: el carácter no progresivo de la ciencia.

Por supuesto, nuestra argumentación ha explicado por qué las leyes de Newton parecían ser aplicables. Al hacerlo así ha justificado, por ejemplo, a un automovilista que actúe como si viviera en un universo newtoniano. Una argumentación del mismo tipo se utiliza para justificar la enseñanza por los agrimensores de la astronomía centrada en la Tierra. Pero la argumentación no ha logrado todavía lo que se proponía. O sea, no ha demostrado que las leyes de Newton sean un caso limitado de las de Einstein, ya que al trasponer el límite, no sólo han cambiado las formas de las leyes; simultáneamente, hemos tenido que modificar los elementos estructurales de que se compone el Universo al cual se aplican [1971, p. 164].

Kuhn considera que la revolución einsteiniana es un prototipo de revolución científica. Al no implicar la introducción de objetos o conceptos adicionales, la transición de la mecánica de Newton a la de Einstein ilustra con una claridad particular la revolución científica como un desplazamiento de la red de conceptos a través de la cual los científicos ven el mundo.

Las diferencias entre los paradigmas sucesivos son irreconciliables, sostiene Kuhn, porque involucran cambios sustanciales en la ciencia. Aunque los fenómenos observados fueran los mismos (y no lo son pues los científicos enfocan su atención en diferentes puntos de un mismo fenómeno, de acuerdo con el paradigma que sostienen), un cambio de paradigma implica no sólo ver los fenómenos de manera diferente al explicarlos con diferentes conceptos, sino también un cambio metodológico que implica cambios en cuanto a qué se considera o no un problema científico; cambios en las técnicas de trabajo e incluso en las normas de demarcación del conocimiento científico. En este sentido Kuhn puntualiza tres aspectos que hacen inconmensurables los paradigmas sucesivos:

1. Los paradigmas sucesivos nos indican diferentes cosas sobre la población del Universo y sobre su comportamiento;
2. Los paradigmas se diferencian en algo más que la sustancia, ya que están dirigidos no sólo hacia la naturaleza, sino también hacia la ciencia que los produce. Son la fuente de los métodos, problemas y normas de resolución aceptados por cualquier comunidad científica madura en un momento dado. Como resultado de ello, la recepción de un nuevo paradigma frecuentemente hace necesaria una redefinición de la ciencia correspondiente, y
3. Al cambiar los problemas también lo hacen, a menudo, las normas que distinguen una solución científica real de una simple especulación metafísica, de un juego de palabras o de un juego matemático (1971, p. 168).

Los cambios en las normas que rigen los problemas, conceptos y explicaciones admisibles, pueden transformar una ciencia.

Como se ha mencionado, una discusión importante en este punto es el carácter progresivo o no progresivo de la ciencia. Al sostener la inconmesurabilidad de las teorías, Kuhn está argumentando que no puede hablarse de avance general en la ciencia. El carácter acumulativo de la ciencia sólo se presenta dentro de un paradigma, pero al cambio de paradigma no corresponde un aumento de conocimiento científico, sino un cambio en las estrategias de resolución de problemas y sobre todo un cambio de los propios problemas. De hecho, un paradigma equis puede explicar más que el paradigma sucesor. Por ejemplo, dice Kuhn, la teoría del flogisto explica varias cualidades de la materia que no aclara la teoría de Lavoisier:

Esos cambios característicos en la concepción de la comunidad científica sobre sus problemas y sus normas legítimos tendrían menos importancia para la tesis de este ensayo si fuera posible suponer que siempre tuvieron lugar de un tipo metodológico más bajo a otro más elevado. En este caso, así mismo, sus efectos parecerían ser acumulativos. No es extraño que algunos historiadores de la ciencia hayan argumentado que la historia de la ciencia registra un aumento

continuo de la madurez y el refinamiento de la concepción del hombre sobre la naturaleza de la ciencia. Sin embargo, el argumento en pro del desarrollo acumulativo de los problemas y las normas de la ciencia es todavía más difícil de establecer que el de la acumulación de teorías [Ibidem].

En ocasiones algunos científicos han abandonado un problema por considerarlo no científico, y científicos posteriores, con un nuevo paradigma, han retomado el problema. Por ejemplo, cita Kuhn el caso del estudio de la gravedad:

El intento para explicar la gravedad, aunque abandonado convenientemente por la mayoría de los científicos del siglo XVIII, no iba dirigido a un problema intrínsecamente ilegítimo; las objeciones a las fuerzas innatas no eran inherentemente no científicas ni metafísicas en sentido peyorativo. No existen normas externas que permitan ese juicio. Lo que ocurrió no fue un trastorno ni una elevación de las normas, sino simplemente un cambio exigido por la adopción de un nuevo paradigma. Además, desde entonces, ese cambio fue invertido y puede volver a serlo. En el siglo XX, Einstein logró explicar las atracciones gravitacionales y esta explicación hizo que la ciencia regresara a un conjunto de cánones y problemas, a este respecto, que se parece más a la de los predecesores de Newton que a la de sus sucesores [1971, p. 172].

Igualmente en el caso del paradigma de Lavoisier, Kuhn señala que el desarrollo de la mecánica cuántica ha invertido la prohibición metodológica que tuvo su origen en la revolución química.

Algunas precisiones sobre los paradigmas

Los paradigmas informan a los científicos de qué entidades está formada la naturaleza, qué contiene y qué no contiene y cómo se comportan sus componentes. Esta información, plantea Kuhn, proporciona un mapa cuyos detalles son elucidados por medio de las investigaciones científicas avanzadas. Y puesto que la naturaleza es demasiado compleja para estudiarla al azar, este mapa es tan esencial como la observación y la experimentación para el desarrollo continuo de la ciencia. A través de las teorías que engloban, los paradigmas resultan esenciales para las actividades de investigación.

Al aprender un paradigma, sigue Kuhn, el científico adquiere al mismo tiempo teoría, métodos y normas, casi siempre en una mezcla inseparable. Por consiguiente, cuando los paradigmas cambian, hay normalmente transformaciones importantes de los criterios que determinan la legitimidad tanto de los problemas como de las soluciones propuestas.

Esto explica en gran medida el porqué de la inconmesurabilidad de los paradigmas; al poner cada uno sus propios criterios de científicidad, de validez de problemas, de métodos, tiende a desconocer los criterios del otro paradigma. Dos escuelas científicas que no coincidan en la definición de un problema y de su solución, tendrán que chocar al defender cada una los méritos relativos de sus respectivos paradigmas. Es evidente que cada paradigma satisfará los criterios que ha establecido él mismo y no los de su oponente. Esta cuestión dentro de la ciencia normal, no puede resolverse pues es ante todo una discusión de la competencia de normas y de valores: “sólo puede contestarse en términos de criterios que se encuentran absolutamente fuera de la ciencia normal y es ese recurso a criterios externos lo que de manera más obvia hace revolucionarios los debates paradigmáticos” (1971, p. 175).

Los cambios de paradigmas hacen que los científicos vean de manera diferente el mundo de investigación que les es propio. En la medida en que su único acceso para ese mundo se lleva a cabo a través de lo que ven y hacen, podemos decir que, después de una revolución, los científicos responden a un mundo diferente. La afirmación de que a partir de un cambio de paradigma los científicos trabajan en un mundo diferente, lleva a Kuhn al análisis del

paradigma epistemológico vigente. Sostiene que lo que cambia con un paradigma es sólo la interpretación que hacen los científicos de las observaciones, que son fijadas, una vez por todas, por la naturaleza del medio ambiente y del aparato perceptual. Lo que sucede durante una revolución científica no puede reducirse completamente a una reinterpretación de datos individuales y estables. En primer lugar, sostiene Kuhn, los datos que reúnen los científicos son, ellos mismos, diferentes. El científico no es un intérprete; si acepta un nuevo paradigma es porque lleva nuevos lentes. Al observar los mismos objetos o fenómenos, los encuentra diferentes. Lo que Kuhn defiende es que los científicos interpretan característicamente las observaciones y los datos sólo dentro de la ciencia normal; pues la ciencia normal tiene como fin ampliar, precisar y articular un paradigma que ya existe. Pero esta empresa de interpretación puede articular un paradigma, no corregirlo. La ciencia normal conduce sólo al reconocimiento de anomalías y a crisis. Y éstas terminan, no mediante deliberación o interpretación, sino por un suceso relativamente repentino y no estructurado, como el cambio de forma (Gestalt) (1971, p. 192). Este cambio gestáltico permite que los componentes de un enigma se vean de una manera nueva que conduce por primera vez a su resolución. “Ningún sentido ordinario del término ‘interpretación’ se ajusta a esos chispazos de la intuición por medio de los que nace un nuevo paradigma” (1971, p. 193).

Lo que sucede, señala Kuhn, es que las operaciones y mediciones que realiza un científico están determinadas por el paradigma. Científicos con paradigmas diferentes se ocupan de diferentes manipulaciones concretas en el laboratorio. Es en este sentido que Kuhn afirma que después de una revolución los científicos trabajan en un mundo diferente, pues los datos mismos a partir de los cuales analizan la naturaleza han cambiado.

Por ejemplo, de lo que Darwin analizaba para proponer su teoría de la herencia, la pangénesis, a lo que analizó Mendel para proponer su teoría de la herencia particulada hay una gran distancia. Entre otras cosas porque Mendel escogió determinadas características fenotípicas que tenían un comportamiento muy regular y una fuerte determinación genética claramente separable de la influencia ambiental, y Darwin no fue capaz de distinguir esto, ni tuvo el cuidado de Mendel en la selección del material de estudio.

Ciencia básica y ciencia aplicada

Una última idea que interesa mencionar es la diferenciación entre ciencia aplicada y ciencia básica. Para Kuhn, la ciencia básica es una categoría un tanto efímera, que incluye la investigación realizada por quienes persiguen la meta inmediata de entender mejor la naturaleza. En este sentido, la ciencia aplicada tiene como meta controlar a la naturaleza. Es importante aclarar la diferencia entre ambas, pues Kuhn considera que las ideas que aquí se han expuesto sólo son válidas para la ciencia básica, una de cuyas características fundamentales es la de que sus practicantes han sido de ordinario libres de elegir sus propios problemas.

De acuerdo con una de las ideas centrales de Kuhn, dichos problemas se han seleccionado dentro de áreas en donde los paradigmas podían aplicarse inequívocamente, pero dentro de las cuales persistían una serie de acertijos sobre la manera de aplicarlos y de cómo hacer que la naturaleza se conformase a los resultados de la aplicación. En cambio, afirma Kuhn, los problemas que elige el inventor o científico aplicado son determinados en gran parte por circunstancias sociales, económicas o militares.

III. La metodología de los programas de investigación: Imre Lakatos

IMRE LAKATOS NACIÓ EN 1922. Fue el sucesor de Popper en la Escuela de Economía de Londres. Falleció en 1972. Perteneció a la tradición popperiana. Su intención fue afinar sus conceptos y extender su campo de aplicación.

La historiografía de Lakatos (1968, 1974, 1975a, 1975b, 1983, 1987) parte de la crítica de los postulados fundamentales de Popper, con quien Lakatos coincide en la interpretación deduccinista del proceso de desarrollo de la ciencia y en la inexistencia de un método distintivo del conocimiento científico. Igual que Popper, se propone entender las condiciones que caracterizan el desarrollo científico y no establecer una metodología para la investigación científica. Sin embargo, cuestiona el postulado fundamental de Popper, esto es, el de que la ciencia se desarrolla a partir del planteamiento de conjeturas que si son refutadas empíricamente, obligan a elaborar nuevas conjeturas.

La “metodología” en los siglos XVII y XVIII brindaba un conjunto de reglas utilizables mecánicamente para resolver problemas; pero hoy, afirma Lakatos, las metodologías son más bien sinónimo de “lógicas del descubrimiento” y consisten solamente en un conjunto de reglas (es posible que ni siquiera estrechamente entrelazadas y menos aún mecánicas) para la evaluación de teorías articuladas y puestas ya a punto. Es decir, para Lakatos, como para Popper, 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; la historia externa, constituida por una psicología y una sociología del descubrimiento, quedan fuera de su dominio normativo (Lakatos 1975a, pp. 456-457).

Previamente al planteamiento de su concepción historiográfica, Lakatos critica las metodologías o lógicas del descubrimiento existentes. Considera cuatro programas de investigación historiográfica: 1) el “justificacionismo”, esto es, la

identificación del conocimiento con el conocimiento demostrado (racionalistas y empiristas clásicos); 2) el convencionalismo duhemiano (la tesis de que la ciencia avanza con la propuesta de teorías cada vez más simples, y no en el contenido de verdad); 3) el “falsacionismo metodológico”, la versión popperiana de la falsación; y 4) su propia propuesta: el “falsacionismo sofisticado”. Según esta división, tanto el positivismo clásico como el neopositivismo son justificacionistas. En la historiografía popperiana se encuentran concepciones que pueden incluirse en el falsacionismo metodológico, e igualmente ideas que pueden caracterizarse como pertenecientes al falsacionismo sofisticado. Veremos en seguida que Lakatos centra gran parte de su crítica en los respectivos criterios de demarcación de las metodologías que analiza.

Según Lakatos, para los “justificacionistas” el conocimiento científico consiste en enunciados demostrados. Una vez que reconocieron que las deducciones estrictamente lógicas sólo nos permiten inferir (transmitir verdades) pero no demostrar (establecer verdades), discreparon acerca de la naturaleza de aquellos enunciados (axiomas) cuya verdad puede demostrarse por medios extralógicos. Lakatos incluye en el “justificacionismo” tanto a los racionalistas clásicos, aquellos que admitieron tipos muy variados de “demostraciones” (por revelación, por intuición intelectual, por experiencia) que les permitían demostrar, por medio de la lógica, todo tipo de enunciados científicos, como a los empiristas clásicos (induccinistas), que sólo aceptaban como conocimiento científico el demostrado por la experiencia que constituye la base empírica de la ciencia (Lakatos, 1975, p. 206).

Los racionalistas clásicos hicieron un enorme esfuerzo por intentar salvar los principios sintéticos a priori, y los empiristas clásicos por salvar la certeza de una base empírica e igualmente la validez de la inferencia inductiva. Para todos ellos la honestidad científica exigía no afirmar nada que no estuviera demostrado (1975a, p. 207). En opinión de Lakatos, ambos grupos fueron derrotados, los racionalistas (kantianos) por la geometría no euclidiana y la física no newtoniana, y los empiristas por la imposibilidad lógica de establecer una base empírica.

El resultado aparente de dicha derrota es que todas las teorías son igualmente indemostrables. Quienes resolvieron este dilema, sostiene Lakatos, fueron los probabilistas, argumentando que si bien todas las teorías científicas son indemostrables, tienen distintos grados de probabilidad (en el sentido del cálculo de probabilidades) relativos a la evidencia empírica disponible. La honestidad

científica, desde el punto de vista de los probabilistas, consiste en exponer únicamente teorías altamente probables; o incluso en especificar meramente, para cada teoría científica, los hechos que la confirman, y la probabilidad de la teoría a la luz de estos hechos (Ibidem).

Como parte de su concepción falsacionista, Popper evidenció que no puede sustituirse demostración por probabilidad, pues mostró que en condiciones muy generales todas las teorías tienen una probabilidad cero, cualesquiera que sean los hechos a su favor. Popper concluyó que todas las teorías no sólo son igualmente indemostrables, sino igualmente improbables (1975a, p. 208). Es decir, la ciencia no puede demostrar ninguna teoría, pero sí puede demostrar su falsedad pues existe una base empírica de hechos absolutamente firme que puede utilizarse para demostrar la falsedad de teorías.

Para los falsacionistas, la honestidad científica consiste en especificar, de antemano, un experimento tal que si el resultado contradice la teoría, la teoría debe ser abandonada. La tenacidad de una teoría contra la evidencia empírica sería entonces argumento más bien a favor que en contra de su consideración como “científica”. La “irrefutabilidad” se convertiría en el sello distintivo de la ciencia (1975a, p. 215). En resumen, escribe Lakatos, los justificacionistas clásicos sólo admitían las teorías demostradas; los justificacionistas neoclásicos las probables; los falsacionistas dogmáticos se dieron cuenta de que tanto en uno como en otro caso ninguna teoría es admisible. Estos últimos decidieron admitir que las teorías son contrademostrables mediante un número finito de observaciones. Pero aun en el caso de que existieran teorías contrademostrables, estarían todavía demasiado cercanas lógicamente a la base empírica (1975a, p. 216).

Según Lakatos, si aceptamos el criterio de demarcación del falsacionismo dogmático, y también la idea de que los hechos pueden demostrar enunciados “de hecho”, tenemos que declarar que las teorías más importantes propuestas en la historia de la ciencia son metafísicas; que la mayor parte del trabajo realizado es irracional. Si, aceptando el criterio de demarcación del falsacionismo dogmático, negamos que los hechos puedan demostrar enunciados, entonces acabaremos ciertamente en un escepticismo completo: toda la ciencia es indudablemente metafísica irracional y deberá ser rechazada. Las teorías científicas, concluye Lakatos, no sólo son igualmente indemostrables, e igualmente improbables, sino que son también igualmente no contrademostrables.

Lakatos considera que el “falsacionismo” de Popper representa un adelanto considerable en relación con el “justificacionismo” que regía hasta entonces en las versiones “dogmáticas” del falsacionismo que fueron sustituidas por aquél. Sin embargo, también sostiene que Popper no resulta menos “ingenuo” a la vista de situaciones reales que se presentan en la historia de la ciencia. Su ingenuidad se expresa en dos de sus concepciones cardinales: 1) en la idea de que una prueba enfrenta dos “personajes” —la teoría y la práctica—, de suerte que la confrontación final es un cara a cara entre una y otra; y 2) en la idea complementaria de que el único resultado interesante de tal confrontación es una falsación concluyente (Lakatos, 1975a, p. 228).

La afirmación de Popper acerca de que los únicos descubrimientos científicos auténticos son refutaciones de hipótesis científicas, es cuestionada por Lakatos cuando sostiene que la historia de la ciencia sugiere que a) las “pruebas” ponen en presencia al menos tres “personajes”: una experiencia y dos teorías rivales, y b) que algunos de los resultados experimentales más interesantes son confirmaciones más que falsaciones (Ibidem). Rehusando explícitamente colocarse en el lado de lo que para él es la psicología de Kuhn, Lakatos propone dar al falsacionismo ingenuo de Popper una forma sofisticada que pueda resolver sus dificultades. El principio de la solución consiste en dejar de considerar a la teoría en su cara a cara con la experiencia y tratar con “series de teorías”:

Podemos [...] tratar de explicar el cambio de “paradigmas” en términos de psicología social. Éste es el camino que han seguido Polanyi y Kuhn. La otra alternativa es tratar al menos de reducir el elemento convencional en el falsacionismo (posiblemente no podamos eliminarlo) y sustituir las versiones ingenuas del falsacionismo metodológico —caracterizadas por las tesis 1 y 2 mencionadas antes— por una versión sofisticada que daría una nueva fundamentación racional a la falsación y pondría a salvo la metodología y la idea de progreso científico. Éste es el camino seguido por Popper y es el que yo me propongo seguir [Ibidem].

Lakatos diferencia entre el falsacionismo ingenuo o falsacionismo metodológico y el falsacionismo sofisticado en que los primeros tienen como criterio de

demarcación únicamente la falsación. Esto es, el planteamiento previo de los experimentos cruciales, los experimentos que derrotarían una teoría. Pero a diferencia del falsacionismo sofisticado no hablan de su contenido empírico corroborado, es decir de la capacidad predictiva de las teorías.

El falsacionismo sofisticado propuesto por Lakatos difiere del falsacionismo ingenuo tanto en sus reglas de aceptación (o “criterio de demarcación”) como en sus reglas de falsación o eliminación. El falsacionismo ingenuo acepta como científicas las teorías que son experimentalmente falsables. Para el falsacionista sofisticado una teoría es científica sólo si tiene más contenido empírico (definido como el conjunto de los falsadores potenciales de una teoría) corroborado que sus predecesoras. Esto significa que debe conducir al descubrimiento de nuevos hechos, de hechos no visibles a la luz de las teorías rivales. Esta condición puede analizarse en dos cláusulas: que la nueva teoría tenga más contenido empírico (aceptabilidad¹) y que alguna parte de este contenido excedente esté verificado (aceptabilidad²). La primera cláusula se puede comprobar inmediatamente mediante un análisis lógico a priori; la segunda sólo se puede comprobar empíricamente, lo cual puede llevar un tiempo indefinido (Lakatos 1975a, p. 229). Lakatos critica la concepción del falsacionista ingenuo que propone la falsación de una teoría mediante un enunciado “observacional” que entre en conflicto con ella (o más bien que él —el falsacionista— decide interpretar como que entra en conflicto con ella), y sostiene, de acuerdo con el falsacionismo sofisticado, que puede considerarse falsada una teoría científica T, sólo si se ha propuesto otra teoría T' con las siguientes características (Lakatos, 1975a, 229):

1. T' tiene más contenido empírico que T, es decir, predice nuevos hechos, esto es, hechos improbables a la luz de, o incluso prohibidos por T.
2. T' explica los aciertos previos de T, es decir, todo el contenido no refutado de T está incluido (dentro de los límites de error observacional) en el contenido de T'; y parte del contenido excedente de T' está corroborada.

Este último punto manifiesta la concepción progresionista de la ciencia en Lakatos.

Una tesis importante de Lakatos es que ningún resultado experimental puede jamás echar abajo una teoría. Toda teoría puede ser librada de sus contraejemplos, bien mediante alguna hipótesis auxiliar, o bien mediante una adecuada reinterpretación de sus términos. Ningún experimento, informe

experimental, enunciado de observación o hipótesis falsadora pueden por sí solos llevar a la falsación. No hay falsación antes de la emergencia de una teoría mejor (Lakatos, 1975a, p. 232). Esta propuesta es similar a la de Kuhn, pues éste también niega que una sola observación baste para la sustitución de un paradigma por otro.

Más que pretender a toda costa la falsación, afirma Lakatos, podrían imponerse determinadas pautas a los ajustes teóricos por cuya mediación está permitido salvar una teoría. Algunas de estas pautas, sigue, han sido bien conocidas durante siglos, y las encontramos expresadas en las críticas a las explicaciones ad hoc, a las tergiversaciones vacías, a las estrategias lingüísticas. Para Duhem, por ejemplo, tales pautas se delineaban en términos de “simplicidad” y “buen sentido” (Ibid., p. 230). Popper mejoró el intento con una versión sofisticada de falsacionismo metodológico:

Popper coincide con los convencionalistas en que las teorías y los enunciados de hecho siempre pueden armonizarse con ayuda de hipótesis auxiliares; está de acuerdo en que el problema es cómo establecer una línea de demarcación entre los ajustes científicos y los pseudocientíficos, entre los cambios racionales y los cambios irracionales de teoría. Según Popper, salvar una teoría con ayuda de hipótesis auxiliares que satisfagan ciertas condiciones bien definidas representa un progreso científico, pero salvar una teoría con ayuda de hipótesis auxiliares que no satisfagan esas condiciones es una degeneración [Ibidem].

En consecuencia con la observación anterior, Lakatos concluye que no pueden evaluarse teorías aisladas sino series de teorías. En suma, a cada teoría hay que evaluarla junto con sus hipótesis auxiliares, condiciones iniciales, etc. y, especialmente, con sus predecesoras de modo que sea posible ver qué tipo de cambio ha sido llevado a cabo. Esta idea de Lakatos, una de las críticas más importantes a Popper, queda perfectamente clara en el siguiente párrafo:

Consideremos una serie de teorías, T1, T2, T3... en la que cada teoría resulta de añadir cláusulas auxiliares a (o de reinterpretaciones semánticas de) la teoría previa con objeto de dar acomodo a alguna anomalía, siempre que cada teoría

tenga al menos tanto contenido como el contenido no refutado de su predecesora. Diremos que tal serie de teorías es teóricamente progresiva (“o constituye un cambio de problemas teóricamente progresivo”) si una parte del contenido empírico excedente está también corroborado, esto es, si cada nueva teoría nos conduce al descubrimiento efectivo de algún hecho nuevo.

De este modo, continúa Lakatos, el falsacionismo sofisticado progresa del problema de cómo evaluar teorías al problema de cómo evaluar series de teorías. No es de una teoría aislada, sino de una serie de teorías de la que se puede decir que es científica o no científica; aplicar el término “científica” a una teoría única es un error de concepto.

Lakatos sustituye el criterio según el cual para que una teoría sea satisfactoria debe estar en acuerdo con los hechos observados, por el criterio empírico de que una serie de teorías satisfactoria debe producir nuevos hechos. Aquí, la idea de desarrollo y el concepto de carácter empírico están fundidos en uno sólo (1975a, p. 231). Por último, concluye Lakatos, un cambio de problemas es progresivo si tanto teórica como empíricamente es progresivo, y degenerativo si no lo es. “Aceptamos” como científicos sólo aquellos cambios de problemas que sean al menos teóricamente progresivos; si no lo son, los “rechazaremos” como “pseudocientíficos”. El progreso se mide por el grado en que un cambio de problemas es progresivo, por el grado en el que las series de teorías nos llevan al descubrimiento de nuevos hechos. Consideramos “falsada” una teoría de una serie cuando es reemplazada por una teoría con un contenido corroborado más alto (1975a, p. 232).

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 encontró 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”. Además, en contra de lo que sostiene Popper, las teorías científicas que mayor admiración causan no logran prohibir ningún estado observable de cosas.

Como ejemplo de esta actitud de persistencia y de la afirmación de que no toda

teoría bien construida prohíbe estados observables de cosas, Lakatos describe un caso imaginario de comportamiento planetario inesperado. Un físico de la era preeinsteiniana toma la mecánica y la ley de gravitación de Newton, N , las condiciones iniciales aceptadas, I , y calcula, con su ayuda, la trayectoria de un pequeño planeta recientemente descubierto, p . Pero el planeta se desvía de la trayectoria obtenida en los cálculos. ¿Considerará nuestro físico newtoniano que la desviación estaba prohibida por la teoría de Newton y que por tanto, esa desviación refuta la teoría N ? No. Lo que él sugiere es que debe de haber un planeta p' desconocido hasta el momento que produce la perturbación en la trayectoria del primer planeta. Calcula la masa, la órbita, etc., de su hipotético planeta y pide luego a un astrónomo experimental que contraste su hipótesis. El planeta p' es tan pequeño que posiblemente ni siquiera los más grandes telescopios de que se dispone puedan observarlo. Cuando se cuenta con un telescopio de mayor alcance hay dos posibilidades: o se observa el planeta y el newtonismo se apunta un nuevo éxito o se comprueba que no existe el planeta. ¿Qué ocurre en este segundo caso?, se pregunta Lakatos. ¿Abandona el físico la teoría de Newton? Otra vez la respuesta es NO. Ahora sugiere la existencia de una nube de polvo cósmico que mantiene el planeta oculto para nosotros. Nuestro físico logra que se envíe un satélite a contrastar sus cálculos. Otra vez se presentan dos posibilidades: si se comprueba la existencia de la nube de polvo cósmico se proclamaría otra victoria de la teoría de Newton; si no, es seguro que nuestro científico no abandonará el newtonismo, sino que creará una hipótesis auxiliar, o la historia quedará truncada y olvidada (Lakatos, 1975a, p. 213). Esta historia, concluye Lakatos, sugiere que incluso una teoría científica de la mayor consideración, como la dinámica y la teoría científica de la gravitación de Newton, puede no ser capaz de prohibir ningún estado observable de cosas.

Un caso notable en la biología, pues apoya la interpretación de Lakatos, es la aclaración de Darwin de que la observación de un órgano formado de novo sin transición gradual a partir de otro órgano o de un cambio de función, demostraría la falsedad de su teoría. Algunos de sus críticos indicaron que la observación de que el registro fósil es discontinuo, sin gradaciones en la mayor parte de los casos, confirma una evolución de tipo saltacional. Darwin argumentó que estaba mal la interpretación del registro fósil; que la aparente discontinuidad, la falta de formas intermedias, se debía a diversas razones que producían fallas en el registro fósil. Por ejemplo, épocas sin condiciones ambientales necesarias para la fosilización o simplemente el hecho de que faltan por estudiar muchos depósitos fosilíferos. Al afirmar que el saltacionismo era una interpretación errónea del registro fósil, Darwin descalificó la aparente falsación a su teoría. Como

sabemos, esta polémica continúa actualmente. No obstante, los modernos defensores del saltacionismo se asumen por completo darwinianos; es decir a diferencia de Darwin, no consideran que una posición “saltacionista” sea contradictoria del darwinismo (véase, Gould y Eldredge, 1977 y Gould, 1980, 1982 y la respuesta de Stebbins y Ayala, 1981, y Ayala, 1983).

Este tipo de actitudes como la de Darwin es la que Lakatos opone al criterio de demarcación de Popper. El problema es: bajo qué condiciones aceptan los científicos que una observación refuta su teoría. Aquí vemos el problema del induccionismo a otro nivel. Como ampliamente ha demostrado Popper, una observación es siempre hecha a la luz de una teoría. Por ello la misma observación puede utilizarse para refutar una teoría o simplemente desecharse como una observación mal interpretada, incompleta, etc. En el caso antes mencionado, el registro fósil, es tomado por unos como evidencia a favor de una concepción saltacionista que considera que dicho registro debe interpretarse tal como se encuentra, es decir que las faltas de fósiles se deben a la inexistencia de las formas de transición que darwinistas y neodarwinistas buscan. Por el contrario, la observación de un registro fósil sin gradaciones es interpretado por la corriente ortodoxa como resultado de que simplemente faltan datos.

Simpson (1944) afirma que los estudios paleontológicos confirman que más de 90% de la evolución ha sido un proceso de evolución filética (la transformación lineal de una especie en otra o anagénesis). Los proponentes del equilibrio puntuado (Gould, op. cit.) y otros neodarwinistas como Mayr (1971) sostienen que el proceso fundamental en la evolución ha sido, también en porcentaje superior a 90%, la especiación (evento de ramificación, multiplicación de especies o cladogénesis). Esto es, los mismos datos demuestran exactamente lo contrario en ambas concepciones.

Según Lakatos, este tipo de actitudes muestran la importancia que tiene la interpretación de los datos observados, no sólo como plantea Popper en el momento de la construcción de una teoría, sino también en el momento de su falsación.

La metodología de los programas de investigación científica

La contradicción fundamental entre Lakatos y Popper consiste en que éste analiza los logros científicos como teorías independientes, mientras que para Lakatos constituyen un sistema y forman parte de un programa de investigación. La unidad de evaluación o comparación es entonces un programa de investigación y no una teoría aislada. Para Lakatos la evaluación del desarrollo científico debe hacerse reconociendo si los cambios en los programas de investigación son progresivos —si sus predicciones son verificadas— o si son degenerativos. Considera que las más importantes de esas series en el avance de la ciencia están caracterizadas por cierta continuidad que liga sus elementos. Esa continuidad se desarrolla gradualmente a partir de un verdadero programa de investigación vislumbrado al comienzo. El programa consiste en reglas metodológicas: unas nos dicen qué senderos de investigación hemos de evitar (heurística negativa), y otras qué senderos hemos de seguir (heurística positiva).

Por ejemplo, según Lakatos, la metafísica cartesiana (esto es, la teoría mecanicista según la cual el universo es un enorme mecanismo de relojería cuya única causa del movimiento es el impulso) funcionó como un potente principio heurístico. Desalentó el trabajo en teorías científicas que, como la teoría de Newton de la acción a distancia, eran inconsistentes con ella (heurística negativa). Al mismo tiempo, alentó el trabajo en hipótesis auxiliares que pudieran salvarla de los hechos contrarios a ella, como las elipses keplerianas (heurística positiva) (1975a, p. 245).

La ciencia, para Lakatos, no es un conjunto de ensayos y errores, una serie de conjeturas y refutaciones. “Todos los cisnes son blancos” puede ser falsada por el descubrimiento de un cisne negro. Pero tales casos triviales de ensayo y error no forman la ciencia. 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, asimila las anomalías e incluso las convierte en evidencia

positiva.

La propuesta de Lakatos es que los científicos se plantean problemas que intentan resolver proponiendo un programa de investigación. No sólo presentan una teoría para explicar el fenómeno que les preocupa, sino que además elaboran una serie de teorías secundarias que protegen lo que Lakatos llama 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 por una decisión provisional, irrefutable (esto significa ignorar las observaciones que aparentemente lo refutan) 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. La heurística positiva es la que marca el camino que se ha de seguir, cuáles anomalías tratar de explicar y cuáles dejar de lado, es decir cuáles son los problemas por enfrentar y cómo deben tratarse (1987, p. 26).

La heurística positiva del programa impide que el científico se pierda en el océano de anomalías. La heurística positiva establece un programa que enumera una secuencia de modelos crecientemente complicados simuladores de la realidad: la atención del científico se concentra en la construcción de sus modelos según las instrucciones establecidas en la parte positiva de su programa. Ignora los contraejemplos reales, los “datos” disponibles [1985, p. 248].

La cita anterior muestra la idea de Lakatos de la irrelevancia de las refutaciones en un programa de investigación. La heurística positiva establece la estrategia que ha de predecir y asimilar tales refutaciones, y en general haciendo caso omiso de ellas, parece que más que las refutaciones son las verificaciones las que proporcionan los puntos de contacto con la realidad (Idem., p. 249). Además, la heurística negativa nos prohíbe dirigir el método de refutación al “núcleo” del programa. En lugar de ello, debemos emplear nuestro ingenio en articular o incluso inventar “hipótesis auxiliares” que formen un cinturón protector en torno a ese núcleo, y es a éstas a las que debemos dirigir el modus tollens.

En el caso de Newton, la heurística negativa nos invita a no llevar el modus

tollens a las tres leyes de la dinámica y a su ley de la gravitación; en el caso de Darwin a la selección natural, como hemos visto antes, independientemente de qué posición se tenga respecto a la gradualidad o no de la evolución.

Sin esos avances en el contenido empírico, es decir, sin esas predicciones verificadas, afirma Lakatos, un programa de investigación se torna en degenerativo, a menos que ingeniosas y afortunadas hipótesis auxiliares que aumenten el contenido teórico transformen retrospectivamente una cadena de derrotas (predicciones fallidas, por ejemplo) en un resonante éxito, bien revisando algunos “hechos” falsos, o bien añadiendo nuevas hipótesis auxiliares (que constituyan un cambio teórico progresivo), y que al menos de vez en cuando el aumento teórico se vea empíricamente corroborado.

Es la heurística positiva del programa, y no de las anomalías, lo que fundamentalmente dicta la elección de los problemas de una disciplina científica. Sólo cuando la fuerza impulsora de la heurística positiva se debilita, es cuando se presta más atención a las anomalías. De este modo la metodología de los programas de investigación explica el alto grado de autonomía de la ciencia teórica; las desligadas cadenas de conjeturas y refutaciones no lo explican (1975b, p. 465). Según Lakatos, la metodología de los programas de investigación ofrece un panorama del juego de la ciencia muy diferente al panorama del falsacionismo metodológico. La mejor jugada no es, como para Popper, una hipótesis falsable sino un programa de investigación. Las falsaciones no tienen el papel que les da Popper, de rechazar las teorías, sino que son sólo anomalías que han de ser registradas pero que no deberán orientar el curso de la investigación (Lakatos, 1987, p. 25).

Contrariamente a la tesis popperiana, Lakatos plantea que ninguna experiencia, ningún enunciado observacional, ninguna hipótesis falsadora es capaz sola de llevar a la falsación. Los experimentos que, solos, son capaces de refutar una teoría, los grandes experimentos cruciales, negativos, de Popper desaparecen; “experimento crucial” es un título honorífico, que por supuesto puede conferirse a ciertas anomalías, pero mucho después del evento, sólo cuando un programa ha sido rechazado por otro. “Con suficientes recursos y algo de suerte, cualquier teoría puede ser defendida ‘progresivamente’ durante mucho tiempo, incluso siendo falsa” (Ibid., p. 27). La historia de la ciencia confirma, dice Lakatos, que el diseño popperiano de “conjeturas y refutaciones”, el ensayo de hipótesis seguido de falsación experimental, ha de ser abandonado: ningún experimento es crucial en la época en que es llevado a cabo. Sólo a posteriori podrá ser

considerado como experimento crucial.

En lugar de hacer una distinción entre ciencia y pseudociencia, o entre conocimiento científico y conocimiento metafísico, Lakatos distingue entre programas de investigación progresivos, programas de investigación estancados y programas de investigación degenerativos. Es decir no califica la científicidad de los programas, sólo valora sus éxitos o fracasos.

Un programa de investigación es progresivo mientras su desarrollo teórico anticipe su desarrollo empírico; esto es, mientras continúe prediciendo hechos nuevos con cierto éxito; está estancado si su desarrollo teórico queda rezagado respecto a su desarrollo empírico; esto es, cuando sólo aduce explicaciones post-hoc, o bien sólo proporciona descubrimientos por casualidad, o predice hechos anticipados por y descubiertos en un programa rival (Ibid., p. 28). Si un programa de investigación explica de modo progresivo más que otro programa de investigación rival, el primero ‘reemplaza’ al segundo. En este caso, el primer programa puede eliminarse (o si se prefiere, ‘archivarse’ indefinidamente).

Dentro de un programa de investigación (no entre programas de investigación rivales), afirma Lakatos, una teoría sólo puede eliminarse por otra mejor. La primera no tiene que ser falsada en el sentido popperiano del término. Esta concepción es profundamente discrepante con la de Popper pues, para Lakatos, el progreso de las teorías se establece por su propio contenido y no por instancias falsadoras. Las teorías pueden ser modificadas sin necesidad de que hayan sido refutadas, y “algunas de las modificaciones más interesantes están motivadas por la ‘heurística positiva’ del programa de investigación más que por las anomalías” (1987, p. 29).

Una de las principales críticas que se han hecho al planteamiento de Lakatos (cfr. Kuhn, 1987) es la dificultad de identificar cuándo un programa de investigación se ha estancado, o cuándo uno de los programas rivales ha conseguido una ventaja decisiva sobre el otro. Lakatos responde que ni la prueba de inconsistencia por parte del lógico, ni el veredicto de anomalía por la del científico experimental pueden anular un programa de investigación de un solo golpe. Sólo se puede ser “adivino” después del evento (1987, p. 30). Esto significa que los defensores de un programa de investigación no pueden considerar como definitiva ninguna ventaja, que no hay nada que garantice el triunfo de un programa, como tampoco nada que asegure su derrota.

La metodología que Lakatos propone tiene como objetivo fundamental el análisis de la historia de la ciencia. No es un conjunto de reglas metodológicas para el avance del conocimiento, como las de los positivistas; ni tampoco un conjunto de normas para evaluar el conocimiento científico, como las popperianas.

El historiador que acepte tal metodología como guía, buscará en la historia programas de investigación rivales, problemáticas progresivas y estancadas. Donde el historiador duhemiano ve una revolución en la simplicidad (como la de Copérnico), se buscará en vez de ello un programa progresivo a gran escala que se impone a otro estancado. Donde el falsacionista busca un experimento crucial negativo, se “predecirá” que tal experimento no existe, que detrás de cualquier supuesto experimento crucial, detrás de cualquier supuesta batalla entre teoría y experimento, hay una lucha oculta entre dos programas de investigación. Sólo más tarde el resultado de la lucha es relacionado, al modo de la reconstrucción falsacionista, con algún supuesto experimento crucial [Ibidem].

La metodología de los programas de investigación, a diferencia de la historiografía de Kuhn, sí puede ser guía metodológica para los científicos. Popper sostiene que los científicos, en vez de buscar verificaciones a su teoría deben intentar falsarla, y esto es una posición metodológica. Lakatos destaca cómo los proponentes de un programa de investigación identifican y protegen el núcleo del programa, la importancia que dan a las hipótesis auxiliares, y cómo distinguen entre las propuestas que se trata de refutar y cuáles no. El definir explícitamente una heurística positiva y una heurística negativa para un programa de investigación sería una recomendación metodológica de Lakatos.

IV. Stephen Toulmin: evolución orgánica y evolución conceptual

UNA DE LAS TESIS FUNDAMENTALES DE TOULMIN (1967, 1972, 1975) es ésta: tanto en ciencia como en filosofía, la preocupación exclusiva por la sistematicidad lógica ha resultado destructiva para la comprensión histórica y la crítica racional. Para él, los seres humanos demuestran su racionalidad en su disposición a responder a situaciones nuevas con espíritu abierto, reconociendo los defectos y limitaciones de sus procedimientos, teorías y conceptos anteriores y proponiendo alternativas que los superen.

Toulmin enfoca su análisis a los procesos de transformación del conocimiento. Considera que dichos procesos son de carácter gradual, no hay saltos, no hay revoluciones; y por ello propone una epistemología evolutiva que, desde su punto de vista, da cuenta de la modificación del saber humano. Según él, puede establecerse una analogía justificativa entre el desarrollo del conocimiento y la evolución de los seres vivos. El conocimiento, sostiene, avanza gradualmente a partir de la selección de variantes teóricas.

Al afirmar que el desarrollo de la ciencia natural es un proceso “evolutivo” [no] estoy empleando una simple forma de hablar o analogía o metáfora. Necesitamos tomar en serio la idea de que los cambios históricos por los que el pensamiento científico se desarrolla siguen, con frecuencia, un patrón “evolutivo”; y las implicaciones de este patrón de cambio pueden no ser sólo sugestivas, sino explicativas [1967, p. 470].

Aunque reconoce que la evolución intelectual no es una cuestión biológica, Toulmin plantea que la evolución conceptual puede tomar como modelo o patrón de comparación la evolución de las poblaciones orgánicas. Con la idea anterior en mente, establece la siguiente hipótesis: “la teoría poblacional darwinista de la ‘variación y selección natural’ es un ejemplo de una forma más general de

explicación histórica, y este mismo esquema es también aplicable, en condiciones apropiadas, a entidades y poblaciones históricas de otro tipo” (1972, p. 145). Además, el proceso evolutivo mejor estudiado es la evolución de las poblaciones biológicas, pero, como antes se afirma, no se trata simplemente de extrapolar el conocimiento biológico, sino encontrar los factores comunes a ambos tipos de procesos: “lo que vincula al desarrollo histórico de las disciplinas intelectuales con los procesos poblacionales de otros tipos no es ninguna analogía específicamente biológica, sino sencillamente el patrón general de desarrollo por la innovación y la selección” (Ibidem, p. 151).

La ciencia evoluciona, sostiene Toulmin, como resultado de un doble proceso: a cualquier nivel, hay en circulación un conjunto de variantes intelectuales en competencia, y en cada generación está en marcha un proceso de selección por el que algunas de estas variantes son aceptadas e incorporadas dentro de la ciencia en cuestión, para ser pasadas a la siguiente generación de científicos como elementos integrales de la tradición (Ibidem). En esta concepción las teorías se ven como entidades que establecen una lucha intelectual por la existencia, en la que la más “apta” derrota a las demás. En este sentido las teorías serían la unidad de selección, pero veremos más adelante que no es la única. Hay, para Toulmin, otras unidades de selección, y por lo tanto otros niveles de selección.

A diferencia de Hull (véase el capítulo sobre Hull), Toulmin no cree que la aptitud pueda medirse en términos del número de científicos que admiten la teoría. Para Toulmin no puede haber criterios absolutos que definan la aptitud de una teoría. Es una situación similar a lo que ocurre en biología con el criterio de adaptación: no puede definirse en términos absolutos cuál es el organismo mejor adaptado, pues esta definición tiene que hacerse para un tiempo y un momento determinados.

Por ello, desde el punto de vista de Toulmin, es instructivo introducir el pensamiento poblacional en la historiografía de la ciencia:

En lugar de tratar el contenido de una ciencia natural como un rígido y coherente sistema lógico, tendremos que considerarlo como un agregado, o “población” conceptual dentro del cual hay —a lo sumo— grupos localizados de sistematicidad lógica. Visto en esta perspectiva, el problema de la racionalidad científica puede ser reformulado en nuevos términos. Son muchos los

procedimientos, conceptos y métodos de representación explicativos independientes que, por lo común, se usan corrientemente como medios para alcanzar los objetivos disciplinarios propios de una ciencia. Entre algunos de estos conceptos y procedimientos habrá vínculos formales o “lógicos”, por ejemplo, entre los conceptos newtonianos de fuerza, masa y cantidad de movimiento. Junto a estos conceptos y procedimientos sistemáticamente relacionados habrá normalmente otros que son, lógicamente, independientes unos de otros y que hasta pueden hallarse en conflicto [1972, p. 137].

Así, Toulmin distingue entre el pensamiento tipológico y el pensamiento poblacional. Según la concepción tipológica, existe una teoría hegemónica, paradigmática (el equivalente del organismo “tipo”) y un conjunto de teorías que representan desviaciones del tipo. Según la concepción poblacional, se da una población constituida por diversas teorías y conceptos en un momento dado, y además, organizados jerárquicamente. En la concepción tipológica el cambio conceptual se entenderá como una “revolución”; en la concepción poblacional el cambio conceptual consiste en un proceso gradual.

En términos de Toulmin, los diferentes conceptos y teorías pueden ir cambiando independientemente, no como un sistema perfectamente integrado. De hecho, son introducidos en una ciencia en momentos diferentes y para fines diferentes.

Si sobreviven hoy, tal vez sea porque aún sirven a sus funciones intelectuales originales o porque han adquirido desde entonces otras funciones diferentes; y somos libres de reemplazar, modificar o complementar esos conceptos independientemente, en el futuro, según lo exijan las legítimas circunstancias científicas. Esto significa reconocer que una ciencia comprende una “población histórica” de conceptos y teorías lógicamente independientes, cada uno de los cuales tiene su historia, su estructura y sus implicaciones propias [1972, p. 139].

Al retomar la versión gradualista de la evolución, Toulmin piensa en la transformación de la ciencia como un proceso en el que pueden cambiar las partes sin que cambie el todo al unísono. Es decir, a diferencia de autores como Kuhn, quien ha planteado que un paradigma evoluciona como un todo y sólo

puede haber cambios menores o ajustes en la etapa que llama “ciencia normal”, Toulmin cree que pueden darse cambios importantes en los conceptos o las teorías de una disciplina (es importante mencionar que los niveles de Toulmin y Kuhn no son los mismos, pues para Kuhn la unidad de evolución es el “paradigma” y para Toulmin es la “disciplina”, tema sobre el que después volveremos). Sin embargo, desde una concepción estrictamente gradualista no se pueden aceptar cambios grandes, ni siquiera en las partes. Por ejemplo, Darwin no admite que el cambio de un órgano en otro pueda ser un proceso saltacional. Si se diera el caso de que en un solo paso un órgano se transformara en otro — que sería el equivalente del cambio de un concepto o una teoría en una disciplina — no sería evolución gradual. Darwin asumió que en tal circunstancia su teoría sería refutada. En todo caso es pertinente esta aclaración para entender la relatividad de los conceptos “gradual” y “saltacional”, pues no es fácil especificar cuándo un cambio debe considerarse como brusco o como leve. En evolución biológica, una mutación puntual, el cambio de mayor gradualidad posible a nivel genético, pueden provocar diferenciaciones muy significativas (sobre todo si afectan a genes reguladores o si ocasionan alteraciones en moléculas muy importantes como la hemoglobina en el caso de la anemia falciforme).

Cambios de racionalidad. La variación conceptual

Para realizar un análisis adecuado de la “racionalidad” de los científicos y de la “racionalidad” de los procedimientos, escribe Toulmin (1972, p. 137), se deberá considerar:

- 1) las diversas relaciones no formales entre los conceptos, procedimientos explicativos y métodos de representación coexistentes que son corrientes en diferentes ciencias;*
- 2) los modos en que los problemas conceptuales surgen en un campo particular de la ciencia y en que son reconocidos como tales, y*
- 3) la naturaleza de las consideraciones racionales, a la luz de las cuales se modifican o se reemplazan conceptos y métodos explicativos en el desarrollo de la ciencia.*

De esta forma, una disciplina científica particular —por ejemplo, la física atómica— debe ser considerada no como un conjunto de hechos que tuvieron lugar en una fecha determinada, sino más bien como una materia en desarrollo que posee una identidad continua a través del tiempo y se caracteriza tanto por un proceso de crecimiento como por el contenido de cualquiera de sus secciones históricas. Haciendo análogo este proceso con lo que ocurre en la especiación gradual, Toulmin sostiene que cuando se pasa de un periodo histórico al siguiente, las ideas realmente transmitidas no sufren cortes absolutos en punto alguno. Rechaza la idea de “revoluciones científicas” absolutas, que considera una sobresimplificación equivalente a la noción de especiación instantánea. Por otra parte, agrega que durante la transmisión de teorías tampoco se pasan réplicas perfectas. Por lo tanto, el cambio de un periodo histórico intelectual posterior en una tradición reproduce el contenido de sus predecesores inmediatos, modificados por aquellas novedades intelectuales particulares que fueron seleccionadas en el intervalo a la luz de los estándares profesionales de la ciencia de esa época (1967, pp. 465-466).

La propuesta de Toulmin radica en cambiar la explicación revolucionaria de la ciencia, que se propone mostrar cómo se suceden “sistemas conceptuales”

enteros unos a otros, por una explicación evolucionista que muestre cómo se transforman las “poblaciones conceptuales”. En suma, considera que la explicación darwinista de sobrevivencia por selección de las variantes más adecuadas, puede extenderse a la evolución de las ideas.

Una de sus primeras propuestas en este sentido es la distinción de dos tipos de variación, entre el total de variaciones que surgen y las variaciones que perduran al ser favorecidas por la selección. En evolución conceptual, por lo tanto, debe distinguirse entre: 1) las unidades de variación, esto es, el total de variantes conceptuales tentativas que circulan dentro de una disciplina en un momento determinado, y 2) las unidades de modificación efectiva, es decir, los cambios conceptuales que son realmente incorporados a la tradición colectiva de una disciplina (1972, p. 132).

En correspondencia con las dos clases de variación deben analizarse dos aspectos del desarrollo de los conceptos colectivos: 1) la innovación, por la cual se plantea qué factores o consideraciones llevan a los portadores de una tradición intelectual a proponer modos de avanzar a partir de la posición aceptada, y 2) la selección, por la que se pregunta qué factores o consideraciones los llevan a aceptar algunas de esas innovaciones con preferencia sobre otras, y, de esa manera, a modificar la tradición conceptual colectiva (1972, p. 132).

Por este proceso evolutivo de producción de innovaciones y de selección se produce una genealogía de especies en el mundo orgánico y una genealogía de problemas en la evolución conceptual. El desarrollo de una ciencia puede caracterizarse por dichas genealogías: “Haremos mejor, pues, en buscar la continuidad de la física atómica en los problemas con que se enfrentaron generaciones sucesivas de físicos atómicos, y no debemos especificarlos tanto en términos de una sola o un grupo de cuestiones inmutables, sino más bien como una genealogía continua de problemas” (1972, p. 158). Es importante señalar que en el caso de la evolución biológica no necesariamente toda variación es una innovación, por ejemplo en evolución molecular pueden aparecer formas enzimáticas químicamente diferentes que no impliquen novedad respecto a la función. En este sentido no pueden considerarse, como plantea Toulmin para el caso conceptual, “avances”, pues son formas funcionalmente equivalentes. Se les ha dado la denominación de variaciones neutras, en tanto la selección natural no puede distinguirlas. La importancia de este tipo de variación ha sido exagerada por un grupo de biólogos moleculares que han fundado la corriente evolucionista denominada “neutralista”; sin embargo no puede negarse importancia en la

evolución de las variaciones neutras, pues indudablemente favorecen el aumento de la diversidad.

Variación y perpetuación conceptual

Como ya se ha señalado, Toulmin defiende la existencia de un patrón general de evolución, que lo mismo explica el origen y la transformación de los seres vivos que el origen y transformación del conocimiento. Toulmin opone los procesos evolutivos a los procesos saltacionales, y considera contradictorias las nociones de revolución y evolución. Desde nuestro punto de vista ésta es una toma de posición innecesaria, pues aun en la concepción neodarwinista, que es estrictamente gradualista, se reconoce que hay procesos evolutivos que pueden ser considerados saltacionales, i.e. revolucionarios; por ejemplo en el caso de la poliploidía (que puede ocurrir por hibridación de dos especies con diferente número cromosómico) a través del cual puede producirse la aparición de una nueva especie en una sola generación. Este fenómeno se considera muy frecuente en el caso de algunos grupos vegetales para los que se ha explicado como causa del origen de gran número de especies (por ejemplo helechos). Es decir, si bien no es un proceso general, ocurre en evolución biológica.

Con esa mencionada concepción estrictamente gradualista y seleccionista, Toulmin resume el proceso evolutivo en las cuatro tesis siguientes (1972, pp. 147-148):

1. Uno de los principales problemas de la biología es explicar tanto la diversidad existente de especies como el proceso por el cual se transforman; es decir, explicar el origen y la evolución de las especies.

Por lo tanto, tenemos que explicar por qué se encuentran tantas especies definidas y separadas dentro de poblaciones de seres vivos en continua variación, y también cómo las especies existentes en una época, en lugar de perder su carácter distintivo inicial, pueden transformarse en otras formas igualmente distintas o dividirse en poblaciones sucesoras separadas, todas las cuales tienen el carácter distintivo de especies diferentes.

2. La explicación de Darwin a ambos fenómenos es la teoría de la selección natural, “un proceso dual de variación y perpetuación selectiva”.

3. Este proceso combinado de variación y selección natural da origen a auténticas especies nuevas sólo cuando se satisfacen varias condiciones adicionales: una variación nueva sólo puede extenderse en la población si hay suficiente “presión selectiva”. Aquí Toulmin destaca la competencia entre otras posibles interacciones bióticas y aunque no revisa otras interacciones biológicas, no deja de ser interesante analizar las posibles analogías con otras interacciones como depredación o parasitismo conceptual. Desde su punto de vista, si la competencia no es dura “las variantes individuales no tienen posibilidad de eliminar de la reproducción a sus rivales”. Otro aspecto que Toulmin considera esencial para el origen y evolución de las especies es el aislamiento:

la selección natural puede ser efectiva sólo cuando el “foro de la competencia” no es demasiado vasto [...] dadas las condiciones ambientales apropiadas, pues se podría apelar a la “variación y la selección natural” para explicar cómo los miembros de la población de una isla habían llegado a formar una sola especie y también cómo poblaciones emparentadas de islas cercanas se habían diferenciado lo suficiente como para formar especies nuevas.

4. Las variantes se perpetúan selectivamente si, y sólo si, se hallan suficientemente adaptadas:

aquí la palabra “adaptación” simplemente se refiere a la efectividad con la que diferentes variantes hacen frente a las “exigencias ecológicas” del ambiente particular [...] La competencia y las exigencias ecológicas son nociones correlativas; cuando los individuos “compiten”, está implícita alguna medida comparativa del “éxito” por la que el “ganador” logra más éxito que el “perdedor”. En la competencia darwiniana esta medida es la prueba de la reproducción: las formas “exitosas” tienen más representantes en las generaciones posteriores. En correspondencia con esto, las exigencias ecológicas

de un medio determinan los requisitos locales para el “éxito” evolutivo: el término “exigencias” concentra la atención en aquellos factores que dentro de este “nicho” influyen en las oportunidades de cualquier variante nueva de contribuir a la progenie de generaciones posteriores.

Aunque Toulmin resume de manera correcta el patrón general de evolución darwiniana, hay aspectos importantes que no menciona. Por ejemplo, en el punto dos tiene razón sólo parcialmente cuando señala que la explicación de Darwin del origen de las especies es un proceso dual de variación y selección. Sin embargo, el propio Darwin reconoció que la selección natural no es la única fuerza evolutiva; es en todo caso, la más importante. Otros mecanismos que afectan la evolución de las especies son la deriva genética (Darwin reconoció la importancia de las variaciones neutras, que al no tener un valor selectivo pueden permanecer en la población sin haber sido favorecidas por la selección); la migración, con su aporte de nueva variación, la recombinación, etc. Esto es muy importante, pues significa que puede haber variantes que se perpetúen sin que estén suficientemente adaptadas. Por otra parte, respecto al proceso de especiación, en evolución biológica cada vez se descubren más formas por las que dos poblaciones de la misma especie no separadas por barreras geográficas pueden llegar a formar dos especies; es decir, el aislamiento geográfico no es equivalente de indispensable especiación.

Las cuatro tesis de Toulmin solamente toman del evolucionismo los aspectos que va a requerir para su planteamiento de evolución conceptual. Necesariamente deja de lado un buen número de procesos evolutivos, tal vez porque considera que no tienen equivalencia en evolución conceptual. Igual que en otras epistemologías evolutivas, como la de David Hull, deja de lado el papel de procesos azarosos que son importantes en la evolución orgánica, como la ya mencionada deriva genética. Incluso algo tan fundamental en biología como la cuestión de que la variación aparece independientemente de su valor adaptativo no es tomado en cuenta. En general, la noción de que el azar desempeña un papel fundamental en todos los niveles de evolución, lo mismo en la aparición de variaciones que en los procesos que llevan a la permanencia o eliminación de dichas variaciones, es esencial en la teoría darwinista de la evolución. Por ejemplo, en el nivel genético, el “dogma” central de la biología molecular destaca esta idea de que las variaciones no surgen en relación con las necesidades de los organismos.

Las cuatro tesis toulmianas anteriores son llevadas a la epistemología en la siguiente forma (1972, pp. 149-150):

1. Las actividades intelectuales de la humanidad, dentro de una cultura y época particular, no están desorganizadas; constituyen disciplinas más o menos estructuradas. Igual que en el caso biológico, el contenido intelectual — conceptos, teorías— así como métodos y objetivos de cada disciplina pueden cambiar; sin embargo, “cada disciplina, aunque mutable, normalmente exhibe una continuidad reconocible, particularmente en los factores selectivos que gobiernan los cambios en su contenido”. La extrapolación de la explicación evolutiva del desarrollo conceptual, por consiguiente, tiene que explicar a la vez la coherencia y continuidad por las que se identifican las disciplinas como distintas (el equivalente a la existencia de especies definidas) y los cambios a largo plazo por los que dichas disciplinas se transforman o son superadas (el equivalente de la aparición de nuevas especies).
2. El proceso dual de variación y selección explica la continuidad y el cambio conceptual. “En toda disciplina viva hay siempre novedades intelectuales que entran para su discusión al conjunto de ideas y técnicas, pero sólo unas pocas de esas novedades conquistan un lugar firme en la disciplina y son transmitidas a las generaciones siguientes.”
3. Igual que en la evolución biológica, este proceso de evolución conceptual sólo puede tener lugar si hay una producción constante de variaciones o innovaciones sobre las que se ejerza una presión de selección más o menos rigurosa. “Nuevamente deben existir adecuados ‘foros de competencia’ dentro de los cuales las novedades intelectuales puedan sobrevivir durante un tiempo suficiente para mostrar sus méritos o defectos, pero en el cual también son criticadas y escudriñadas con suficiente severidad como para mantener la coherencia de la disciplina”. Este proceso, admite Toulmin, recuerda el método científico popperiano de planteamiento de conjeturas y refutaciones.
4. La evolución conceptual tiene lugar en un ambiente cultural histórico que Toulmin llama “ecología intelectual”. El ambiente intelectual establece normas para la selección de las ideas, “el proceso de selección disciplinaria elige para su ‘acreditación’ aquellas de las novedades ‘en competencia’ que mejor satisfacen las ‘exigencias’ del ‘medio intelectual’ local. Estas ‘exigencias’ comprenden los problemas inmediatos que cada variante conceptual está destinada a abordar y también los otros conceptos atrincherados con los que debe coexistir”. Los

términos de “competencia”, “méritos”, “exigencias” y “éxito”, sólo pueden comprenderse si se consideran como parte de otros aspectos del proceso histórico total de la variación conceptual y la selección disciplinaria.

“Ecosistemas” conceptuales

Según Toulmin, la contradicción entre los puntos de vista externalista e internalista puede resolverse con la introducción del punto de vista “ecológico”. Este punto de vista, que en biología considera tanto a los factores internos (genéticos) como a los externos (ambientales), permite el análisis integral en la evolución conceptual. En la evolución orgánica, señala Toulmin, el proceso de especiación puede ser caracterizado en términos de la secuencia de “nichos” cambiantes, disponibles para ser ocupados por nuevas poblaciones de seres vivos. Considerado así, podría verse cómo en ese ambiente la selección natural de variantes particulares contribuyó al éxito de la nueva especie. “Desde el punto de vista ecológico, el cambio orgánico debe explicarse discerniendo los nuevos territorios, medios y ‘exigencias ecológicas’ para los que la perpetuación selectiva de variantes ‘mejor adaptadas’ fue la respuesta” (1972, p. 317).

El mismo proceso puede ser analizado desde la perspectiva genealógica, si enfocamos la atención ya no a la sustitución de especies en los nichos, sino, dice ahora Toulmin, a los vínculos genealógicos entre las poblaciones anteriores y las posteriores, tratando de reconstruir la sucesión de episodios de la historia evolutiva como resultado de los cuales esas poblaciones se multiplicaron o se extinguieron. “Si adoptamos este punto de vista alternativo, podemos, verdaderamente, tratar la selección natural como un proceso estrictamente ‘causal’ o mecanicista; pero esto es sólo porque, como subproducto del enfoque elegido, nuestras cuestiones se limitarán a los procesos e interacciones causales” (Ibidem).

Toulmin trata de hacer equivalentes los dos enfoques anteriores a los puntos de vista de la historia de la ciencia externalista e internalista respectivamente. Del mismo modo que para la historia de la ciencia, considera ambos puntos de vista como complementarios. “A falta de nichos adecuados, el potencial genético de una población quedará sin ser explotado; mientras que, en ausencia de poblaciones adecuadas, quedarán sin satisfacerse las exigencias ecológicas de un nicho determinado” (1972, p. 318). Toulmin mismo reconoce que hablar de nichos sin especie o de especie sin nicho resulta absurdo, pero no puede resolver el problema porque lo analiza de forma que le pueda ser útil a su epistemología evolucionista:

Lo que hace conveniente extender la terminología ecológica a la evolución intelectual es, sencillamente, la gran cantidad de semejanzas entre la explicación ecológica del cambio orgánico y la explicación disciplinaria del desarrollo intelectual. Dentro de la historia intelectual, toda situación problemática real crea una cierta gama de oportunidades para la innovación intelectual. La naturaleza de esas oportunidades depende, por supuesto, tanto del carácter de otras ideas coexistentes como de rasgos puramente ‘externos’ de la situación social o física [1972, p. 39].

En evolución conceptual sí pueden hacerse, por lo menos desde la perspectiva de Toulmin, dos tipos de análisis: el de los cambios conceptuales resultantes o el de los procesos que llevaron a tales cambios.

Como en el caso orgánico, la relación entre conceptos y oportunidades es compleja y recíproca. Las poblaciones anteriores de conceptos científicos pueden diferenciarse de tal modo que generen nuevas disciplinas (digamos) sólo cuando existen adecuadas oportunidades intelectuales; al mismo tiempo, el carácter de esas oportunidades está poderosamente condicionado por las otras poblaciones conceptuales ya existentes. Por consiguiente, la explicación disciplinaria del cambio científico estudia las oportunidades que pueden ser aprovechadas en cualquier situación problemática, analiza las exigencias creadas por esas oportunidades y evalúa los logros resultantes de los cambios conceptuales mediante los cuales los científicos respondieron realmente a esas exigencias [1972, p. 319].

Respecto a la relación entre los factores internos y externos en el desarrollo de una tradición intelectual, Toulmin señala que deben considerarse tres aspectos diferentes de la evolución conceptual (considerando al cambio científico como un caso especial del fenómeno más general de la evolución conceptual): “El volumen real o cantidad de innovación que tiene lugar en un campo dado en un momento cualquiera puede distinguirse de la dirección en la que la innovación se dirige predominantemente; y ambas cosas pueden a su vez distinguirse de los

criterios de selección que determinan qué variantes son perpetuadas dentro de la tradición” (1975, p. 142).

Toulmin sugiere que el volumen de innovación que tiene lugar en una ciencia es en gran medida dependiente de las oportunidades que el contexto social proporciona para hacer trabajo original en la ciencia en cuestión; de ahí que la fase de innovación responda sustancialmente a factores externos del sistema (el equivalente a los factores ecológicos en evolución biológica). Por otra parte, los criterios de selección para valorar las innovaciones conceptuales en la ciencia serían un asunto ampliamente profesional y por tanto interno: verdaderamente muchos científicos esperarán que esos criterios sean un asunto completamente interno, profesional, aunque puede que en la práctica esto no sea más que un ideal irrealizable. Por último, la dirección de la innovación en una ciencia determinada depende de una compleja combinación de factores, tanto internos como externos: las fuentes de nuevas hipótesis son altamente variadas y sujetas a influencias y a remotas analogías derivadas de los problemas detallados que se tiene a mano.

Aquí encontramos un problema en la elaboración de la analogía. Puede hablarse de innovación en biología cuando una estructura novedosa (molécula, órgano) adquirida permite la realización de una nueva función o cuando ella misma realiza la función de una manera inexistente hasta ese momento (por ejemplo la aparición del ojo de los vertebrados), y como resultado de la aparición de innovaciones, pueden abrirse nuevas zonas adaptativas. La innovación en evolución orgánica ocurre en, al menos, tres niveles: el molecular, el celular y el de aparición de nuevos órganos; estos cambios pueden dar origen a nuevas especies. En los tres casos hay interacción entre factores externos (el ambiente como selector) e internos (las mutaciones y la recombinación), pero no puede afirmarse, como hace Toulmin para la evolución conceptual, que “la fase de innovación responde sustancialmente a factores externos” (sobre todo porque las innovaciones dependen de que aparezcan variaciones espontáneas que no tienen direccionalidad). La selección natural sólo puede actuar sobre las variaciones existentes y éstas aparecen al azar respecto a su carácter adaptativo y posiblemente innovador. La construcción de un órgano nuevo, o de cualquiera otra innovación, depende de ambos factores.

Es difícil hacer análoga la aparición de innovaciones biológicas con la de conceptos y teorías, al menos en la forma en que lo hace Toulmin. Para que aparezca una innovación orgánica se requiere tanto el surgimiento de mutaciones

como la acción de la selección y otras fuerzas evolutivas; en cambio Toulmin habla de la aparición de innovaciones a nivel de conceptos y teorías (supuestamente el equivalente de mutaciones) que posteriormente serán sujetas a selección. En fin, el punto es que para ser aceptada como tal, una innovación en evolución biológica ya pasó las pruebas de la selección; y para Toulmin innovaciones son las variaciones que serán valoradas por los científicos.

Si bien para Popper (1934, 1963, 1972) la unidad de la ciencia es la teoría y para Lakatos (1983) los programas de investigación, para Toulmin la unidad en evolución conceptual es la disciplina científica. Entonces la demarcación no es entre teorías científicas y pseudocientíficas, ni entre programas de investigación progresivos y degenerativos, sino entre disciplinas y cuasi disciplinas. La perspectiva de Toulmin se centra en el análisis de las “empresas racionales” y su desarrollo histórico.

Es interesante que cuando analiza la teoría de Kuhn, Toulmin habla de las teorías como equivalentes a especies, mientras que cuando habla de su propia concepción utiliza la categoría especie como sinónimo de disciplina. Pero aclara que un enfoque poblacional “nos impide dar definiciones permanentes de las disciplinas resultantes que delimitan diferentes campos de investigación mediante lindes inamovibles establecidos sobre la base de ‘propiedades esenciales’ supuestamente inmutables, sean métodos o problemas, teorías, conceptos, técnicas u objetos de estudio [...] Las disciplinas científicas, como las especies orgánicas, son ‘entidades históricas’ y no ‘seres eternos’ ” (1972, p. 151).

De la misma forma en que opone revolución a evolución, Toulmin opone relativismo a absolutismo. Considera que cada ambiente científico plantea sus criterios universales de demarcación. Esto es, son universales —absolutos— para todo un ambiente particular; pero son relativos si comparamos entre ambientes diferentes. Hasta ahora, señala, los criterios de demarcación o bien se han construido sobre el contenido proposicional o sobre la base de sus métodos de comprobación. Esta noción de “ambiente científico” implica un planteamiento ecológico que requiere que el criterio de demarcación se sitúe a nivel de los conceptos y no de las proposiciones. El problema es que un criterio de demarcación permanente es incompatible con el hecho de que las constelaciones de conceptos están en cambio permanente.

Algo similar ocurre con los organismos en su ambiente: lo que un ambiente

exige como organismo mejor adaptado está en permanente cambio. No existe el organismo “más apto” en abstracto; sólo puede hablarse del mejor organismo en relación con determinadas condiciones.

Sobre este binomio de absolutismo-relativismo Toulmin escribe:

Si nuestras definiciones de ciencia y derecho son puramente a priori, tal vez no podamos evitar el absolutismo; si son puramente a posteriori, tal vez caigamos inevitablemente en el relativismo [...] [pero] ya no hay nada con respecto a lo cual nuestras conclusiones puedan ser “anteriores” o “posteriores”. Sólo puede pensarse otra cosa suponiendo que es posible identificar algún “marco racional” inmutable de discusión, capaz de servir como punto de partida permanente para la crítica, anterior a toda comprensión empírica. Y tal marco totalmente “preempírico” sólo puede reposar en el tipo de ‘principios fijos de la comprensión humana’ a los que renunciamos al comienzo de toda nuestra argumentación [1972, p. 499].

Se llega así al “punto de vista imparcial para el juicio racional”, que, señala Toulmin, puede darse no antes de toda comprensión empírica, sino a la luz de todos los conocimientos disponibles de la matriz empírica dentro de la cual es menester buscar la comprensión.

Para evitar el dilema entre uniformismo (que supone el valor universal de un solo conjunto de métodos racionales) y explicación revolucionaria (que trata el cambio conceptual como una secuencia de modificaciones radicales de posiciones racionalmente inconmesurables), Toulmin propone distinguir: 1) entre los conceptos y principios teóricos de una disciplina —que pueden cambiar y tal vez cambien de manera discontinua— y los que por el momento forman parte de la disciplina y tal vez cambien más gradualmente; y 2) entre las teorías específicas de una disciplina —cada una de las cuales tiene su propia familia o sistema particular de conceptos— y el contenido intelectual de todo el campo, que comprende una “población” cambiante de conceptos y familias de conceptos, que en general, son independientes unos de otros.

De acuerdo con lo expuesto acerca de que una disciplina intelectual es un cuerpo de conceptos, métodos y objetivos fundamentales, se sigue que el elemento

fundamental es el reconocimiento de un objetivo o ideal sobre el que existe suficiente acuerdo y en términos del cual es posible identificar los problemas comunes principales. Si este objetivo común es de carácter explicativo, la disciplina es científica. No todas las disciplinas tienen la misma cohesión. Existen disciplinas con ideales colectivos claramente definidos y acordados y con un repertorio intelectual que es permanentemente sometido a evaluación y modificación crítica. En este sentido Toulmin distingue entre disciplinas “compactas” (otros las llaman ciencias “duras”) y disciplinas “difusas” (para otros, ciencias “blandas”). Entre las primeras Toulmin considera a la física, entre las segundas a la psicología.

La coherencia a la que se refiere Toulmin no es la que se deriva de la relación entre observación y teoría. Toulmin habla de la necesidad de ajustar los métodos y los procedimientos de representación a los ideales explicativos.

Crítica de Toulmin a Kuhn

Consecuente con su visión evolucionista, Toulmin (1975) critica las nociones de Kuhn de “ciencia normal” y “ciencia revolucionaria”. Tampoco acepta Toulmin la propuesta menos radical que Kuhn, autocríticamente, planteó de microrrevolución. Desde el punto de vista de Toulmin, en la historia política el término “revolución” puede servir como rótulo descriptivo útil, pero ya ha perdido su valor como concepto explicativo. El cambio político, resultado de una revolución, nunca implica una discontinuidad completa y absoluta. En la esfera política, sigue, los enunciados acerca de la ocurrencia de “revoluciones” son sólo preliminares a las preguntas acerca de los mecanismos políticos implicados en el cambio revolucionario. Tanto en el desarrollo de la ciencia como en la política, concluye, la diferencia entre cambio normal y cambio revolucionario resulta ser solamente una diferencia de grado. “Los cambios de gran alcance y en gran escala, en la ciencia como en otras esferas, no resultan de ‘saltos’ repentinos, sino de la acumulación de modificaciones menores, cada una de las cuales ha sido selectivamente perpetuada en alguna situación problemática local e inmediata” (1972, p. 160)

Para Toulmin la argumentación de Kuhn lleva a considerar que las diferencias entre las clases de cambio que tienen lugar durante las fases normal y revolucionaria del desarrollo científico son, a nivel intelectual, absolutas. Para explicar la transformación del Kuhn de las revoluciones al Kuhn de las microrrevoluciones, Toulmin hace uso de una analogía (1975, p. 136), en la que se refiere a las dos corrientes paleontológicas más influyentes del siglo XIX en Francia, el “catastrofismo” (defendido por Georges Cuvier en Francia, y por su continuador Louis Agassiz en Harvard) y el uniformitarismo (James Hutton y Charles Lyell):

La teoría de las catástrofes subrayaba las profundas discontinuidades que se encontraban en la geología y la paleontología. Partiendo de una observación real y general de las discontinuidades geológicas, llegó a insistir en que estas discontinuidades mostraban claramente la existencia de sucesos “supranaturales”, es decir, cambios demasiado repentinos y violentos para ser

explicados en términos de procesos físicos y químicos. Los uniformistas por su parte atribuían los cambios geológicos y paleontológicos a agentes de acción gradual y constante que han sido exactamente los mismos en cada fase de la historia de la Tierra [Op. cit].

La resolución de la oposición entre la teoría uniformista y la catastrofista, tuvo lugar, dice Toulmin, cuando los geólogos y paleontólogos uniformistas reconocieron que algunos de los cambios objeto de sus investigaciones habían ocurrido más drásticamente de lo que hasta entonces suponían. Es decir, las ideas uniformistas se hicieron progresivamente más catastróficas (1975, p. 137). En el campo catastrofista las ideas evolucionaron en el sentido opuesto. Louis Agassiz, en particular, encontró que sus estudios lo obligaban a multiplicar el número y disminuir el tamaño de las catástrofes que había que invocar para explicar los hechos geológicos reales. Como resultado, lo que en un principio fueron “drásticas e inexplicables” catástrofes, al cabo de algún tiempo llegaron a ser tantas y de amplitud tan disminuida que empezaron a evidenciar uniformidades, volviéndose fenómenos geológicos y paleontológicos por derecho propio. Las catástrofes dejaron de serlo y se volvieron tan uniformes y sujetas a leyes como cualesquiera otros fenómenos geológicos y paleontológicos.

Kuhn, escribe Toulmin, se ha separado de su posición original en la misma dirección que Agassiz se separa de la teoría original de Cuvier.

Kuhn, en sus trabajos de 1961 y de 1962, caracterizó como absolutas las discontinuidades intelectuales, pues a veces implican cambios tan drásticos que introducen profundas incongruencias conceptuales en las ideas aceptadas por sucesivas generaciones de científicos. Pero, en trabajos más recientes, Kuhn reconoce que dichas incongruencias se hacen visibles con mucha mayor frecuencia. En una escala suficientemente pequeña, son en verdad muy frecuentes, y quizá cada nueva generación de científicos que tenga ideas originales o “apreciaciones” propias encuentre en ciertos puntos y en ciertos aspectos que no se entiende con la generación inmediatamente anterior. Esto es tan general en el desarrollo de la ciencia que, concluye Toulmin, uno debe preguntarse si cualquier ciencia natural que tenga un componente teórico serio se desarrolla alguna vez únicamente por procesos de acumulación (1975, p. 140).

Por lo tanto, de acuerdo con Toulmin, el surgimiento de una “revolución

científica” no da lugar a una interrupción drástica de la consolidación continua “normal” de la ciencia. En lugar de ello, las nuevas ideas se transforman en una nueva “unidad de variación” dentro del propio proceso del cambio científico. Sería equivalente a lo que en evolución biológica es la aparición de una nueva variedad o una nueva especie; en términos de Toulmin, las diferencias son de grado.

La idea central aquí es que ningún cambio conceptual es absoluto en la ciencia. Sólo hay sucesión de modificaciones conceptuales más grandes y más pequeñas, entre las que hay diferencias de grado.

Al introducir la noción de microrrevoluciones, Kuhn admite que la distinción entre ciencia normal y cambio revolucionario no es absoluta. Toulmin propone dejar de pensar en las “microrrevoluciones” como unidades de cambio efectivo en la teoría científica, y en lugar de ello considerarlas como unidades de variación. En este caso las teorías comúnmente aceptadas en cada etapa sirven como puntos de partida para el gran número de variantes que se sugieren; pero en cada etapa sólo una pequeña fracción de esas variantes sobrevive y llega a establecerse dentro del cuerpo de ideas que han de pasar a la generación siguiente.

La pregunta: ¿Cómo ocurren las revoluciones en la ciencia? es reformulada por Toulmin en dos componentes: 1) ¿Qué factores determinan el número y la naturaleza de las variantes teóricas propuestas a consideración en una ciencia determinada durante un periodo dado? (La contrapartida, en la evolución biológica a la pregunta genética acerca del origen de las formas mutantes) y 2) ¿Qué factores y qué consideraciones determinan cuáles son las variaciones intelectuales que logran aceptación, para llegar a establecerse en el cuerpo de ideas que sirven como punto de partida para la siguiente ronda de variaciones? (La contrapartida a la pregunta biológica sobre la selección).

Como puede verse, Toulmin acepta que puede haber transformaciones de tipo revolucionario (o microrrevolucionario) pero sólo en el nivel de la aparición de variaciones. De la misma forma que un cambio genético puede provocar cambios importantes a nivel fenotípico (en la morfología, por ejemplo), pueden aparecer variantes conceptuales que sean revolucionarias respecto a las anteriores. Lo anterior parece contradictorio de la concepción toulminiana; sin embargo, no olvidemos que según Toulmin la unidad de variación es la disciplina, y, por lo tanto, los cambios dentro de ella pueden considerarse

graduales, de la misma forma que los cambios dentro de una especie son por definición graduales (si no provocan la aparición de una nueva especie); en consecuencia, tales microrrevoluciones son el equivalente de cambios adaptativos dentro de una especie. Además, el proceso de selección de dichas variantes en función de la aceptación diferencial por parte de un medio científico, es un proceso gradual.

Según Toulmin, la siguiente pregunta hace patente el carácter de transición de la postura actual de Kuhn: ¿Qué extensión deben tener las incongruencias conceptuales entre las ideas de una generación científica y las de la siguiente si es que la transición entre ellas va a constituir una “revolución científica”? (1975, p. 143).

El problema de separar entre una teoría y otra sería el mismo que se presenta al separar entre una especie y otra. En evolución una especie se distingue de otra cuando se interrumpe el flujo genético entre ambas. Ahora bien, en evolución conceptual podemos decir que un cambio brusco se da cuando se interrumpe la comunicación entre dos sistemas teóricos, pero, ¿esto sucede cuando ya no son equivalentes?

Toulmin concluye este punto afirmando:

Si cualquier cambio conceptual entre las teorías de generaciones sucesivas susceptibles de favorecer incomprensión entre ellas ha de aceptarse como “revolución” ¿no podemos entonces pedir una descripción general del papel de todos estos cambios conceptuales dentro del pensamiento científico? Esto implica tratar las microrrevoluciones de Kuhn como las microcatástrofes de Agassiz y en un momento nos salimos de las implicaciones originadas en términos del término “revolución” [1975, p. 143].

De acuerdo con Toulmin, si las microrrevoluciones del Kuhn actual son las unidades de toda innovación científica, entonces la idea de “revolución científica” tendrá que salir, al igual que las revoluciones políticas, de la categoría de los conceptos explicativos y entrar en la de los simples rótulos descriptivos.

Sin embargo es importante aclarar que en las propias teorías científicas no se ha

abandonado el término de revolución, ni en geología (tectónica de placas, influencia de cometas) ni en biología (equilibrio puntual, especiación estasipátrica, transilencia).

El cambio al que se refiere Toulmin es el que se da de un primer Kuhn, con una posición clara respecto al carácter revolucionario de los cambios de una teoría a otra, y un segundo Kuhn, con la concepción de que un cuerpo completo de teoría científica no constituye un único sistema lógico coherente que debe ser aceptado o rechazado en su totalidad, sino algo en lo que pueden hacerse cambios radicales en alguna o algunas de sus partes. En la posición anterior Kuhn veía los cambios entre paradigmas alternativos como un cambio de estructuras sistemáticas completas, de conceptos y proposiciones.

La conclusión para Toulmin es que hay diferentes tasas de cambio en el desarrollo del conocimiento; y “al igual que en las especies orgánicas, el cambio conceptual presenta notables diferencias de ritmo: en algunas épocas, los cambios importantes se siguen unos a otros rápidamente; en otras, pueden pasar siglos sin que se produzcan desarrollos significativos” (1972, p. 308).

V. La epistemología evolucionista de Karl Popper

KARL POPPER ES UNO DE LOS FILÓSOFOS DE LA CIENCIA que, en este siglo, han tenido mayor influencia no sólo en la filosofía sino en la ciencia misma, especialmente en física y en las ciencias metodológicamente más afines a ésta, como por ejemplo la biología molecular. Dicha influencia ha consistido sobre todo en la adopción de la metodología popperiana, esto es, sintéticamente, el reconocimiento de que el conocimiento científico no avanza por inducción y la aceptación del principio de falsación en lugar del de verificabilidad como criterio de cientificidad (Ayala, 1977, 1993).

A pesar de que Popper no ha analizado el desarrollo de las teorías biológicas aplicando su modelo, el impacto de esta ciencia es de notable importancia en su propia obra. En una primera etapa (*The Poverty of Historicism* [La miseria del historicismo], 1957 y *Objective Knowledge* [Conocimiento objetivo], 1972) Popper consideró que la teoría central de la biología, la teoría de la evolución, no era una teoría científica por ser tautológica y por lo tanto irrefutable. Sus argumentos son los siguientes:

Totalmente al margen de las filosofías evolucionistas, lo chocante de las teorías evolucionistas es su carácter tautológico o cuasitautológico; la dificultad estriba en que el darwinismo y la selección natural, a pesar de su inmensa importancia, explican la evolución mediante “la supervivencia del más apto” (expresión debida a Herbert Spencer). Sin embargo, no parece haber mucha diferencia —si es que la hay— entre decir “los que sobreviven son los más aptos” y la tautología “los que sobreviven son los que sobreviven”. Esto es así porque me temo que no haya más criterio de aptitud que la supervivencia efectiva, de manera que del hecho de que haya sobrevivido un organismo concluimos que era el más apto o el más adaptado a las condiciones vitales [1972, p. 223].

Popper señala que su visión del darwinismo como tautológico recibió influencias de evolucionistas tan importantes como George G. Simpson, J. B. S. Haldane,

Ronald Fisher y C. H. Waddington: “Menciono el problema porque pertenezco al grupo de los culpables. Influidos por estas autoridades, describí en el pasado esta teoría como ‘casi tautológica’...” (Popper, 1977a, p. 242) Después de la conferencia “Problemas de la Reducción en Biología” (septiembre de 1972, los resultados se publicaron en Ayala y Dobzhansky, comps., 1974) en la que pudo interactuar con biólogos y filósofos con una posición distinta, Popper retoma, por lo menos parcialmente, la forma en que el neodarwinismo rompe la tautología.

Podemos empezar notando que, para una población suficientemente pequeña y aislada reproductivamente, la teoría genética mendeliana y la teoría de mutación y recombinación juntas son suficientes para predecir [especiación], sin selección natural, lo que ha sido llamado “deriva genética”. Si se aísla un número pequeño de individuos de la población principal y se evita el entrecruzamiento con ésta, entonces, después de un tiempo, la distribución de genes en el acervo genético de la nueva población diferirá en alguna medida de la población original. Esto puede suceder incluso en completa ausencia de presiones de selección [Popper, 1977a, p. 243].

El argumento de Popper se refiere a que la evolución puede ser resultado de mecanismos diferentes a la selección natural, en este caso la deriva genética, fuerza evolutiva que puede orientar la evolución en un sentido adaptativo o no adaptativo, pero que a diferencia de la selección natural es un proceso aleatorio, es decir, no determinístico. Sin embargo, la deriva genética no es el único mecanismo que puede conducir a una evolución no adaptativa; la propia selección natural puede llevar a la formación de caracteres no adaptativos, por ejemplo en la selección sexual. En este punto Popper mantiene una versión limitada de selección cuando expresa:

En su forma más audaz y comprensiva, la teoría de la selección natural afirmaría que todos los organismos, y especialmente todos aquellos órganos cuya existencia puede ser interpretada como evidencia del designio y, además, todas las formas de comportamiento animal, han evolucionado como resultado de

selección natural; esto es, como resultado de variaciones al azar heredables, de las cuales las inútiles son removidas de manera que sólo las útiles permanecen” [1977a, p. 243].

Expresada en este sentido, escribe Popper, la teoría no sólo es refutable sino que está refutada, pues sabemos que no todos los órganos tienen un propósito; algo que Darwin mismo reconoció con determinadas características como las largas colas de aves, como algunos faisanes y otras estructuras ornamentales que no podían ser resultado de la selección natural, pero sí de la selección sexual. El reconocimiento de este tipo de fenómenos llevó a Darwin a plantear la selección sexual como un caso especial de selección natural que puede explicar la aparición de órganos no precisamente adaptativos (en cambio Wallace consideró la selección sexual como una forma más de selección natural, y así en ciertas aves el dimorfismo sexual que produce machos tan llamativos sería resultado de una presión de selección para hembras inconspicuas que puedan pasar inadvertidas para los depredadores).

Sin embargo hay otras explicaciones para este tipo de órganos que aparentemente no han surgido por selección natural; por ejemplo, pueden ser el resultado de crecimiento alométrico, crecimiento que a su vez sí pudo ser favorecido por la selección natural. Es decir, la selección puede favorecer el crecimiento de tamaño, por ejemplo en el caso del tigre “dientes de sable”, pero el crecimiento en la misma proporción de los incisivos puede resultar no adaptativo.

La aceptación de la existencia de mecanismos diferentes de la selección natural, mecanismo teleológico que conduce a la adaptación, y de la posibilidad de que incluso la selección natural produzca caracteres no adaptativos, rompe la tautología, porque entonces el organismo que sobrevive no es necesariamente el más adaptado. Darwin admitió que existen varios mecanismos evolutivos que no conducen a la adaptación de las especies. Además de los que se han mencionado antes: la variación directa, “cuando ciertas variaciones simplemente se dispersan en una población en ausencia de selección” (1872, p. 72); variación correlativa, cuando un carácter maladaptativo o no adaptativo está correlacionado con otro de valor adaptativo de forma que su combinación pueda ser adaptativa (1859).

En este mismo sentido Popper afirma:

Parece preferible admitir que no todo lo que evoluciona es útil, aunque es asombroso cuántas cosas lo son; y que haciendo conjeturas sobre el uso de un órgano o un programa conductual, teorizamos una posible explicación por selección natural: de por qué evolucionó en la manera en que lo hizo, y posiblemente de cómo lo hizo. En otras palabras me parece que como muchas teorías en biología, la evolución por selección natural no es estrictamente universal, aunque parece apoyada por un vasto número de importantes casos [1977a, p. 244].

Después de los razonamientos anteriores, Popper admite que la teoría de la evolución por selección natural puede ser expresada en forma no tautológica:

La teoría de la selección natural puede ser formulada de una manera lejos de ser tautológica. En este caso no es sólo testable, sino que se convierte en una verdad no estrictamente universal. Parece haber excepciones como en tantas otras teorías biológicas; y considerando el carácter azaroso de las variaciones en las cuales opera la selección natural, la ocurrencia de excepciones no es sorprendente. Entonces, en evolución no todos los fenómenos son explicados por la selección natural sola [Ibidem].

Popper sólo menciona parte de la salida que el neodarwinismo ha propuesto para acabar con la tautología que define como más apto al organismo que sobrevive y al organismo que sobrevive como el más apto. La propuesta involucra en primer lugar una distinción entre los conceptos de eficacia biológica o adecuación (fitness) y de adaptación, y en segundo, pero no menos importante, la aclaración de que la selección natural no es el único mecanismo de evolución. Ayala (1980) respondió al calificativo de tautológica a la teoría de la selección natural:

Estas críticas son erróneas. En primer lugar, los críticos igualan erróneamente la eficacia biológica con los cambios de las frecuencias génicas. Aunque es

probable que las diferencias de eficacia biológica provoquen cambios en las frecuencias génicas, no todos los cambios de las frecuencias génicas son debidos a diferencias de eficacia biológica. Las frecuencias génicas cambian por selección natural, pero también por deriva, mutación y migración. Puede comprobarse empíricamente si un cambio evolutivo determinado es debido a diferencias en la eficacia biológica, es decir a la selección natural... En segundo lugar, los críticos se equivocan porque no consideran una premisa crítica en la argumentación. Se postula la selección natural tal como Darwin la concibió, para explicar la adaptación: por qué los organismos presentan características direccionales. El cambio evolutivo consiste simplemente en una consecuencia de la selección natural que favorece la adaptación de los organismos a su ambiente [p. 503].

La eficacia biológica también puede cambiar por deriva genética, sólo que en este caso se trata de un cambio no orientado al aumento en adecuación, es decir, la deriva génica puede dar lugar a combinaciones más o menos adecuadas, por azar.

En suma, es importante señalar que no hay identidad entre adaptación y evolución, pues la evolución puede ser resultado de mecanismos alternativos como la deriva genética, mecanismo de evolución completamente estocástico y por lo tanto antideterminista que puede provocar cambios drásticos, especialmente en poblaciones pequeñas. Según ya lo aceptaba Darwin, la selección natural es el mecanismo de evolución más importante y es una fuerza determinista que orienta la evolución de las especies hacia la adaptación, pero no es el único mecanismo evolutivo. Esto rompe la tautología, pues al decir cuál es el que sobrevive, la respuesta no es simplemente el más apto; la respuesta es: sobrevive el organismo que tiene mayores posibilidades de resultar favorecido por la selección natural y por el azar. Como antes se afirma, no siempre el organismo que sobrevive es el más adaptado, a veces inclusive la propia selección natural favorece a portadores de genes que no son los más adaptados.

Sobre este último punto Ayala afirma:

Para explicar una adaptación particular, un argumento seleccionista para resultar

válido ha de mostrar: 1) que está involucrada la selección natural, y 2) que la selección natural favorece la adaptación en cuestión. Estos dos puntos pueden probarse empíricamente. Los que sostienen que la teoría de la selección natural es circular proclaman erróneamente dos identidades: que los cambios de las frecuencias génicas son lo mismo que las diferencias en eficacia biológica y que la eficacia biológica es lo mismo que adaptación. No siempre se tienen estas identidades. El que la selección natural esté implicada en un cambio genético determinado y el que la selección natural favorezca una adaptación determinada son problemas que han de resolverse empíricamente [...] hay dos tipos de problemas con los que nos enfrentamos en las explicaciones de la evolución mediante selección natural. Uno consiste en determinar si la selección natural se halla implicada en un determinado cambio genético; el segundo consiste en identificar en concreto la adaptación implicada en el cambio genético [...] En discusiones sobre selección natural el planteamiento de que un cambio genético dado es debido a diferencias en eficacia biológica es una hipótesis empíricamente falsable por observaciones y experimentos apropiados [1980, p. 503].

A pesar de las discusiones anteriores, es decir, aun antes de haber reconocido que el darwinismo no es una tautología, Popper consideró que la selección natural puede dar cuenta de la evolución conceptual. En sus dos primeros libros, *La lógica de la investigación científica* y *Conjeturas y refutaciones*, no menciona explícitamente a Darwin ni a su teoría, pero en este último hace una pequeña alusión a parte de la explicación darwinista: “la gran mayoría de nuestras teorías, de nuestra ideas libremente inventadas, fracasan; no resisten las pruebas de investigación, y se las descarta como refutadas por la experiencia. Sólo unas pocas de ellas logran éxito, durante un tiempo, en la lucha competitiva por la supervivencia” (Popper, 1963).

En *Conocimiento objetivo* —aunque como antes se señala, todavía cree que es una tautología— admite que el darwinismo es una teoría científica y sostiene que explica más de lo que se propuso Darwin, es decir, que puede dar cuenta de todos los procesos de adaptación, no sólo de la adaptación biológica sino, por ejemplo, del proceso que siguen los científicos para adaptar sus teorías a la realidad. Para convertir el darwinismo en esa teoría general, Popper considera necesario realizar algunas precisiones: “Esta situación [Popper se refiere a su carácter tautológico] muestra que el darwinismo, con todas sus grandes virtudes,

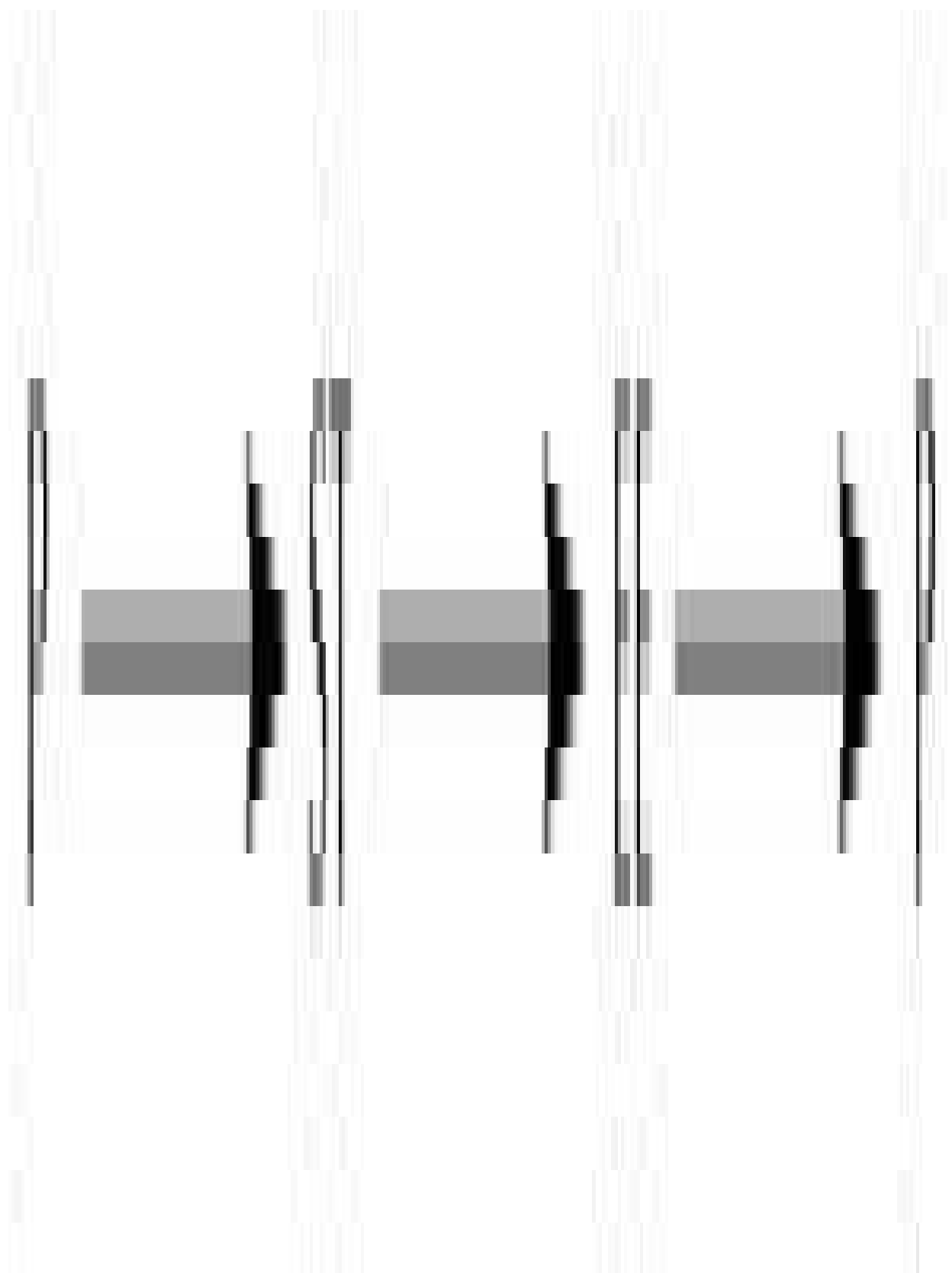
dista de ser una teoría perfecta. Requiere una reformulación que la haga más precisa. La teoría evolucionista que voy a pergeñar constituye un intento de reformularla en dicho sentido” (1972, p. 224).

Según Popper el darwinismo da cuenta de todos los procesos que implican aumento de conocimiento. Los procesos biológicos, tanto como los científicos, pueden ser vistos como procesos de resolución de problemas; los órganos son soluciones tentativas análogas a las teorías. Es decir, para él, la explicación darwiniana puede extenderse a la comprensión de la evolución de las ideas, con sólo hacerla más precisa:

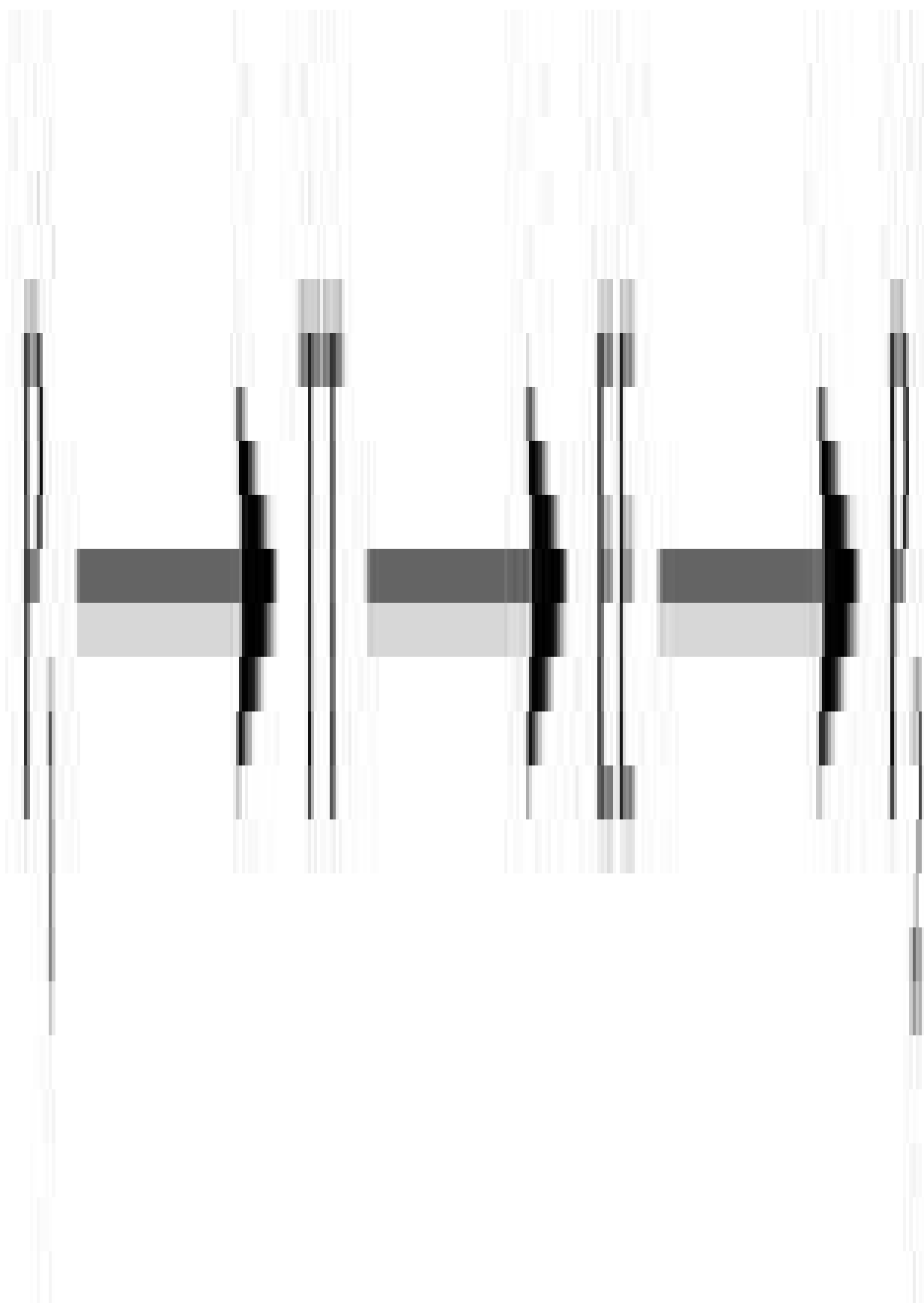
1. Todos los organismos acometen constantemente, día y noche, la resolución de problemas, cosa que también hacen todas las secuencias evolucionistas de organismos —los phyla que empiezan por las formas más primitivas y cuyos miembros son los organismos vivos en la actualidad.
2. Éstos son problemas en sentido objetivo: hipotéticamente, pueden ser reconstruidos de manera retrospectiva, como si dijéramos. Los problemas objetivos en este sentido no precisan una contrapartida consciente, y, cuando la tienen, el problema consciente no tiene por qué coincidir con el problema objetivo.
3. La resolución de problemas procede siempre por ensayo y error; se lanzan provisionalmente nuevas hipótesis que se controlan mediante la eliminación de errores.
4. La eliminación de errores puede proceder ya sea por eliminación completa de las formas que no tienen éxito (la selección natural elimina las formas sin éxito), o bien por evolución (tentativa) de controles que modifiquen o supriman los órganos, formas, conductas o hipótesis sin éxito.
5. El organismo individual incorpora en sí mismo, como si dijéramos, los controles desarrollados a lo largo de la evolución de su phylum —como si reiterase parcialmente la evolución filogenética de su desarrollo ontogenético.
6. El organismo individual es una especie de punta de flecha de la secuencia evolucionista de organismos a los que pertenece (su phylum): él mismo modificando el medio. Mantiene con su phylum unas relaciones casi exactas a las que las acciones (comportamiento) del organismo individual mantienen con éste: tanto el organismo individual como su comportamiento son ensayos que se

pueden eliminar mediante la supresión de errores.

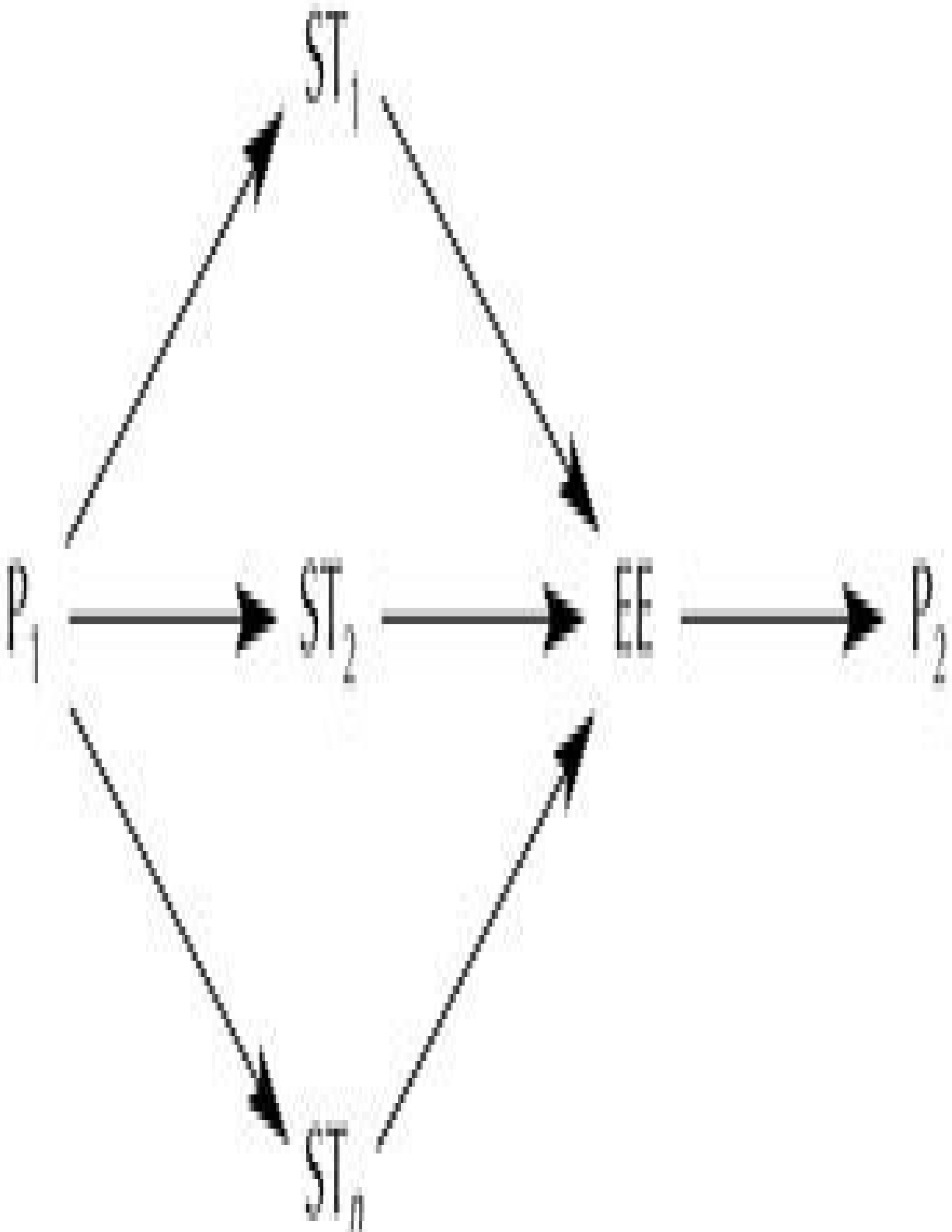
7. Siendo “P” un problema, “ST” las soluciones tentativas y “EE” la eliminación de errores,¹ podemos expresar del modo siguiente la secuencia evolutiva fundamental de los acontecimientos:



Ahora bien, esta secuencia no es circular: por lo general, el segundo problema es distinto del primero; es el resultado de una nueva situación que ha surgido, en parte, gracias a las soluciones tentativas que se han ensayado y a la eliminación de errores que las controlan. Para señalarlo, hemos de escribir de nuevo el esquema del siguiente modo:



8. Pero aun así, falta un elemento importante: la multiplicidad de los ensayos.
Por tanto, nuestro esquema final queda más o menos así:



Conocimiento básico

Es decir, de acuerdo con Popper, empezamos con un problema P1 seguido de una solución tentativa ST o teorías TT, que puede ser parcial o totalmente equivocada; en cualquier caso está sujeta a eliminación del error EE, que puede consistir en una discusión crítica o en pruebas experimentales; en cualquier momento pueden aparecer nuevos problemas P2 a partir de nuestra actividad creativa; y estos nuevos problemas no son, en general, creados intencionalmente por nosotros. Emergen autónomamente desde el campo de nuevas relaciones que no podemos traer a existencia con cada acción; sin embargo, intentamos hacerlo. Esto se debe a la autonomía del mundo 3, y a la retroalimentación del mundo 2 e incluso del mundo 1. Dicha autonomía del mundo 3, lo mismo que la retroalimentación a partir de los mundos 1 y 2, se cuenta entre los hechos más importantes del crecimiento del conocimiento (Popper, 1967, pp. 70-71).

9. De este modo, podemos comparar nuestro esquema con el del neodarwinismo. Según éste, hay un problema fundamental: el de la supervivencia. Como en nuestro esquema, hay una multiplicidad de soluciones tentativas —las variaciones o las mutaciones—, aunque sólo hay un medio de eliminar errores —la muerte del organismo—. Además (en parte por esta razón), el hecho de que P1 y P2 difieran esencialmente o se pasa por alto o no se reconoce de un modo suficientemente claro su importancia fundamental.

Aquí Popper tiene una idea de la selección natural como un asunto de todo o nada sin tomar en cuenta el carácter oportunista de la selección que elige no lo mejor sino sólo lo mejor posible, es decir, lo mejor en comparación, esto es, no hay el mejor absoluto y los demás mueren. Pueden sobrevivir, y de hecho lo hacen, organismos con errores; más aún, no hay organismos perfectos. Pensemos por ejemplo en las parasitosis, en las enfermedades; un organismo perfecto sería el que tuviera mecanismos para evitarlas. En fin, la manera de eliminar errores de la selección natural no es la muerte del organismo; éste es un caso extremo y por supuesto es un modo de actuar importante de la selección natural. Otra forma de eliminar errores es no favorecer la reproducción de ese organismo, es decir, disminuir su adecuación otra vez en comparación con otros, lo cual tampoco significa que el organismo no se reproduzca, sino sólo que tendrá menos

descendientes que los fenotipos más adecuados. Esto hace que en evolución biológica el esquema no pueda terminar en una forma P2, sino en varias formas alternativas, a veces con diferentes niveles de adecuación; o, inclusive, la selección natural puede dar lugar a formas con adecuación equivalente; por ejemplo, a nivel genético los polimorfismos genéticos y a nivel morfológico las diferentes variedades o razas que son consecuencia de los anteriores. En cambio, en evolución conceptual, por lo menos en la concepción de Popper y gracias a su criterio de demarcación, es difícil que se hable de formas teóricas alternativas, todas con validez similar, todas sobrevivientes.

10. En nuestro sistema no todos los problemas son de supervivencia: hay problemas y subproblemas muy específicos (aun cuando los problemas primitivos hayan sido simplemente problemas de supervivencia). Un problema primitivo, P1, puede ser, por ejemplo, la reproducción. Su solución puede llevar a un nuevo problema P2, el problema de dispersar o librarse de la prole —los hijos que amenazan con acabar no sólo con el organismo paterno, sino también con los suyos propios.

Acerca de este punto Popper agrega que es interesante constatar que el problema de evitar verse eliminado por la propia prole puede ser uno de los problemas resueltos por la evolución de los organismos multicelulares: en lugar de librarse de la prole, se establece una economía común con diversos métodos nuevos de vivir juntos. Sin embargo, no puede decirse que los organismos multicelulares hayan resuelto el problema únicamente en la manera que señala Popper. Tanto los organismos unicelulares como los organismos multicelulares también tienen formas de dispersión, sumamente complicadas e interesantes, que evitan la competencia entre un organismo y su progenie.

11. La teoría aquí propuesta distingue entre P1 y P2 y muestra que los problemas (o las situaciones problemáticas) a que el organismo trata de enfrentarse son muchas veces nuevos y surgen por sí mismos como resultado de la evolución. Por tanto, la teoría suministra implícitamente una explicación racional de lo que tradicionalmente se ha denominado de un modo un tanto equívoco, “evolución creadora” o “evolución emergente”.

12. Nuestro esquema permite el desarrollo de controles para eliminar errores (órganos de alerta, como los ojos; mecanismos de realimentación), es decir, controles que pueden eliminar los errores sin acabar con el organismo; cosa que hace posible en última instancia que nuestra hipótesis muera en lugar nuestro

(Popper, 1972, pp. 224-226).

La eliminación del error, explica Popper (1967), tiene lugar por la vía de la crítica racional sistemática que se transforma en el esquema de la búsqueda de la verdad y del contenido por medio de la discusión racional. Describe la forma en la que nos elevamos por nuestros propios esfuerzos, y brinda una descripción racional de la emergencia evolutiva y de nuestra autotrascendencia por medio de la selección y crítica racional (1967, pp. 72-73). Es importante, señala Popper, que tengamos claros los principios por los que preferimos o seleccionamos una teoría:

En primer lugar ellas están gobernadas por la idea de verdad. Queremos, si esto es posible, teorías que sean verdaderas, y por esta razón tratamos de eliminar las falsas [...] Mi solución al problema de la inducción fue que podemos tener preferencias por ciertas de las conjeturas competidoras; esto es, por aquellas que son altamente informativas y que resisten la crítica eliminadora. Estas conjeturas preferidas son resultado de la selección, de la lucha por la sobrevivencia entre las hipótesis bajo tensión crítica, la cual es presión de selección artificialmente intensificada [1953, pp. 112-113].

Puede verse aquí que la analogía con la evolución biológica es parcial, y por lo tanto limitada en su valor heurístico. Es parcial pues según Popper la tendencia de la evolución conceptual es la búsqueda de la verdad, que en este sentido es única. En evolución biológica hay diversas soluciones a los problemas planteados por el medio a los organismos, y ninguna de estas soluciones puede considerarse superior (o más cercana a la verdad) que las respuestas alternativas. Por ejemplo, los ojos han aparecido de manera independiente en vertebrados y moluscos; en cada uno de estos grupos dichos órganos resuelven los problemas de sus especies. Aunque pueda decirse que los ojos de los vertebrados son más complejos, la naturaleza no ha eliminado los ojos de los moluscos que, en todo caso, resuelven de manera adecuada sus necesidades de visión. Por otra parte, en evolución biológica las soluciones inadecuadas son rechazadas (e. g. mutaciones letales); pero si hay una solución mejor que otra, las frecuencias de dicha

solución superior aumentan. A la larga la acumulación de variaciones puede llevar a la formación de un órgano nuevo y al reemplazamiento del anterior (pata por aleta en cetáceos, pata con tres dedos a pata con un dedo de Eohippus, y al caballo moderno). Con las teorías no ocurre lo mismo: si una es considerada más cercana a la verdad que otra, ésta última deberá ser eliminada en honor a la honestidad científica, según Popper. Al buscar las mejores teorías, la ciencia tiende a la perfección (aunque por supuesto no se alcanza, se habla de tendencia); la selección natural, en cambio, puede en un momento dado incluso tener regresiones si hay una presión de selección por la que esto se requiera. La selección natural es oportunista, no tiene una dirección predeterminada, se va por las mejores vías posibles. Podríamos decir que el ojo de los moluscos es como la mecánica newtoniana, y el de los vertebrados como la relatividad. Tal vez los moluscos nunca descubran la relatividad; pero los científicos no han descubierto quién sabe cuántas teorías más adecuadas que la relatividad.

En su artículo “The mind body problem” (1977b, pp. 265-275), Popper ya reconoce al darwinismo como la única teoría evolutiva aceptable y sintetiza en cuatro principios la selección natural:

1. La teoría de la selección natural es la única teoría conocida en el presente que puede explicar la emergencia de procesos intencionales en el mundo y, especialmente, la evolución de formas más elevadas de vida.
2. La selección natural tiene que ver con la sobrevivencia física (con la distribución de frecuencias de genes competidores en una población). Tiene que ver, esencialmente, con la explicación de los efectos del mundo 1.
3. Si la selección natural ha de dar cuenta de la emergencia del mundo 2 de lo subjetivo o experiencias mentales, la teoría debe explicar la manera en la cual la evolución del mundo 2 (y del mundo 3) nos provee sistemáticamente de instrumentos para la sobrevivencia.
4. Cualquier explicación en términos de selección natural es parcial e incompleta. Por ello debe asumirse siempre la existencia de muchas (y algunas desconocidas) mutaciones competidoras, y de una variedad de (en parte desconocidas) presiones de selección.

A diferencia de otros epistemólogos evolucionistas, por ejemplo Toulmin (1967, 1977, 1981), que ven en el darwinismo una analogía explicativa, la concepción

de Popper no estriba en que pueda establecerse una analogía entre la evolución biológica y la evolución conceptual, sino en que ambos procesos pueden ser explicados por la misma teoría porque en los dos casos el fenómeno que debe explicarse es la adaptación; en la primera, de los organismos al medio, y en la segunda, de las teorías a la naturaleza. Es decir, la adaptación es el fenómeno general que explica el darwinismo. Se trata, entonces, de una analogía como justificación; esto es si la analogía funciona, si es consistente, puede hablarse de que, en efecto, las teorías evolucionan por un proceso evolutivo de selección natural. En este sentido la concepción de Popper es coincidente con la de Hull (1988, 1990, 1992), que propone una teoría general de los procesos que involucran selección.

Otro aspecto importante es el de que la mayoría de los epistemólogos evolucionistas intentan establecer una analogía entre la evolución biológica y la evolución conceptual tomando como modelo original la evolución biológica y en particular la explicación darwinista de dicho proceso evolutivo. Las excepciones en este aspecto son Popper y Campbell (1960, 1974), quienes no sólo toman el modelo biológico de evolución y lo llevan a la evolución de las ideas, sino que hacen un círculo completo, regresan de la evolución conceptual a la evolución biológica y hacen propuestas de modificación de la teoría evolutiva a partir de lo encontrado en la evolución conceptual. Son muy importantes en este sentido las reflexiones de Campbell acerca de que hablar de mutaciones como algo completamente azaroso es incorrecto; por ello, plantea que más bien debe hablarse de “variación ciega”, aspecto que Popper retoma. El término “variación ciega” que introduce Campbell (1960, 1983) trata de hacer constar que la variación, sea de mutaciones o de nuevas ideas, no ocurre totalmente al azar en tanto que las mutaciones no son equiprobables, no son ilimitadas (hay restricciones de varios tipos: “Algunos críticos escriben como si los defensores de la mutación al azar creyeran que las mutaciones procedentes de un pulpo pudieran incluir una jirafa” [1983, p. 200]). En el caso de la evolución conceptual, Campbell dice que las nuevas ideas son en general injustificadas, lo cual considera análogo a la cuestión del azar antes mencionada. En seguida mencionaremos las ideas de Popper sobre cómo debe modificarse el darwinismo en función de lograr un modelo único de evolución que pueda ser válido para todos los procesos que involucran adaptación.

La evolución conceptual

Al plantear la evolución del conocimiento como resultado de la selección natural, Popper pretende describir cómo se desarrolla realmente el conocimiento:

No es una metáfora, aunque sea obvio que se utilizan metáforas. La teoría del conocimiento que deseo proponer es una teoría del desarrollo del conocimiento en gran medida darwinista. De la ameba a Einstein, el desarrollo del conocimiento es siempre el mismo: intentamos resolver nuestros problemas, así como obtener, mediante un proceso de eliminación, algo que se aproxime a la adecuación en nuestras soluciones provisionales [1972, p. 241].

Nuestro conocimiento, continúa, es el resultado de un proceso muy similar a lo que Darwin llamaba “selección natural”; es decir, la selección natural de hipótesis: nuestro conocimiento consta en todo momento de aquellas hipótesis que han mostrado su aptitud (comparativa), habiendo sobrevivido hasta el momento actual en su lucha por la existencia; lucha competitiva que elimina aquellas hipótesis inadecuadas (1972, p. 240).

De acuerdo con Popper, esta interpretación se puede aplicar al conocimiento animal, al conocimiento precientífico y al científico. Lo peculiar del conocimiento científico es que en él la lucha por la existencia se hace más dura mediante la crítica consciente y sistemática de nuestras teorías. Así pues, señala, mientras que los conocimientos animal y precientífico se desarrollan fundamentalmente mediante la supresión de quienes sostienen hipótesis inadecuadas, la crítica científica logra que nuestras teorías perezcan en lugar nuestro, eliminando así nuestras creencias equivocadas antes de que éstas nos lleven a nuestra propia perdición (1972, p. 240).

Según Popper, el desarrollo de la ciencia aparenta ser inductivo cuando realmente es deductivo, de manera similar a la apariencia que a veces da la evolución biológica de ser teleológica (especialmente en el sentido

lamarckiano):

el proceso de descubrimiento o de aprendizaje acerca del mundo que he descrito aquí es evocativo más que instructivo. Aprendemos del medio no porque él nos instruya, sino porque nos lanza un desafío: evoca nuestras respuestas (entre ellas, nuestras expectativas, anticipaciones y conjeturas) y aprendemos de nuestros errores. No obstante, un método evocativo como éste puede simular o imitar un proceso de instrucción: el resultado del proceso puede dar la impresión de que hemos obtenido nuestras teorías partiendo de la observación y procediendo por inducción. La idea de un proceso evocativo de evolución que simula un proceso de instrucción es típica de Darwin y desempeña un papel importante en lo que sigue [1972, p. 245].

En fin, la selección natural orienta la evolución sin objetivos preestablecidos, pero simula actuar con ciertos propósitos, dice Popper: “la teoría de la selección natural mostró que en principio era posible reducir la teleología a la causación, mediante la explicación, en términos puramente físicos, de la existencia en el mundo de planes y propósitos” (1972, p. 245).

Lo que Darwin nos mostró fue que el mecanismo de selección natural puede simular, en principio, los actos del Creador junto con sus planes y designios, del mismo modo que puede simular la actividad humana racional orientada a un objetivo o finalidad (1972, p. 245). Todo organismo, sigue Popper, se enfrenta continuamente a la solución de problemas por ensayo y error y reacciona tanto a los nuevos como a los viejos problemas mediante ensayos más o menos aleatorios o nebulosos, ensayos que se eliminan si no tienen éxito. Si lo tienen, aumentan la probabilidad de supervivencia de las mutaciones que “estimulan” las soluciones así obtenidas y tienden a hacerlas hereditarias, incorporándolas a la forma o estructura espacial del nuevo organismo. Aquí Popper hace una importante aclaración y señala lo siguiente:

el método de ensayo y supresión de errores no opera mediante ensayos totalmente azarosos o aleatorios (como se ha sugerido alguna vez), aunque dichos ensayos puedan parecer plenamente aleatorios; debe haber al menos una

“secuela”. La razón de ello es que el organismo aprende constantemente de sus errores; esto es, establece controles que suprimen, eliminan o, al menos reducen la frecuencia de ciertos ensayos posibles (que tal vez fuesen actuales en una etapa pasada de su evolución) [1972, p. 227].

También aclara que la manera de estimular las soluciones obtenidas y hacerlas hereditarias es por medio del “efecto Baldwin”. Hace referencia a los artículos de Simpson (1953) y al de Waddington (1953) de *Evolution*, como si ambos tuvieran la misma posición sobre el efecto Baldwin, aunque en realidad las opiniones de dichos autores son completamente opuestas. Más adelante analizaremos este punto porque es fundamental para entender si la analogía es o no posible, especialmente si se la trata como justificación.

En “*Evolutionary Epistemology*” (1973), Popper afirma que desde un punto de vista biológico o evolutivo, la ciencia, o el progreso en ciencia, puede ser visto como el medio usado por la especie humana para adaptarse al ambiente: para invadir nuevos nichos ambientales, e incluso para inventarlos. La invención de un nicho, aclara Popper, es por ejemplo la formación de la membrana proteica del primer virus y de las primeras células (1973, p. 78). Para él la ciencia es una adaptación más de *Homo sapiens*.

Como antes se señala, Popper sostiene que el darwinismo puede explicar los fenómenos que involucran adaptación: “Podemos distinguir los tres niveles de adaptación: adaptación genética; aprendizaje conductual adaptativo e investigación científica, que es un caso especial de aprendizaje conductual adaptativo” (1973, p. 79). Es interesante observar que estos tres niveles de evolución corresponden a los tres mundos de Popper, el mundo 1 de lo físico, el mundo 2 de lo psicológico y el mundo 3 de los productos de la mente humana.

La intención fundamental de Popper, en este ensayo, es analizar el papel que en cada uno de los tres niveles de adaptación desempeñan instrucción y selección. Argumenta que en los tres niveles mencionados el mecanismo de adaptación es fundamentalmente el mismo:

En los tres niveles la adaptación se inicia a partir de una estructura hereditaria que es básica. En el nivel genético es la estructura genética del organismo. Esto

corresponde en el nivel conductual al repertorio innato de los tipos de comportamiento que están disponibles para el organismo; y en el nivel científico, a las conjeturas o teorías dominantes. Estas estructuras son siempre transmitidas por instrucción, en los tres niveles: por la replicación de las instrucciones genéticas codificadas en los niveles genético y conductual; y por la tradición social e imitación en los niveles conductual y científico. En los tres niveles la instrucción viene de adentro de la estructura. Si ocurren mutaciones, variaciones o errores, éstas son nuevas instrucciones, las cuales también se originan desde adentro de la estructura más que desde afuera [1973, p. 79].

Estas estructuras hereditarias están expuestas a ciertas presiones, retos o problemas: a presiones de selección; a retos ambientales; a problemas teóricos. En respuesta, se producen las variaciones de las instrucciones heredadas genéticamente o por tradición, por métodos que son al menos en parte al azar. En el nivel genético, se trata de mutaciones y recombinaciones de las instrucciones codificadas; en el nivel conductual, son variaciones y recombinaciones tentativas dentro del repertorio; en el nivel científico, son teorías nuevas y tentativas. En los tres niveles tenemos nuevas instrucciones a prueba; o en síntesis, pruebas tentativas (Ibidem).

Popper reconoce que “es un problema abierto si se puede hablar en términos de ‘en respuesta’ acerca del nivel genético”. Aclara que las mutaciones son indispensables para que la evolución tenga lugar; por lo tanto, sin ellas no puede haber adaptación o evolución; y entonces puede decirse que la ocurrencia de mutaciones es parcialmente controlada por la necesidad que se tiene de ellas, o funciona como si así fuera. Sin embargo, desde el punto de vista neodarwiniano las mutaciones son eventos espontáneos en cuanto a que pueden ocurrir sin una causa externa que las provoque; pueden ser simplemente errores durante la síntesis del DNA o pueden ser producidas por agentes externos, los mutágenos, como rayos cósmicos, o sustancias químicas, virus, las partículas genéticas móviles (entre estas últimas los transposones). Pero no se puede decir que aparezcan en respuesta a una necesidad de evolución. Sólo se afirma lo contrario en el lamarckismo, que se plantea que los organismos tienen una tendencia inherente a la evolución, pues tienen que llegar a producir necesariamente una serie determinada de organismos, de donde entonces sí podría aceptarse la idea de las variaciones como respuesta a dicha necesidad de cambio. En fin, es claro que no hay ninguna relación entre necesidad de cambio y aparición de

mutaciones.

Popper destaca que esas pruebas tentativas son cambios que se originan desde dentro de la estructura individual de una manera más o menos azarosa en los tres niveles (1973, p. 79). Sin embargo, las variaciones en las teorías no son en la misma medida variaciones desde dentro en el sentido que lo son las mutaciones. Un teórico recibe información de otros científicos por medios orales, escritos, etc., y es posible que este tipo de comunicación provoque cambios en sus ideas originales de una manera no tan azarosa, pues el científico puede por ejemplo responder a una crítica concreta o incorporar a su concepción alguna idea de otro científico y mejorar su teoría, hacerla más aceptable. La equivalencia en el nivel genético sería la recombinación o la transmisión horizontal (entre diferentes especies) de información genética, pero un organismo no puede quedarse con la información genética que le favorece y eliminar la que le perjudica. El científico sí tiene esta posibilidad, lo que marca diferencias notables entre ambos procesos.

En cuanto a la selección, Popper sostiene que es la etapa de eliminación del error. Las tentativas nuevas que están mal adaptadas son eliminadas por selección natural. De acuerdo con el pensamiento popperiano, es necesario destacar que en general no se puede alcanzar un estado de equilibrio o adaptación por la aplicación del método de ensayo y eliminación del error, ni por selección natural:

Primero porque no es posible ofrecer soluciones óptimas o perfectas al problema, y segundo —y más importante— porque la emergencia de nuevas estructuras, o de nuevas instrucciones, involucra cambio en la situación ambiental. Como resultado de los cambios estructurales surgidos desde dentro del organismo, pueden hacerse relevantes nuevos elementos del ambiente; y en consecuencia, pueden surgir nuevas presiones, nuevos retos, nuevos problemas [1973, p. 80].

En el nivel genético, sigue Popper, una mutación sería posible con el cambio consecuente en la enzima. Esto modifica el ambiente interno de la estructura genética y, con dicho cambio, las relaciones del organismo y el ambiente externo también se modificarían y surgirían por lo tanto nuevas presiones de selección.

Lo mismo pasa en el nivel conductual, por la adopción de un nuevo tipo de comportamiento que puede ser adecuado en muchos casos a un nuevo nicho ecológico. Como consecuencia aparecen nuevas presiones de selección y nuevos cambios genéticos.

Si con lo anterior Popper se refiere a la eventualidad de cambios en las frecuencias genéticas (que pueden ser alteradas por selección natural, deriva genética, migración) está bien, pero si por “cambios genéticos” quiere decir mutaciones, evidentemente es inaceptable desde el punto de vista neodarwinista que las variaciones conductuales orienten o provoquen mutaciones. Este aspecto se discutirá en detalle más adelante.

En el caso del nivel científico, sostiene Popper, la adopción de una nueva teoría puede resolver uno o dos problemas, pero invariablemente abre otros; para una teoría nueva, revolucionaria, funciona exactamente como un nuevo y poderoso órgano de los sentidos. Si el progreso es significativo, entonces el nuevo problema diferirá del viejo: estará en un nivel de profundidad radicalmente diferente. Esto pasó, señala Popper, en la relatividad y en la mecánica cuántica y está pasando en la biología molecular. En suma: “Los tres niveles que he considerado, el genético, el conductual y el científico, operan con estructuras heredadas que son pasadas por instrucción; sea a través del código genético o vía la tradición. En los tres niveles pueden surgir nuevas instrucciones por cambios de pruebas (ensayos) desde el interior; por ensayos tentativos que están sujetos a la selección natural o eliminación del error” (1973, p. 81).

En éste, que puede ser considerado uno de los ensayos donde Popper explicita de manera más clara su posición evolucionista, habla también de las diferencias en la evolución de los tres niveles.

La principal diferencia que encuentra entre el cambio genético y el conductual es que en el nivel genético los cambios no sólo son completamente al azar, sino que son “ciegos”, esto es, no son dirigidos a un objetivo. Además, la sobrevivencia de una mutación no puede derivar en mutaciones adicionales, ni tampoco en la frecuencia o probabilidad de su ocurrencia, aunque acaso la sobrevivencia de una mutación determine qué tipo de mutaciones sobrevivan en casos futuros. En el nivel conductual, las pruebas también son más o menos al azar, pero no son completamente “ciegas” en ninguno de los dos sentidos mencionados. Primero, están dirigidas a un objetivo; y segundo, los animales aprenden del resultado de un ensayo: tienen capacidad de aprender a evitar el tipo de ensayos conductuales

que han fallado. Igualmente pueden aprender del éxito; y el comportamiento exitoso puede ser repetido, aun en casos en que no es adecuado. Sin embargo, un cierto grado de “ceguera” es inherente a todos los ensayos (1973, p. 81).

Es conveniente redundar en este punto: las modificaciones conductuales aparecen de manera totalmente similar a las modificaciones estructurales, lo que significa que las mutaciones que provocan variaciones a nivel de la conducta ocurren también al azar en tanto que no son provocadas con el objeto de mejorar la relación con el ambiente. Dicho de otro modo, las variaciones conductuales que favorecen dicha relación serán a su vez favorecidas por la selección natural.

En lo que tiene razón Popper es al afirmar de que la adaptación conductual es usualmente un proceso activo, pues los animales e incluso las plantas son capaces de investigar su ambiente. Esta investigación puede cambiar las presiones de selección e incluso conducir a deriva genética (por ejemplo en el caso de un sector pequeño de una población que se separa de la población original).

Por otra parte, Popper encuentra una gran diferencia entre los cambios genéticos y los cambios conductuales, pues, dice, los cambios genéticos son siempre establecidos como estructuras rígidas casi invariables, mientras los cambios conductuales, con la excepción de los comportamientos tipo “impronta” (Konrad Lorenz), llevan en general a patrones flexibles que permiten modificación o diferenciación.

Sobre la relación entre fenotipo y genotipo en evolución conceptual, Popper considera que en ciencia el “nivel fenotípico” corresponde al campo de la justificación del saber científico, y el “genotípico” es el campo de la producción de teorías en la mente de los científicos. Pero aceptar los tres niveles de Popper, genético, conductual y científico, implica conceder que hay diferencias sustantivas entre la evolución de las estructuras morfológicas y la evolución del comportamiento, lo cual es falso. Casi en la misma medida en que son flexibles los patrones conductuales lo son los morfológicos, por lo que aquello que se llama “norma de reacción”, esto es un genotipo (sea que determine una estructura o una conducta) da diversas respuestas dependiendo del ambiente. Es decir, el sistema genético está lejos de dar salidas fijas, pues depende para su expresión de la situación ambiental, incluyendo el desarrollo ontogenético.

Popper considera que en el nivel científico todos los descubrimientos son

revolucionarios y creativos. Aclara que en realidad puede atribuirse una cierta cantidad de creatividad a todos los niveles, aun al genético: nuevos ensayos conducen a nuevos ambientes y con ello a nuevas presiones de selección, que crean nuevos y revolucionarios resultados en todos los niveles, aunque haya fuertes tendencias conservadoras en los diferentes mecanismos de instrucción (1973, p. 82).

Como Popper afirma, la adaptación genética puede darse en forma muy rápida, incluso en una o dos generaciones (por ejemplo en casos de una mutación favorecida por una fuerte presión de selección); pero esto plantea problemas en el caso de organismos que se replican a gran velocidad. En este tipo de organismos, señala (1973, p. 82), puede suceder en un lapso muy corto, de modo que no haya lugar para ningún tipo de adaptación conductual. Es decir, en esta situación habría un desfase entre la modificación estructural y la conductual. Más que un problema planteado a la evolución biológica, es un problema de la concepción de Popper acerca de las diferencias sustanciales entre la evolución de las estructuras y la evolución del comportamiento. Es de destacarse que, por supuesto, el comportamiento influye en la evolución, pero sólo en el sentido antes señalado de favorecer la alteración de determinadas frecuencias genéticas, mas no en la producción de variaciones. Popper continúa así:

Los organismos de reproducción más lenta son obligados a inventar adaptaciones conductuales con el objeto de ajustarse a los rápidos cambios ambientales. Entonces necesitan un repertorio conductual, con tipos de comportamiento con mayor o menor libertad o rango. El repertorio y la libertad de los tipos disponibles de comportamiento pueden asumirse como genéticamente programados; y por lo tanto puede decirse que un nuevo tipo de comportamiento puede involucrar la elección de un nuevo nicho ambiental, nuevos tipos de comportamiento pueden incluso ser genéticamente creativos, porque pueden a su vez determinar nuevas presiones de selección y con eso indirectamente decidir la futura evolución de la estructura genética [1973, p. 83].

Coincidimos con las anteriores aseveraciones de Popper en cuanto a que es factible que un nuevo tipo de comportamiento desempeñe un papel fundamental

en la evolución. Por cierto que la aparición de una nueva estructura produciría consecuencias similares. Pero como hemos señalado, los cambios, sean conductuales o morfológicos, no dan pie para favorecer la aparición de mutaciones benéficas. Si la secuencia que propone Popper fuera posible, los criadores sólo tendrían que poner a los animales en las condiciones que favorecieran la aparición de las variaciones que requieren. Como sabemos, esto no es así: los criadores dependen de la variabilidad que surge espontáneamente y sin relación con lo que ellos necesitan. Lo único que pueden hacer es manipular dicha variabilidad vía el control de la reproducción, de la recombinación.

Lo que Popper destaca es el papel que tienen los organismos, en especial los animales —aun los unicelulares— en la selección y modificación de su ambiente. El comportamiento exploratorio y la resolución de los problemas planteados por el ambiente crean nuevas condiciones para la evolución de sistemas genéticos. Cuando esto ocurre el organismo lleva la delantera, y la selección natural le sigue en el nuevo hábitat. Es decir, la selección natural actuará en el ambiente que el organismo o población (sistemas genéticos) ha seleccionado. En gran medida la selección del hábitat dependerá de sus preferencias y requerimientos. “De esta manera el darwinismo puede simular lamarckismo, e incluso la ‘evolución creadora’ de Bergson. Esto ha sido reconocido por darwinistas estrictos...[como] Mayr, 1963, p. 604” (1973, nota 8, p. 393).

En otra parte, Popper (1977c) considera que este aspecto ha sido descuidado por el neodarwinismo. Para él, la selección natural es a veces vista como resultado de una interacción entre el azar ciego trabajando desde el interior del organismo (mutación) y fuerzas externas sobre las que el organismo no tiene influencia. Las aspiraciones y las preferencias de los organismos no cuentan para nada, excepto como producto de la selección natural. Las teorías de Lamarck, Butler o Bergson, de acuerdo con las cuales las preferencias o aspiraciones pueden influir en la evolución de los organismos, parecen chocar con el darwinismo, por creer en la herencia de caracteres adquiridos (1977c, p. 11).

Como varias personas parecen haber concluido, asegura Popper, esta visión es un error, especialmente de los darwinistas J. M. Baldwin y C. Lloyd Morgan, que llamaron a su teoría “evolución orgánica”. La teoría de la evolución orgánica empieza con el hecho de que todo organismo, pero especialmente los organismos superiores, tienen más o menos variantes de repertorio de comportamiento a su disposición. Al adaptar una nueva forma de comportamiento, el individuo

original puede cambiar su ambiente. Incluso las plantas, señala Popper, pueden provocar cambios en el ambiente, que a su vez provoquen cambios en las presiones de selección; pero sobre todo los animales: pueden conscientemente adoptar una preferencia por un nuevo tipo de comida, como resultado de ensayo y error. Esto puede significar cambiar el ambiente. De esta manera, las preferencias del individuo y sus habilidades pueden conducir a la selección y posiblemente a la construcción de un nuevo nicho ecológico por el organismo (1977c, p. 12).

Por esta acción individual el organismo puede “escoger” su ambiente y, entonces, exponerse él y su descendencia a un nuevo conjunto de presiones de selección, características del nuevo ambiente. Entonces, la actividad, las preferencias, las habilidades y las peculiaridades de los individuos animales pueden influir directamente en las presiones de selección a que son expuestos, y con ello, en los resultados de la selección natural.

Para explicar su punto de vista, Popper utiliza el famoso ejemplo de la jirafa: “De acuerdo con Lamarck, fue la preferencia de ramonear en las ramas altas de los árboles lo que llevó a los ancestros de las jirafas a la elongación de sus cuellos, y gracias a la herencia de caracteres adquiridos, a la jirafa actual. De acuerdo con el darwinismo moderno (la teoría sintética) esta explicación es realmente inaceptable, porque los caracteres adquiridos no se heredan” (1977c, p. 12).

Regresando a la investigación científica, señala Popper, emergen dos aspectos. El más importante es que las teorías científicas pueden ser reformuladas lingüísticamente, e incluso ser publicadas. Entonces se transforman en objetos fuera de nosotros mismos, objetos abiertos a la investigación. Como consecuencia, ahora están abiertos a la crítica. Entonces podemos deshacernos de teorías poco adecuadas antes de que la adopción de la teoría nos haga inaptos para la sobrevivencia: criticando nuestras teorías podemos dejarlas morir en lugar nuestro. Esto es por supuesto de enorme importancia (1973, p. 83).

El otro aspecto también tiene relación con el lenguaje. Se refiere a que el lenguaje humano estimula el decir historias, y con ello el desarrollo de la imaginación creativa. Para Popper,

el descubrimiento científico es similar a la elaboración de historias explicativas, a la construcción de mitos y a la imaginación poética. El crecimiento de la imaginación refuerza, por supuesto, la necesidad de algún control; por ejemplo, en la ciencia, la crítica interpersonal —la amistosa— hostil cooperación de los científicos que está en parte basada en la competición y en parte basada en el objetivo común de llegar lo más cerca a la verdad. Esto, y el papel jugado por la instrucción y la tradición, me parece agotar los principales elementos necesarios inherentemente involucrados con el progreso de la ciencia; aunque se podría decir más sobre los obstáculos sociales al progreso, o los peligros sociales inherentes al progreso [1973, p. 83].

Aquí es necesario hacer una digresión para explicar la posición del neodarwinismo acerca de la no heredabilidad de los caracteres adaptativos. Todo carácter, incluidas por supuesto las adaptaciones que se desarrollan como respuesta a un estímulo ambiental, tiene una base genética. En este sentido la distinción entre características heredadas y adquiridas es artificial, pues si todo carácter tiene una base genética, es, por ello mismo, hereditario (ninguna adaptación se puede desarrollar si el organismo no tiene los genes que se lo permitan) y requiere una relación con el ambiente para manifestarse (así sea solamente el ambiente intracelular, pues todo gen requiere condiciones químicas y biológicas adecuadas y estímulos para expresarse). Por lo tanto, de alguna manera todo carácter es adquirido si se entiende por adquirido que es un respuesta a un estímulo ambiental. Sin embargo, lo que tradicionalmente se considera como carácter adquirido es lo que resulta de una variación (mutación) orientada a mejorar la adaptación de un organismo a su ambiente. Éste es el sentido inaceptable para la teoría moderna de la evolución. Independientemente de las causas que pueden provocar una mutación, su efecto es azaroso respecto al beneficio o daño que obtenga el organismo mutado. Dicho beneficio o perjuicio dependerá de la forma en que una mutación mejore o no la relación organismo-medio, pero esto es posterior a la aparición de la mutación. Ésta es la diferencia esencial entre las corrientes lamarckistas y el neodarwinismo. Para las primeras, el ambiente informa al organismo la manera en que debe cambiar para mejorar su adaptación, y en este sentido dirige su evolución. Para el neodarwinismo el cambio no se da como respuesta a las presiones del ambiente; las mutaciones son errores en la duplicación de los genes que no tienen dirección, y ésta es dada por la selección natural.

Por ejemplo, una especie puede responder a la fricción con el ambiente desarrollando un callo porque tiene los genes que posibilitan dicha respuesta. Otro ejemplo muy conocido por todos es la capacidad diferencial que tenemos los humanos para producir pigmentos en respuesta a la exposición a los rayos solares. La diversidad va desde los que tienen cero o poca capacidad de sintetizar pigmentos (por ejemplo los albinos en el primer caso y los nórdicos en el segundo), hasta los individuos de raza negra, que tienen dichos pigmentos permanentemente sin necesidad del estímulo ambiental. Tal gradación del carácter es posible porque la selección natural ha favorecido en algunos miembros de la especie humana la facultad de producir pigmento sólo cuando es necesario, y en el caso de poblaciones habitantes de zonas tropicales la selección natural pudo favorecer a los individuos que presentaban el color oscuro desde etapas muy tempranas. Es importante recordar aquí que la piel clara es ventajosa en condiciones de escasa exposición al sol, pues cierta incidencia solar es indispensable para la síntesis de vitamina D; por ello entre nuestros antepasados —que no tenían acceso a fuentes artificiales de dicha vitamina— eran favorecidos los individuos de piel clara, mientras que en el caso de poblaciones que habitan zonas tropicales generalmente hay mucha mayor incidencia solar que la necesaria para sintetizar vitamina D, además de que el exceso de insolación puede llegar a posibilitar la llegada de rayos ultravioleta a los cromosomas y provocar mutaciones. (Este ejemplo es parcialmente hipotético, ya que puede haber otras explicaciones para las diferencias en la coloración, por ejemplo, la deriva génica.)

En fin, lo que se quiere señalar aquí es que la selección natural puede premiar la aparición de una adaptación que se va a requerir posteriormente. En este caso, la diferencia se presenta entre los individuos que requieren del estímulo ambiental para presentar la característica y los que lo presentan sin el estímulo: indudablemente, la selección natural puede favorecer a los segundos. Una de las consecuencias de favorecer la aparición más temprana de determinada adaptación es la concentración de los genes que producen el carácter, que en dicha condición (homocigosis)² pueden expresarse ya sin necesidad del estímulo ambiental.

La idea más común acerca de la herencia de modificaciones adquiridas es la que se refiere a las variaciones provocadas por uso y desuso de los órganos, las cuales pasan a formar parte del patrimonio hereditario de una especie. Aunque Popper evita un lenguaje tan simplista, es evidente que piensa en la posibilidad de tal tipo de herencia. Como veremos más adelante, este aspecto es de gran

importancia en la conformación de la teoría de la evolución única. Por tal circunstancia, Popper tiene que apoyarse en concepciones como la de Baldwin. De acuerdo con Baldwin, una variación en comportamiento puede llevar a la aparición de una estructura nueva.

A pesar de que, como antes se señala, Popper considera las concepciones de Simpson (1953) y Waddington (1953) respecto al efecto Baldwin como una sola, en realidad son muy diferentes. Si bien cuando Waddington introduce su idea de “Asimilación genética de un carácter adquirido” puede ser interpretado como lamarckista, Simpson no deja duda de su posición en contra de este tipo de herencia. En su artículo, Simpson opina que el llamado “efecto Baldwin” es el reemplazamiento de caracteres individualmente adquiridos por miembros de un grupo de organismos, por caracteres hereditarios similares vía la selección natural; es decir: caracteres individualmente adquiridos por miembros de un grupo de organismos pueden, eventualmente, bajo la influencia de la selección natural, ser reforzados o reemplazados por caracteres hereditarios.

En este caso la variación parece tener propósito. Hay varias explicaciones materialistas acerca de la apariencia de propósito en la adaptación. Entre ellas está el citado efecto, que da cuenta de la fijación genética del propósito (o pseudopropósito). Baldwin llamó al efecto en cuestión “selección orgánica” y lo definió como el proceso de acomodamiento individual que mantiene vivo al organismo, y entonces asegura la acumulación de las variaciones, determinando la evolución en generaciones subsecuentes.

De acuerdo con Simpson, Baldwin utiliza “acomodamiento” en el sentido de no hereditario, es decir, se refiere a caracteres adquiridos, mientras una “variación” es por definición hereditaria, i.e. genética. Simpson considera que esta definición es ambigua. El término, escribe, es en cualquier caso, engañoso, pues la “evolución orgánica” no es más orgánica que cualquier otro tipo de evolución. El efecto Baldwin es una compleja secuencia de eventos que puede ser analizado involucrando tres pasos distintos pero parcialmente simultáneos: 1) El individuo interactúa con el ambiente de manera tal que surgen modificaciones estructurales que no son hereditarias pero sí ventajosas para la sobrevivencia, es decir, son adaptativas para el individuo que las presenta; 2) En la población se presentan factores genéticos que producen caracteres hereditarios similares a las modificaciones individuales de que se habla antes, y que tienen la misma ventaja adaptativa; y 3) Dichos factores genéticos son favorecidos por selección natural y tienden a dispersarse en la población durante el curso de las generaciones;

como resultado, las adaptaciones originalmente individuales y no hereditarias se vuelven hereditarias.

El desarrollo de modificaciones individuales o acomodamientos (somatizaciones) está muy extendido, tanto que es un objeto de observación común, que puede ejemplificarse con el caso banal del fortalecimiento de los músculos por el ejercicio. Correspondencia parcial e incluso completa se ha establecido también entre los efectos de modificaciones no hereditarias y mutaciones hereditarias (no estrictamente hablando), afirma Simpson al referirse a las fenocopias de Goldschmidt que copian efectos genéticos sin cambiar la herencia, lo cual implica la existencia de genocopias que copian efectos no hereditarios por cambios en la herencia. Se trata de mutaciones que ocurren espontáneamente y por azar resultan con el mismo efecto no hereditario.

Tanto Baldwin como Lloyd Morgan, sigue Simpson, consideran el efecto Baldwin como una manera en la que, sin transmisión de caracteres adquiridos, los hábitos y otros comportamientos aprendidos se pueden convertir en hereditarios, i.e. el comportamiento hereditario. Los ejemplos que utilizan ambos e igualmente Osborn están abiertos a la objeción de que cuando se ha demostrado que los caracteres en cuestión son hereditarios, no hay evidencia ninguna de que hayan ocurrido como acomodación antes de que se convirtieran en hereditarios. Sobre los diferentes experimentos que según algunos autores confirmarían la ocurrencia del efecto Baldwin, Simpson opina que en realidad lo que muestran es que algunas adaptaciones similares pueden ser producidas ya sea por modificaciones no hereditarias, ya por selección genética, pero eso no demuestra que la última reemplace a la primera.

Finalmente, Simpson indica que es Schmaulhausen quien ha discutido el fenómeno en los términos más idóneos de acuerdo con el evolucionismo moderno:

El sistema genético no determina directa y rígidamente las características de los organismos, sino que establece rangos de reacción dentro de los que se desarrollan dichas características. Un “carácter adquirido” o específicamente una modificación adaptativa (esto es, en acomodación) necesariamente ocurre dentro de un rango de reacción genéticamente determinado. El rango puede ser relativamente amplio o extremadamente estrecho. En cualquier caso, un

acomodamiento tiene límites genéticos y se desarrolla únicamente en el marco del sistema genético, pero en un rango de reacción inestable la forma particular tomada por un organismo en desarrollo depende también de la interacción con el ambiente. El sistema genético evoluciona y el rango de reacción correspondiente cambia. El rango puede llegar a cubrir diferentes posibilidades o puede volverse más amplio o más reducido. Si se vuelve más reducido, las posibilidades para la modificación individual de la característica se vuelven pobres. Una acomodación que en un rango amplio ocurre sólo como una respuesta específica a una interacción particular con el ambiente, puede convertirse en la única posibilidad por desarrollar cuando el rango se reduce. Entonces puede ocurrir el efecto Baldwin: una respuesta dependiente primero de una combinación de variables genéticas se puede convertir en relativamente o incluso absolutamente invariable. Decir, como se hace frecuentemente, que el contraste es entre caracteres “adquiridos” y “hereditarios”, es no poner el asunto en los términos adecuados [1953, p. 116].

Desde nuestro punto de vista, si es que puede hacerse una analogía, ésta sería más en relación con la selección artificial que con la selección natural, pues la primera sí sucede conscientemente y es, por lo tanto, direccional. Pero en todo caso, sólo en el nivel de la selección, pues en el nivel de la producción de variaciones la selección artificial depende de las variaciones que ocurren en la misma manera, es decir, espontáneamente y sin relación con las variaciones que se requieren. En este último caso no hay analogía, pues no es por azar como los científicos crean teorías.

En lo anterior radica el problema de afirmar que un cambio en la estructura presentada al ambiente (en términos biológicos el fenotipo) provoque cambios ulteriores en la estructura hereditaria (el genotipo), pues en el nivel científico esto es, en efecto, totalmente válido: una nueva teoría va a provocar cambios en las tradiciones, en las nuevas ideas que serán transmitidas, pero en el nivel genético, hay que insistir, los cambios fenotípicos no provocan, y menos orientan, la dirección de nuevas mutaciones.

Para Popper, el progreso en ciencia, o el descubrimiento científico, así como la evolución biológica, dependen de instrucción y selección, esto es, de un elemento conservador o histórico (lo hereditario, la tradición) y del uso revolucionario del ensayo y la eliminación del error por crítica. La eliminación

del error incluye exámenes rigurosos empíricos, esto es, intentos de refutarla.

Este proceso crítico tiene carácter social, reconoce Popper, pues a pesar de que el científico individual quisiera asentar su teoría en lugar de refutarla, otros científicos podrán refutarla: “Los únicos resultados que serán considerados por ellos como apoyos para la teoría serán los fracasos en los intentos interesantes de refutarla; fallas en la búsqueda de contraejemplos donde dichos contraejemplos podrían esperarse, a la luz de lo mejor de las teorías competidoras. Por lo tanto no crea un gran obstáculo a la ciencia si el científico individual está prejuiciado a favor de su teoría” (1973, p. 84).

Esta visión, señala Popper, es parte de una aproximación crítica de la ciencia que se opone al enfoque inductivista, de la misma forma en que la aproximación seleccionista se opone al enfoque lamarckiano que opera con la idea de instrucción desde afuera, desde el ambiente. En cambio, el enfoque seleccionista sólo admite la instrucción desde adentro —desde la estructura misma—. La visión lamarckiana es equivalente a un enfoque inductivo, y Popper defiende que no hay recepción pasiva de un flujo de información que impresione nuestros órganos de los sentidos directamente, sin la intermediación de teorías; esto sería instrucción desde afuera. Como sabemos, Popper sostiene que toda observación está cargada de teoría, o sea que no hay observaciones puras o libres de teoría; en este sentido, y en equivalencia con el darwinismo, la instrucción proviene del interior del organismo, de sus genes; las teorías provienen de la mente del científico, no de la observación.

La concepción de Popper no puede ser más distante de la de Francis Bacon, quien recomendaba a los científicos evitar el prejuicio purificando su mente de toda teoría. Para Popper las teorías son como órganos de los sentidos y los órganos de los sentidos son el equivalente de las teorías. En ambos casos las teorías son resultado de la selección natural.

En conclusión, Popper sostiene que el darwinismo es correcto incluso en el nivel del descubrimiento científico: “No descubrimos nuevos hechos o nuevos efectos copiándolos, o infiriéndolos inductivamente de observaciones; o por cualquier otro método de instrucción por el ambiente. Usamos, más bien, el método del ensayo y eliminación del error” (1973, p. 86). Propone que el progreso de la ciencia puede concebirse de forma similar a la propuesta de Niels Jerne y Macfarlane Burnet para la formación de anticuerpos. A diferencia de teorías previas acerca de formación de anticuerpos que asumían al antígeno como

templado negativo para la formación del anticuerpo (lo que implicaría una instrucción desde afuera, desde el anticuerpo invasor), la idea de Jerne es que la instrucción o información que capacita al anticuerpo para reconocer al antígeno es parte de la estructura genética. Como el resto de la estructura genética, los genes para anticuerpos están sujetos a mutaciones, son transmitidos por el código genético de los cromosomas de las células especializadas que producen los anticuerpos; la reacción inmune es el resultado de la estimulación para el aumento dado a estas células por el complejo anticuerpo/antígeno. Por lo tanto, estas células son seleccionadas con la ayuda del medio invasor, del antígeno, más que instruidas por él (1973, p. 86). La analogía con la selección —y la modificación— de teorías científicas se refiere a que los científicos también reciben información del medio por vía de libros, artículos, etc. Éste es el punto que siempre llevará a los epistemólogos evolucionistas a visiones de tipo lamarckiano, pues obviamente en las teorías científicas hay una buena parte que no proviene del interior del científico. En cambio, en evolución biológica la instrucción es modificada por azar (mutaciones) y el medio no tiene forma de orientar la instrucción; no penetra, sino que selecciona lo resultante de dicha instrucción; ésta es la única forma (por cierto de gran importancia) en que el medio participa en la dirección de la evolución: a posteriori. En el caso de las células productoras de anticuerpos (células B y T) cada una produce un solo tipo de ellos y entonces el antígeno interactúa adecuadamente con el que le corresponde, estimulando la maduración y la multiplicación celular, y seleccionando la célula que tiene el anticuerpo capaz de ensamblarse con él. Sin embargo, el antígeno no crea nada nuevo, ni provoca mutaciones que sirvan para que la célula sintetice un anticuerpo que lo atrape; sólo selecciona lo que ya está hecho. En cambio, la introducción de nuevas ideas por parte de un científico no tiene el mismo efecto.

La teoría de la selección clonal de Jerne (1955, 1966, 1973), Burnet (1957, 1959) y Edelman (1970, 1983) desplazó a la hipótesis instruccionalista cuando se descubrió que la estructura plegada, tridimensional, de una molécula proteica, como por ejemplo un anticuerpo, está únicamente determinada por su secuencia en aminoácidos. De hecho, una molécula de anticuerpo desnaturalizada (no plegada) puede plegarse de nuevo formando su centro de unión original a partir del antígeno, e incluso en ausencia de éste. Es decir, la estructura del anticuerpo no depende de la instrucción por parte del antígeno. La teoría de la selección clonal plantea que, durante el desarrollo, cada linfocito queda destinado a reaccionar con un antígeno concreto antes de haber sido expuesto a él. Cada célula tiene una serie de proteínas receptoras de superficie que se adaptan

específicamente al antígeno. La unión del antígeno a los receptores activa la célula haciendo que madure y que se multiplique. Así, un antígeno extraño estimula selectivamente aquellas células que presentan receptores complementarios específicos del antígeno y que por consiguiente ya están destinadas a responder ante su presencia.

A esta teoría se le da el nombre de selección clonal, en virtud de que todas las células que portan un antígeno particular son descendientes de una sola, y por lo tanto el antígeno selecciona el clon que ha formado dicha célula.

El problema que plantea la existencia de gran cantidad de posibles antígenos ha sido resuelto por la naturaleza dando pie, a su vez, a gran variabilidad, resultante de la recombinación a nivel de los genes que determinan los anticuerpos. Edelman lo precisa así: “la base de la diversidad de los anticuerpos radica en la variación de las secuencias de aminoácidos de aproximadamente los primeros 110 residuos (regiones variables) de las cadenas polipeptídicas ligeras y pesadas que constituyen en anticuerpo. Además, la posibilidad de ordenación al azar de las distintas cadenas ligeras y pesadas aumenta la variabilidad” (1983, p. 81). Para cada tipo de cadena de inmunoglobulina existe un acervo separado de genes a partir del cual se sintetiza una única cadena polipeptídica. Cada tipo de inmunoglobulina consta de una región constante (C) y una región variable (V), los genes que las codifican (existen varios genes que codifican para cadenas V y C) se encuentran en diferentes zonas del genoma, pero durante el desarrollo de las células B, cualquiera de los genes para cadenas V puede ser translocado de manera que quede junto a un gene para cadena C, y sólo se formará una cadena de inmunoglobulina cuando se haya producido esa reordenación del ADN. A esta disposición Edelman la ha denominado trastocón, para poner en relieve la necesidad de trastocar y ligar la información procedente de los genes V a la de los genes C a fin de crear un único gene VC para una cadena de anticuerpo (Ibidem). De acuerdo con Lehninger (1982), es posible que la unión de los segmentos génicos de la región V durante el desarrollo de las células B sea un proceso aleatorio que genera reordenaciones improductivas con mayor frecuencia que las reordenaciones productivas. Esto significa, otra vez, más eventos al azar de los que una analogía con la evolución conceptual puede resistir.

Principales puntos discordantes entre epistemología evolucionista y evolución biológica

La diferencia en cuanto a la intencionalidad del desarrollo de las ideas, y la no intencionalidad de la evolución biológica, lleva con frecuencia a quienes plantean la analogía entre los dos fenómenos, a posiciones lamarckistas. Desde nuestro punto de vista se parte de un problema falso, a saber, la preocupación por resolver como un fenómeno especial la adquisición de adaptaciones que surgen como respuesta a situaciones ambientales y que posteriormente aparecen sin el estímulo ambiental. Lo que hay que explicar es por qué se presentan ya sin estímulo ambiental, pues algunos autores, como el propio Popper, se preguntan cómo se han incorporado al acervo genético, como si antes no hubiera nada absolutamente; y hay que recordar que sin la existencia de base genética alguna, el organismo no podría responder. La pregunta correcta es ¿por qué la selección natural favorece la aparición de la característica antes de que se presente el estímulo ambiental? (como en el caso de ciertos callos que algunas especies presentan desde el nacimiento, antes de que las partes callosas hayan sido expuestas a fricción); y no ¿por qué la hace aparecer? La selección natural no crea de la nada; favorece variaciones ya existentes. Pero indudablemente puede favorecer también a los organismos que presentan determinadas variaciones antes de que aparezca el estímulo ambiental, especialmente si hay determinada regularidad ambiental que implique que ese estímulo siempre acaba presentándose.

Uno de los problemas principales de la epistemología evolutiva es su disanalogía con la evolución biológica en cuanto a que ésta es una evolución no direccional y contingente; es decir, los organismos que han resultado de la evolución pudieron ser otros. Por supuesto que también las teorías pudieron ser otras. La ciencia pretende alcanzar la verdad y si aceptamos 1) que hay una realidad objetiva independiente del sujeto que la estudia (de acuerdo con la concepción de Popper acerca del realismo de sentido común), y 2) la verdad como correspondencia con la realidad, se sigue que hay una verdad única aunque no podamos alcanzarla (1972, p. 64).

La búsqueda de la verosimilitud es, pues, una meta más clara y realista que la búsqueda de la verdad. Pero pretendo mostrar además que aunque en las ciencias empíricas no podemos manejar argumentos suficientemente buenos como para pretender haber alcanzado efectivamente la verdad, con todo podemos tener argumentos potentes y razonablemente buenos para pretender haber avanzado hacia la verdad; es decir, que la teoría T2 es preferible a su predecesora T1, al menos a la luz de todos los argumentos racionales conocidos.

Además podemos explicar el método de la ciencia, y gran parte de la historia de la ciencia, como el procedimiento racional de aproximarse a la verdad [1972, p. 63].

Por ello, dice Popper, el árbol del conocimiento es inverso al árbol filogenético, pues el árbol del conocimiento tiende a la unidad de una teoría única que englobe todo el conocimiento, y el árbol de la vida tiende a la diversidad. Sostiene que

el árbol de la evolución crece desarrollando cada vez más sus ramas a partir de un tronco común. Es como un árbol ordinario: el tronco común está formado por todos nuestros antecesores unicelulares comunes, los antecesores de todos los organismos. Las ramas representan desarrollos tardíos, muchos de los cuales se han “diferenciado” —para decirlo con la terminología de Spencer— en formas altamente especializadas, cada una de las cuales está hasta tal punto “integrada” que puede resolver sus dificultades particulares, sus problemas de supervivencia [1972, p. 241].

En cambio

el árbol del conocimiento humano en crecimiento posee una estructura manifiestamente distinta. Está claro que el desarrollo del conocimiento aplicado es muy similar al desarrollo de herramientas y otros instrumentos: siempre constituyen aplicaciones cada vez más diversas y especializadas. Mas el

conocimiento puro (o “investigación fundamental” como se llama a veces) se desarrolla de un modo muy distinto. Se desarrolla casi en sentido opuesto a esta especialización y diferenciación progresiva. Como señaló Herbert Spencer, está dominado en gran medida por la tendencia hacia una integración creciente, hacia las teorías unificadas. Esta tendencia se hizo patente cuando Newton combinó la mecánica terrestre de Galileo con la teoría kepleriana de los movimientos celestes. Desde entonces, ha perdurado [Ibidem].

Sin embargo, esta disanalogía no es trivial, como parece considerarla Popper, pues la idea de divergencia de caracteres que lleva a la diversificación de las especies es tan importante para Darwin como la selección natural. Esta forma de evolución es fundamental, pues la selección natural premia a los organismos que evitan la competencia, es decir, si una especie en lugar de enfrentarse en contienda con otra, presenta modificaciones que le permitan explotar un nicho distinto, suele suceder que ambas sobrevivan.

En cuanto a la diferencia de caracteres, Darwin afirmó: “mi creencia en ese principio halla la aplicación más eficaz en el referido estado de libertad de los animales teniendo en cuenta la simple circunstancia de que mientras más diversos sean los descendientes de una especie en cuanto a estructura, constitución, y hábitats, serán más capaces de ocupar los amplios y distintos lugares que la naturaleza dispone, y así estar más capacitados para crecer en número” (1859, p. 112). Por este mecanismo evolutivo la selección natural favorece el aumento de especies, el aumento de la diversidad biológica. En cambio, según Popper, el avance de la ciencia puede propiciar la unidad de pensamiento, o al menos hay cierta tendencia en este sentido.

En suma, escribe Popper: “Creo que es esta idea de verdad como correspondencia con los hechos la que hace posible la crítica racional. El crecimiento integrador del árbol del conocimiento se explica gracias a nuestro objetivo de aproximación a la verdad, junto con el hecho de que nuestra curiosidad, nuestra pasión de explicar mediante teorías unificadas, es universal e ilimitada” (1972, p. 242).

Por lo tanto, la ciencia busca la verdad, y aunque no la alcance nunca, tiene un punto final de llegada; por el contrario, la evolución biológica no lo tiene. La ciencia es intencional; el científico se plantea un problema y trata de resolverlo,

y aunque con frecuencia resuelve otro problema con el que no estaba trabajando conscientemente (como Fleming con la penicilina), lo capta porque tenía la mente preparada para ello. Esto es, aquí no hay azar, por lo menos no el azar que hay en la relación organismo-medio. Mientras un científico busca adaptar su teoría a la realidad conscientemente, un organismo se adapta al medio presentando soluciones tentativas que el propio medio reconoce como adecuadas o inadecuadas; las mutaciones no se pueden provocar como respuesta a las necesidades que el ambiente impone. Ésta es una preocupación constante entre los epistemólogos evolucionistas. La respuesta que con el efecto Baldwin da Popper es una salida falsa en términos neodarwinianos, pues, como antes se afirma, el efecto Baldwin trata de explicar la incorporación de modificaciones adquiridas en virtud de la adaptación individual, es decir de cada organismo, al acervo genético de su especie (una de las propuestas favoritas de todo tipo de lamarckismo). No es casual que la epistemología evolucionista (por lo menos Popper) se desvíe en este sentido, pues el lamarckismo da cuenta de un proceso direccional, con objetivos precisos, con respuestas a problemas ambientales comparables a las respuestas conscientes que los científicos dan a los problemas de sus teorías. Si bien Popper establece una analogía entre la selección de teorías y la selección natural, no puede hacer otro tanto para el problema de la producción de variaciones.

Utilicemos como ejemplo el caso de Darwin. Durante su formación académica, formal (en las universidades de Edimburgo y Cambridge, incluidas las importantes interacciones con personalidades de la talla de Whewell, Herschel, Lyell, Henslow, etc.) e informal (por ejemplo las lecturas de las obras de su abuelo o en general el ambiente en el que creció), Darwin adquirió el modo peculiar de pensar que constituyó su cultura científica y su herencia cultural, lo que Popper considera como equivalente al genotipo de un organismo (o de una especie, porque Popper no aclara este tipo de cuestiones fundamentales: no sabemos si una teoría tan importante como el darwinismo sería equivalente de un individuo o de una especie). Pues bien, esta herencia cultural permite que, en los inicios de su carrera, Darwin acepte la explicación de Lyell y Linneo acerca del origen de los seres vivos. Sin embargo, a partir de 1836, después del viaje del Beagle, una vez que ha leído incontables trabajos sobre embriología, anatomía, historia natural, tras haber leído numerosos artículos sobre hibridación y cultivo, y después de haber leído a Malthus, Darwin tiene una visión completamente diferente de la naturaleza: la selección natural puede dar cuenta de la diversidad biológica, la adaptación, la extinción, etcétera. Es decir, las modificaciones en su herencia cultural le posibilitan ver la naturaleza de una manera completamente

distinta a como la veía anteriormente. Aquí podemos hablar ya de la producción de una variante conceptual, una alternativa a las explicaciones lyellianas. Sería difícil decir que el surgimiento de esta teoría alternativa se debió al azar, pues Darwin estaba tratando de entender ciertos problemas —por ejemplo la adaptación— y utilizó toda la información que tuvo a su alcance para resolverlos. Esto no es análogo al surgimiento de las variaciones en los seres vivos; no hay relación entre una mutación genética y la solución de los problemas de un organismo.

Por otra parte es importante destacar que Darwin tiene conciencia de su abandono del fijismo, acerca de lo cual escribe en uno de sus primeros cuadernos sobre la transmutación de las especies, e inicia explícitamente la búsqueda de una teoría que dé cuenta de la evolución.

La modificación de una visión fijista a una visión evolucionista fue un acto completamente consciente. De igual forma, la construcción de la teoría de la selección natural es una modificación con propósito, hay un objetivo en la mente de Darwin: elaborar una teoría que explique un fenómeno determinado. Es indudable que puede haber azar en el proceso, pero de manera inversa a lo que ocurre en la evolución biológica, en la que el azar es secundario. Aun la afirmación del propio Darwin de que leyó casualmente a Malthus ha quedado desmentida por estudios como el de Sandra Hebert (1977), quien muestra que dicha lectura fue parte de un interés particular de Darwin por entender la evolución de la especie humana. En este sentido las conjeturas, hipótesis o teorías no son caso análogo de las mutaciones en evolución biológica. Las variaciones teóricas, a diferencia de las genéticas, tienen una dirección y no se producen por azar.

En fin, ese proceso por el que Darwin se da cuenta de que las teorías de Lyell no explican cierta distribución biogeográfica ni determinadas observaciones paleontológicas o taxonómicas, y por el que decide iniciar investigaciones que lo lleven a construir una explicación aceptable de dichos fenómenos, no tiene parangón en la producción de la variabilidad biológica. Esa acumulación de información científica, filosófica, sociológica, empírica, etc., que en un solo individuo permite un cambio tan revolucionario, no tiene equivalente en los seres vivos, pues se trata de una información que el científico ha adquirido directamente del ambiente. Esto explica la permanente preocupación de los epistemólogos evolucionistas por encontrar en la biología fenómenos especiales con los que sea posible dar cuenta de cómo la incorporación de información

proveniente del ambiente puede ser utilizada para evolucionar.

Lo que el darwinismo ha negado del lamarckismo es su idea de la direccionalidad de la evolución, su noción de que el organismo puede variar en función de las necesidades que le presenta el ambiente. El darwinismo sostiene que las variaciones ocurren al azar, sin relación con las necesidades del organismo. Éste es el sentido en el que se afirma que las variaciones acaecen al azar, pues la variación se presenta sin que en sí misma tenga ninguna repercusión benéfica o perjudicial. Un carácter que es adaptativo en un ambiente puede ser perjudicial en otro. El valor adaptativo de una variación es algo que se define ambientalmente. Como contraposición, en el caso de una variante conceptual su valor no puede medirse únicamente porque sea aceptada, o rechazada, por los demás científicos.

Por otra parte, es indudable el valor del darwinismo en la explicación de la evolución de los mecanismos cognoscitivos. El cerebro, los órganos de los sentidos y en general los órganos y funciones que posibilitan los procesos mentales, son resultado de un desarrollo evolutivo que seguramente ha seguido las mismas pautas que el resto de la evolución. Sin duda alguna, hay cuestiones de carácter intermedio entre los órganos que desarrollan los procesos mentales y las teorías: precisamente dichos procesos mentales, por ejemplo formas de razonamiento, disposiciones para acciones mentales, reglas epistémicas, etc. Sobre la evolución de dichos procesos, Popper (1977b), Ruse (1987) y otros, sostienen que tuvieron que aparecer por selección natural de las variantes idóneas. Popper (1977b) dice que los darwinistas deben ver “la mente”, es decir los procesos mentales y las disposiciones para las acciones y reacciones intelectivas, como análogos de un órgano que ha evolucionado bajo la presión de la selección natural. En este sentido, afirma Popper, el darwinismo puede explicar la evolución del mundo 2 (el mundo de los procesos psicológicos). De la misma forma, como hemos visto en este capítulo, Popper explica la emergencia del mundo 3 (los productos de la mente humana: utensilios, lenguajes, mitos y teorías).

La existencia del cultural mundo 3 y la evolución cultural puede llamar nuestra atención al hecho de que hay una gran cantidad de coherencia sistemática entre los mundos 2 y 3; y que esto puede ser explicado —parcialmente— como el resultado sistemático de selecciones de presión. Por ejemplo, la evolución del

lenguaje puede ser explicada, parece, sólo si asumimos que incluso un lenguaje primitivo pudo ser útil en la lucha por la existencia, y que la emergencia del lenguaje tiene un efecto de feedback: las capacidades lingüísticas compiten; son seleccionadas por sus efectos biológicos, que las llevan a niveles más altos en la evolución del lenguaje [1977b].

Ruse (1987) ha planteado una teoría similar. Sostiene que las reglas epistémicas tienen que haber sido sujetas a presiones de selección, pues su presencia o ausencia y su mayor o menor adecuación para la vida humana hacen diferentes a sus portadores: “La capacidad de razonar debe ser similar a otros resultados de la adaptación, por ejemplo, las manos” (1987, p. 208).

En resumen, la aplicación del darwinismo a la explicación de la evolución de los procesos mentales parece una concepción bastante verosímil, pero apenas se está iniciando.

¹ En evolución orgánica, las “soluciones tentativas” corresponden a las variaciones (provocadas por mutaciones) y la “eliminación de errores” a la selección natural.

² Se habla de homocigosis cuando los dos genes —provenientes de cada progenitor— de un locus particular son el mismo alelo. La condición contraria es la heterocigosis.

VI. La concepción epistemológica de David Hull

EL MODELO EPISTEMOLÓGICO DE DAVID HULL (1978, 1988a, 1988b, 1990, 1992) intenta dar cuenta del desarrollo del conocimiento científico a partir de la elaboración de una analogía entre la evolución biológica y la evolución conceptual. Igual que otras concepciones similares (Donald Campbell, 1960, 1974; Stephen Toulmin, 1967, 1977, 1981; Karl Popper, 1972, 1973 (véase cap. V en este libro); Robert Richards, 1981, 1987), la contribución de Hull se incluye en el programa de investigación que Michael Bradie (1986) ha llamado Epistemologías Evolutivas Teóricas (EET). Bradie distingue dos programas de investigación que tienen como objeto de estudio el desarrollo del conocimiento. Llama “Epistemología Evolutiva de los Mecanismos Cognoscitivos” (EEM) al programa que intenta explicar la evolución y las características de los mecanismos cognitivos en animales y humanos. Este programa considera que dichos mecanismos han evolucionado en la misma forma que el resto de los caracteres biológicos; por ello la aplicación del darwinismo es inmediata, y no requiere ninguna modificación especial. El otro programa, el análisis de la evolución de las ideas (EET) incluye las epistemologías que, como antes se menciona, basan su argumentación en la viabilidad de construir una analogía entre la evolución biológica y la evolución conceptual. Todos los seguidores de este tipo de corriente afirman que tal analogía tiene carácter heurístico en la comprensión de la evolución de ideas, las teorías científicas y la cultura en general. Desde nuestro punto de vista hay un tercer programa de investigación: se trata de aquella que se basa en la indagación de los procesos mentales, es decir, una tercera vía que toma en cuenta los métodos de pensamiento y que está representada fundamentalmente por quienes consideran que la evolución de tales métodos se explica por la teoría de la selección natural. El autor más destacado en este programa es Michael Ruse (1986). Con su planteamiento de tomar seriamente a Darwin, Ruse propugna por la tesis de que hay diferencias en cuanto a procesos mentales, y de que tales diferencias provocan a su vez que los individuos tengan mayor o menor adecuación. Es decir, sostiene que, como otras características de los organismos, los procesos mentales influyen en el resultado de la selección natural: “por ejemplo, el teorema pitagórico nos parece obligado, no porque refleje una verdad eterna sino porque de nuestros posibles ancestros los que tomaron seriamente la geometría euclidiana se reprodujeron más que

nuestros posibles ancestros que fueron indiferentes a los problemas planteados por el espacio” (Ruse, 1988, p. 73). Así, siguiendo la nomenclatura de Bradie (1986) y basándonos en los anteriores fundamentos, podemos hablar de un programa de investigación de Epistemología Evolutiva de los Procesos (EEP).

Sin lugar a dudas, los diversos mecanismos cognitivos proveen a sus portadores de la pertinente adecuación, ya sea ésta mayor o menor. Por ello puede establecerse una selección natural entre las formas alternativas que de tales mecanismos presenten las diferentes variedades o especies. En cambio en la evolución conceptual puede tratarse de una selección de ideas o de una selección entre portadores de ideas. El modelo de Hull se cuenta entre este segundo tipo.

A diferencia de otros autores, como Toulmin, Hull considera que es muy factible elaborar una analogía justificativa, es decir, que si construir dicha analogía es posible ello se debe a que los procesos de evolución biológica y evolución conceptual pueden ser explicados con una misma teoría.

La concepción hulliana intenta hacer dicha analogía tomando en cuenta no sólo la sobrevivencia de una idea, sino también la amplitud de su impacto. A diferencia de Popper, Campbell y Toulmin, cuyo interés fundamental radica en explicar la evolución conceptual en términos del progreso adaptativo de las teorías, entendido como el aumento de su capacidad explicativa, Hull trata de dar cuenta no sólo de la sobrevivencia sino de la reproducción de las teorías.

Para Popper, Campbell, Toulmin y Richards la adecuación de una teoría se mide por su cercanía con la realidad en tanto explica mejor que otras teorías un determinado fenómeno. Su idea de adaptación es más cercana a la de Darwin, pues para ellos la teoría más adecuada es la que sobrevive. En cambio, para Hull es más importante la capacidad reproductiva, y en consecuencia mide la adecuación de una teoría no por su mera permanencia sino por el número de adeptos que tiene. Lo que interesa no es sólo que sobreviva, sino que convenza a un mayor número de científicos. En este sentido, la aproximación de Hull es más bien neodarwinista. De hecho declara que dentro de los modelos de evolución neodarwinistas el que más lo convence es el de Sewall Wright.

Michael Ruse (1989) también se interesa por el problema de la adecuación (fitness). Igual que Hull, no entiende la adecuación de una teoría como adaptación con respecto a la realidad. Pero mientras Hull entiende por adecuación (fitness) de una teoría el número de científicos que la sostienen,

Ruse, con su idea de tomar en serio a Darwin, busca los efectos que puede tener una forma de pensamiento en la reproducción diferencial no de las ideas, sino de los portadores de las ideas: “todo lo que creemos y pensamos es un esqueleto mental que existe porque confiere o confirió ventajas adaptativas en los humanos” (Ruse, 1989, p. 73).

Ruse confía en que una buena teoría dará mayor adecuación a sus defensores, y Hull atribuye una racionalidad tal a la comunidad científica que eso bastará para impedir que ésta se incline por teorías erróneas. Así, ambos renuncian a establecer una forma de evaluación acerca del contenido de verdad de una teoría.

Por el contrario, Popper (1973) y Richards (1977, 1981, 1988) sí plantean criterios de validación de teorías. Para Popper la teoría más apta es aquella que resuelve mejor el problema para el que fue planteada y que además resiste la falsación mejor que hipótesis alternativas (i.e. competidoras). Richards plantea que los criterios de validez de una teoría tienen que ver con su consistencia lógica, su coherencia semántica, su relevancia observacional y sus estándares de verificabilidad y falsabilidad. Para Hull, una teoría tiene validez en tanto una comunidad científica la respalde.

De la analogía a la teoría

En una primera etapa, Hull trabajó en la elaboración de una analogía entre evolución biológica y evolución conceptual. Por ejemplo, en 1978 escribió:

me propongo presentar una explicación análoga para las relaciones sociales peculiares que existen entre científicos. Así como aparece ambivalencia cuando un organismo debe cooperar con sus competidores sexuales, aparece una ambivalencia comparable cuando un científico tiene que cooperar con sus competidores científicos. En ciencia, sin embargo, el objetivo último no es la transmisión de genes sino de ideas. Los científicos se comportan tan egoístamente como lo hacen debido a que está en su propio interés hacerlo. Lo mejor que un científico puede hacer para su carrera es lograr que sus ideas sean aceptadas por sus compañeros científicos [1978, p. 243].

Así mismo, defendió la validez científica de construir tal analogía:

Algunos pueden objetar mi uso de los procesos de evolución biológica como análogos del desarrollo de la ciencia. Si la objeción es que he razonado analógicamente, entonces no tengo disculpas que dar. Razonar por analogía ha sido parte integral de la ciencia desde sus orígenes. Si la objeción es que la evolución biológica no es un modelo adecuado para la evolución de las ideas, entonces la objeción puede tener sustancia [1978, p. 262].

Posteriormente (1988a, 1988b), como antes se ha señalado, se planteó la opción de construir una teoría general que explique ambos procesos evolutivos, en virtud de que los dos son procesos de selección:

mi intención no es razonar analógicamente de la evolución biológica a la evolución social y conceptual, sino identificar características generales de los procesos de selección como tales. Los efectos de grupos pequeños en tasas de cambio deben ser los mismos independientemente de que dichos grupos consten de organismos que intercambien su material genético o de científicos que intercambien los resultados de su investigación [1988b, p. 287].

La posibilidad de construir tal modelo, justifica Hull, se da porque la ciencia — al igual que otras entidades— puede ser aproximada científicamente, lo que significa que hay una ciencia de la ciencia. Existen regularidades en la ciencia que posibilitan hacer afirmaciones sobre ciencia y que son parecidas a leyes: “La ciencia debe ser tratada como algo natural, una manera de conocer sobre la cual se pueden hacer proposiciones” (Hull, 1990, p. 78). Desde el punto de vista de Hull, la reacción del sistema inmune a los antígenos es un caso de proceso de selección que difiere tan radicalmente de la selección natural basada genéticamente como difiere ésta de los cambios conceptuales en ciencia (1988a, p. 124).

En su respuesta a las críticas de Dupré (1990), acerca de que su teoría no es una teoría general de evolución, sino una “débil metáfora”, señala que su intento es analizar los procesos de selección de forma tan suficientemente general que incluya todos los tipos de selección —evolución biológica, respuesta de los sistemas inmunes a antígenos, desarrollo del sistema nervioso y cambios conceptuales en ciencia—, pero no tan general que no tenga contenido empírico (1990, p. 79). De manera similar a Darwin, quien como señala Hull, tuvo gran habilidad para transformar anomalías en instancias confirmadoras, y que así explicó gran número de fenómenos biológicos, el propio Hull se propone metas similares: “en lugar de explicar los hábitos de los esclavos de hormigas, tengo que explicar por qué los científicos en ocasiones se comportan tan altruistamente, por ejemplo, dando crédito a sus más cercanos competidores, y por qué en otras ocasiones no lo hacen. ¿Bajo qué condiciones están dispuestos a dar crédito a otros científicos, y bajo qué condiciones están dispuestos a reclamar prioridad para ellos mismos?” (1988a, p. 126). Por otra parte, y como en otras actividades humanas, los científicos negocian: “La ciencia es tan organizada que los científicos están obligados a negociar crédito por apoyo” (1988a, p. 127). Esta negociación es importante, pues para ganar apoyo, un científico necesita mostrar que su investigación descansa en investigaciones

anteriores; pero este reconocimiento le resta originalidad a su trabajo: “Uno no puede ganar apoyo de un trabajo particular a menos que lo cite, y al citarlo automáticamente se confiere valor al trabajo citado y se resta originalidad al propio trabajo. Los científicos quisieran crédito total y respaldo masivo, pero no pueden tener ambos” (Ibidem).

Entre las observaciones que Hull utiliza para fundamentar su teoría están, en primer lugar, la aseveración de que la ciencia es una de las actividades con mayor éxito en el cumplimiento de sus objetivos (para la ciencia, el descubrimiento de la verdad; para los científicos, lograr que sus ideas queden aceptadas en el cuerpo general del conocimiento científico reconocido): “Una característica de la ciencia que nos deja perplejos, es que trabaja tan bien en el logro de sus objetivos manifiestos, mucho mejor que cualquier otra institución social” (Hull, 1988a, p. 125). Una de las razones de ese éxito es que la ciencia, como otras instituciones sociales, tiene sus normas, pero las que le conciernen son respetadas en mayor grado que en otras profesiones. La diferencia entre la ciencia y otras profesiones, como la medicina, la enseñanza, las actividades policiacas, etc., es el grado en el que cada una logra sus objetivos, independientemente del tiempo que dedican a ocuparse de sí mismas. “Por definición, las profesiones son ocupaciones que se autorregulan y mantienen en orden. Una cosa es clara entre las profesiones: por lo general no se autovigilan muy bien, al menos no de acuerdo con el criterio que profesan. Sin embargo los científicos se vigilan entre sí como si la ciencia estuviera hecha sólo de chismes de vecinos” (1988a, p. 128).

Hull admite que uno de los objetivos fundamentales de la ciencia es alcanzar la verdad. Sin embargo, se pregunta:

Si descubrir la verdad es todo lo que importa, ¿por qué es tan importante quién lo hizo primero? ¿Por qué han desarrollado los científicos tan intrincada etiqueta para las citas? ¿Por qué los científicos se enredan en disputas de prioridad que sobrepasan en acritud incluso a los procesos de divorcio? ¿Están los científicos realmente menos preocupados por la ganancia y la gloria personal que nadie más? [1978, p. 244].

De la misma forma se pregunta si la ciencia mantendría su carácter autorreforzante si el reconocimiento explícito fuera abandonado completamente por el reconocimiento tácito que es consecuencia del uso del conocimiento, o si los científicos, conduciéndose consistentemente, recibieran poco o ningún reconocimiento hasta después de su muerte (1978, p. 254). Es decir, el sistema de premios y castigos funciona tan bien en ciencia que posibilita el alcance de sus objetivos:

Si la intención manifiesta de la ciencia es incrementar nuestro conocimiento del mundo empírico, [...] entonces, la estructura social de la ciencia está bien calculada para lograrlo. Los científicos, como los miembros de todas las profesiones, deben gastar una cantidad considerable de energía en su automantenimiento. Nuevos miembros deben ser coptados, las fuentes de recursos explotadas, y establecidas las bases de poder en la sociedad. Pero ninguna de estas actividades es incompatible con la afirmación de que los científicos, en su investigación, buscan la verdad por su valor en sí misma [1978, p. 251].

Desde el punto de vista sociológico, afirma Hull, las diferencias en el comportamiento entre la gente que participa en las diversas instituciones debe ser explicada en términos de la estructura social de esas instituciones. Sin embargo agrega:

La analogía sociobiológica añade una restricción adicional: razones suficientemente egoístas deben involucrar las usuales ganancias en dinero, posición y fama, pero en ciencia hay una fuerza directriz aún más fuerte: la incorporación de las ideas de uno en el cuerpo del conocimiento científico generalmente aceptado. La razón de que la ciencia trabaje tan bien, es que el logro de este egoísta fin por parte del científico individual está bien calculado para alcanzar el objetivo manifiesto de la ciencia como institución [1978, p. 251].

A diferencia de policías, médicos y profesores (en su papel de maestros), los científicos se vigilan entre sí fría, desapasionada, casi cruelmente [1978, p. 252].

Como antes se indica, de manera distinta a lo que ocurre en otras actividades, en ciencia el bien del científico y el de la ciencia no son contradictorios: “Los científicos se adhieren a las normas de la ciencia tan bien, porque frecuentemente es en su mejor interés hacerlo. En general, lo que es bueno para el científico es realmente bueno para el grupo. La mejor cosa que un científico puede hacer por la ciencia como un todo, es luchar por incrementar su propia adecuación inclusiva conceptual” (1988a, p. 129). Tal lucha, señala Hull, es mantenida en ciertos límites por dos factores: la necesidad de los científicos de usar el trabajo de otros y la posibilidad de comprobación empírica. Con el propósito de evaluar la forma en la que esos factores funcionan en ciencia, Hull distingue dos maneras en las que un científico puede “pecar” contra los principios de la ciencia. La primera es por la publicación de datos falsos, sea intencional o no intencionalmente (“mentir”). La segunda y más común es la falta de crédito donde debe darse crédito (“robar”). Hull retoma la idea de Robert K. Merton (1973) de que la competencia y las disputas de prioridad son parte integral de las relaciones sociales entre científicos. Así mismo, admite con Cole y Cole (1973) que las dos formas de comportamiento incorrecto (deviant) en ciencia, robar las ideas de otro científico y publicar datos falsos, son raros comparados con el visible comportamiento incorrecto en otras instituciones.

Ahora bien, desde el punto de vista de Hull, en ciencia es peor mentir que robar; mentir es además menos frecuente. En la diferente actitud hacia estos “pecados”, Hull encuentra las características particulares de la ciencia. A la pregunta, ¿por qué es mucho más raro en ciencia mentir que robar?, Hull contesta que se debe a que es castigado más severamente mentir porque el robo daña solamente a la persona cuyo trabajo ha sido robado, mientras mentir perjudica a cualquiera que use el trabajo falso. Así, las contribuciones asignadas equivocadamente a equis autor son tan útiles como aquéllas cuya autoría se asigna correctamente (1988a, p. 130). En cuanto al hurto, Hull sustenta que, por supuesto, si robar conocimiento fuera un acto generalizado, el sistema se vería seriamente afectado, pues también es importante, para su teoría, el hecho de que los científicos buscan el reconocimiento de su comunidad. Sin embargo, la publicación de datos falsos daña a la propia ciencia, pues en general los científicos confían en la moralidad de sus colegas; por ello, no es raro que

regularmente utilicen los datos publicados sin probarlos: “Si un descubrimiento particular apoya su propia investigación, son capaces de incorporarlo sin comprobarlo. La comprobación está reservada para aquellos descubrimientos que amenazan la investigación propia” (1988a, p. 131). Además, probar cada dato haría prácticamente imposible el avance en ciencia, pues, precisamente, la ventaja del trabajo conjunto de los científicos se basa en compartir recursos conceptuales, y por otra parte, la organización social de la ciencia posibilita esa confianza porque los científicos que tienen diferentes perspectivas son los que se encargan de poner a prueba dichos datos: “Los científicos que trabajan fuera de tu grupo de investigación son perjudicados si adoptan tus puntos de vista equivocados, pero más importante, están también en mejor posición que tú para exponerlos a las pruebas más severas. Sus intereses de carrera no son dañados si tus puntos de vista son refutados” (Ibidem).

Entonces, en ciencia el interés general está por encima del interés individual, pues si no estuviera tan castigado publicar datos maquillados (doctored) los científicos no podrían confiar en los datos de sus colegas, lo que retrasaría el avance de la ciencia. Esto, desde nuestro punto de vista, hace a la ciencia una actividad social menos egoísta que otras. Es decir, en el nivel individual es posible que los científicos procedan egoístamente sin que ello fracture a la comunidad, pues independientemente de que un científico tenga la fama de robar las ideas de otros, si su trabajo es bueno, como señala Hull, otros científicos lo usarán: “Una vez más, el uso que un científico puede hacer del trabajo de otro es el *modus operandi* de la ciencia” (1978, p. 256). Igualmente, los científicos dan crédito porque buscan que otros, a su vez, les reconozcan sus méritos (altruismo recíproco), y aunque seguramente no dejan de tener actitudes egoístas, el resultado global de su trabajo, la ciencia, no es egoísta en tanto que, como puede verse en el análisis de Hull, este tipo de actitudes protegen a la ciencia. Parece ocurrir lo opuesto a lo que ocurre en ciertas especies en las que individuos aparentemente altruistas no se reproducen (las castas obreras en himenópteros, por ejemplo), pero cuidan a los descendientes de la reina, con la cual comparten genes; de esta manera, sus genes se perpetúan: su comportamiento aparentemente altruista produce un resultado claramente egoísta. En el caso de los científicos, cada uno de ellos busca reproducir sus ideas, sea como individuo o como parte de un *demo*¹ conceptual, pero el resultado final no es necesariamente la reproducción de las ideas particulares, sino de las de los científicos que la comunidad científica avala. Es decir, un comportamiento claramente egoísta produce un resultado altruista: el avance de la ciencia, y este hecho posiblemente sin la incorporación de las propias ideas del científico

individualista, esto es, que por más egoísta que sea y por más que haga lo imposible para tener una gran adecuación inclusiva (igual que las obreras al cuidar a los hijos de su hermana) y así tratar de convencer al mayor número posible de científicos del valor de sus teorías, la decisión final la tomará la comunidad científica. No depende sólo de capacidad de convencimiento. La suma total de comportamientos individuales egoístas en ciencia da por resultado que la ciencia no sea egoísta: esto es lo que habría que explicar.

En el mismo sentido, Popper señala que la subjetividad individual de los científicos es convertida en objetividad en razón de que la ciencia es una actividad social: “lo que llamamos ‘objetividad científica’ no es el producto de la imparcialidad de los científicos individuales, es el producto del carácter social o público del método científico, y la imparcialidad del científico individual, en tanto existe, no es la fuente sino más bien el resultado de esta objetividad de la ciencia organizada socialmente” (Popper, 1973, p. 374).

Cientificar la filosofía de la ciencia

Acorde con su idea de que una de las tareas tradicionales de los filósofos de la ciencia es proveer de conceptos metacientíficos que posibiliten análisis generales en ciencia, Hull (1990) intenta elaborar un modelo de selección general. Es decir, un modelo que sea válido tanto para los procesos biológicos como para el desarrollo del conocimiento, en especial del conocimiento científico. Señala que la posibilidad de construir tal modelo parte del reconocimiento “de la existencia de regularidades en la naturaleza que pueden ser encapsuladas en leyes de la naturaleza ilimitadas espacio-temporalmente”. La ciencia, considera, debe ser tratada como algo natural, una forma de conocimiento sobre la cual se pueden hacer afirmaciones parecidas a leyes. No obstante, reconoce que el intento de formular leyes acerca de los procesos de selección en general parece atrevido, dado que las generalizaciones elaboradas por los biólogos evolucionistas tienen problemas, i.e., no pueden considerarse definitivas.

En su respuesta a las críticas de Dupré (1990), Hull señala:

Intento mi análisis de procesos de selección de manera que sea lo suficientemente general para incluir todos los tipos de procesos de selección — evolución biológica, la respuesta de los sistemas inmunes a antígenos, el desarrollo del sistema nervioso, y de manera más importante los cambios conceptuales en ciencia—, pero no tan general que no tenga contenido empírico. Aunque no he podido producir el tipo de generalizaciones que Dupré contaría como leyes de la naturaleza, he dado, por lo menos, una manera empírica de dar cuenta de la ciencia [Hull, 1990, p. 79].

Para Hull la historia de la ciencia es a la filosofía de la ciencia lo que la observación y experimentación son a la ciencia. Un planteamiento sobre filosofía de la ciencia será válido en tanto que pueda ser corroborado por la observación de un comportamiento de la comunidad científica o de la propia ciencia. Es recomendable que los filósofos de la ciencia confronten sus ideas

sobre ciencia con lo que en la práctica hacen los científicos. Construir una epistemología prescriptiva es otro asunto. Veamos cómo lo hace Hull.

Sugiere que el establecimiento de una epistemología prescriptiva se puede inferir de la actividad de los científicos, es decir, plantea que puede haber cierta normatividad (un deber ser), a partir del comportamiento real de los científicos (ser). En lugar de plantear normas desde la filosofía, Hull propone obtenerlas de la historia:

la distinción entre una forma descriptiva y una forma crítica o normativa de dar cuenta de la ciencia es a la vez necesaria e importante. Mi modelo tiene las dos dimensiones. He argumentado que la ciencia alcanza sus objetivos más exitosamente de lo que lo hacen otras instituciones sociales, en gran medida gracias a la estructura social que la ciencia ha desarrollado. En particular, el bien de los científicos como individuos usualmente coincide con los objetivos institucionales de la ciencia. Raramente se les pide a los científicos que arriesguen sus carreras individuales por el bien de la ciencia como tal. La historia general que yo planteo tiene claras implicaciones prescriptivas, pero como yo lo veo, la única manera para que esas prescripciones sean evaluadas es que sean puestas en práctica por los científicos mismos y ver qué pasa [1990, p. 81].

Ahora bien, aquí se puede plantear la cuestión de cuál ha de ser el método válido para investigar el proceso del desarrollo científico. Se podrían seleccionar diferentes comunidades (de diferentes campos o diferentes países, por ejemplo) y de ahí inferir los procesos generales, pero proceder así sería seguir un orden inductivo, y Hull no está de acuerdo con ese procedimiento. Otra manera sería plantear un modelo teórico, confrontarlo con las diferentes comunidades y afinarlo a la manera en que los científicos afinan sus teorías. Una tercera estrategia sería seleccionar a la comunidad científica de la cual se extraerá la normatividad general para el resto de científicos. Ésta es la vía de Hull. La comunidad elegida es la de los biólogos que hacen taxonomía.

Sin embargo, he aquí uno de los primeros problemas de Hull. No argumenta suficientemente por qué ésa y no otra comunidad. Es una cuestión importante

cómo seleccionar una comunidad “tipo”, pues no sería lo mismo obtener determinada normatividad de, por ejemplo, una comunidad científica de la Alemania nazi que de una comunidad científica democrática. Cuando Hull escribió que los intereses individuales de los científicos usualmente coinciden con los objetivos institucionales de la ciencia no estaba pensando en la ciencia que se hacía en la Alemania de Hitler, o en el lisenkoísmo, pero éstas formas de hacer ciencia también son parte de la historia.

Duprè (1990) tiene una preocupación similar cuando plantea su temor de que el énfasis de Hull en genealogías conceptuales pueda oscurecer la distinción entre persuasión y exactitud. A este respecto, Hull responde que si una idea defendida por un científico no logró persuadir a sus contemporáneos —y por lo tanto no entró en una serie de replicación—, eso es irrelevante. La importancia que tiene que un científico trate de convencer al resto de la comunidad es indudable, pero evaluar las teorías en función del grado de convencimiento de la comunidad puede llevar a errores, pues al parecer científicos con una capacidad especial de persuasión tendrán mayores posibilidades de éxito que sus pares, posiblemente con mejores teorías, pero con poca claridad de expresión o simplemente carencia de aptitudes de convencimiento. Esto es evidente en científicos que funcionan con éxito en la difusión de la ciencia o en actividades de tipo político como las que Hull describe entre feneticistas² y cladistas.³ Un ejemplo notable es el de los fundadores de la genética de poblaciones, Ronald A. Fisher, J. B. S. Haldane y Sewall Wright, quienes no fueron comprendidos directamente por una comunidad de biólogos con poca formación matemática. Hubo que esperar la clarificación de sus ideas por personas como Dobzhansky para que fueran aceptadas por los evolucionistas en general. Particularmente en el caso de Wright puede verse el cambio de su influencia entre la década de los treinta y ahora. Otro caso muy significativo es el de Barbara McClintock: la comunidad no estaba preparada para aceptar la existencia de genes móviles. En este tipo de situaciones la ausencia de series de replicación conceptual no descalifica la contribución científica de dichos teóricos en el momento en que la hicieron. Un ejemplo contrario es el de Stephen J. Gould. Inicialmente (1977a, 1980) planteó que la forma de especiación más frecuente es de tipo saltacional. Incluso predijo la reivindicación de la idea de “monstruos esperanzados” de Goldschmidt (1977b, 1982). Su gran capacidad de trabajo, tanto en ciencia como en difusión, le ganó un crecido número de adeptos. Sin embargo, actualmente Gould ha modificado sus concepciones de forma que ya no es tan obvio que defienda una forma siquiera moderada de evolución saltacional. ¿Quién está en lo correcto, el Gould saltacionista o el actual? El cambio en el número de adeptos que esta

modificación puede traer como consecuencia, ¿definirá la validez de sus posiciones?

Otra razón por la que Hull considera que la selección de teorías puede funcionar de una manera racional se basa en que cuestiones tales como “razón, argumento y evidencia importan en actividades diferentes a la ciencia”, pero insiste, “en ningún otro lado es tan afinada la interacción entre contribución y crédito como en ciencia. Una razón por la que este sistema trabaja tan bien en ciencia es que la noción de evidencia y comprobación empírica es mucho más clara en ciencia que en cualquier otro empeño humano” (1990, p. 80).

La propuesta de Hull es hacer de la filosofía de la ciencia una actividad parecida a la ciencia misma. Es decir, Hull intenta científizar la filosofía de la ciencia; de ahí su preocupación por la búsqueda de evidencia y comprobación empírica como criterio de validez de una concepción filosófica. Lo que no aclara es cuáles serían los criterios de demarcación en este tipo de filosofía de la ciencia científizada. Por ejemplo, ¿sería falsificable? Hull ha respondido afirmativamente esta pregunta, pero señala que no pueden pedirse estándares irreales en la evaluación de las teorías sobre la ciencia, porque éstas “no son más fáciles de probar que otras teorías científicas” (Hull, 1992). Lo que falta es que establezca cuáles serían las observaciones que refutarían su teoría, por ejemplo, ¿desarrollo científico sin necesidad de competencia?

En este sentido, Bradie (1990) escribe: “Hull rechaza el uso de hechos condicionales para probar límites conceptuales: pero las afirmaciones filosóficas sobre ciencia (¿?), deben someterse a pruebas empíricas de posibilidad física.”

Hull acepta que la ciencia es un proceso social. Pero desde su punto de vista los procesos más relevantes son los que están relacionados de una manera reducida con la ciencia misma. Es decir, que están relacionados, más bien, con la comunidad científica. Hull se refiere a la interacción directa entre científicos, por ejemplo las relaciones de competencia, de colaboración, de formación de corrientes, la crítica, etc. La ciencia es un proceso social, señala, en tanto que los científicos pueden en principio someter sus puntos de vista a comprobación, pero en última instancia lo más importante es que cada uno de ellos convenza a otros científicos, pues éstos son los que pondrán a prueba y en su caso validarán los puntos de vista emitido por aquél.

Tratar de convencer a otros científicos de nuestros puntos de vista es sin duda

estratégicamente importante. Sin embargo, algunos científicos han seguido estrategias diferentes. Por ejemplo, Darwin, que tenía su teoría casi completa en 1838, pudo muy bien haber empezado entonces a exponerla e intentar convencer a otros. Prefirió analizar las posibles críticas y trató de resolverlas antes de hacer públicos sus conceptos; sobre todo, buscó evidencias de que eran válidos. De hecho, siendo uno de los teóricos que llegó a tener mayor número de adeptos, no se preocupó demasiado durante veinte años por convencer a otros científicos. Antes de hacer pública su teoría sólo había tratado de convencer a sus más cercanos amigos, entre ellos Joseph Hooker y Charles Lyell. Lo logró con el primero, pero en el caso de Lyell se conformó con que aceptara el hecho de la evolución, aunque no el mecanismo de la selección natural. En una carta enviada a Lyell el 8 de abril de 1866, Darwin escribió: “Por cierto, ha sido un gran golpe para mí que no admitas la fuerza de la selección natural. Mientras más pienso en ella, menos dudo de su poder para lograr cambios grandes y pequeños”. Cinco semanas después, en una carta que dirigió a Wallace, enlista a Lyell entre los “geólogos convertidos” al evolucionismo, si bien reconoce que aún no aceptaba el mecanismo de selección natural.

En el desarrollo de la ciencia, el individuo desempeña un papel fundamental, pero los avances de la ciencia dependen de la comunidad que conforman los científicos. Esta comunidad someterá a prueba las ideas de los individuos en una forma mucho más estricta que los propios creadores de las teorías. Hull admite como criterio de validación de las teorías científicas el principio de falsación de Popper:

en ocasiones los científicos han refutado los puntos de vista por los que son famosos, pero no con frecuencia. Más frecuentemente las pruebas verdaderamente severas provienen de los oponentes (...) los científicos que trabajan fuera de tu propio grupo de investigación son dañados si adoptan cualquiera de tus puntos de vista equivocados, pero más importante, ellos están en una mejor posición que tú al exponerlos a severos exámenes. Sus intereses de carrera no son perjudicados si tus puntos de vista son refutados [1988b, p. 131].

Hull define su posición en torno a la polémica externalismo-internalismo como intermedia. Los externalistas han argumentado que de hecho esos intereses

extracientíficos no son del todo extracientíficos. Son parte integral de los procesos científicos, e influyen significativamente en su resultado. En su forma más extrema, escribe Hull, los externalistas afirman que cuestiones tales como la clase social determinan las ideas que un científico en particular sostiene, como si los científicos fueran víctimas indefensas en las garras de la sociedad. Por otra parte, sigue Hull, los internalistas creen que todos los factores sociales son secundarios, pues los métodos utilizados por los científicos neutralizan los efectos surgidos de aquéllos. Hull no comparte las ideas ni de externalistas ni de internalistas, sino que considera ambas orientaciones como reduccionistas. Concibe a la ciencia como una actividad que tiene determinada racionalidad y cierta autonomía, pero en la que los procesos sociales, en particular los que tienen lugar dentro de una comunidad científica, afectan el desarrollo de la ciencia. Podríamos decir que defiende cierto tipo de externalismo parcial, en el que lo externo se refiere básicamente a las acciones de la comunidad científica, y no, como en el caso de los externalistas, a todos los aspectos sociales. Hull está viendo aspectos que ni internalistas ni externalistas clásicos habían estudiado.

Si los únicos intereses de los científicos fueran puramente intelectuales, las interrelaciones entre ellos ya serían suficientemente complicadas, señala Hull; pero los científicos tienen otros intereses, y las acciones que pueden maximizar esos varios intereses no siempre coinciden. Además de los intereses puramente intelectuales, los científicos también tienen intereses de carrera. Pertenecen a grupos especializados, sociedades y departamentos académicos. También son miembros de familias, grupos políticos, clases sociales, razas, y demás.

Aun sin coincidir para nada con el determinismo social, es indiscutible que hay muy diversas formas en que una comunidad científica puede impulsar o frenar el avance de la ciencia. Por ejemplo, en los veinte años que Darwin tardó en hacer pública su teoría, dedicó parte del tiempo a buscar evidencias para ella, pero también lo dedicó a darle determinada presentación, en especial en términos metodológicos, aceptable para la comunidad científica de la época. Limoges (1972), Ayala (1977), Ruse (1979) y otros han analizado en detalle las diferencias que hay entre el método que siguió Darwin para elaborar su teoría y el método que dijo haber seguido. Los cambios de uno a otro fueron obligados por la concepción inductivista, prevaleciente entonces, de filósofos de la ciencia tan influyentes como John Herschel y William Whewell. A pesar de que Hull destaca el influjo que la sociedad tiene en el desarrollo de la ciencia y que plantea que este tipo de influencias afectan también otras pautas de interacción entre científicos, no considera que ellas puedan poner en riesgo la racionalidad

de la comunidad científica; de manera que, en consecuencia, conservar dicha racionalidad le permite a la comunidad científica seleccionar las mejores teorías.

En su interés de analizar los efectos del comportamiento de los científicos como miembros de una institución, Hull intenta explicar por qué los científicos se comportan a veces altruistamente, mientras que en ocasiones son egoístas, y cómo ambas actitudes a fin de cuentas son benéficas para el desarrollo de la ciencia. Aunque de acuerdo con Hull “la ciencia es inherentemente competitiva y cooperativa”, habría que ver si la ciencia es competitiva en cualesquiera circunstancias o si un determinado ambiente social y científico hace a los científicos competitivos. Noretta Koertge (1990) ha realizado interesantes experimentos mentales sobre este punto del modelo de Hull. Koertge discrepa acerca de que las disputas por prioridad sean parte integral (esencial, de acuerdo con Hull) de la actividad científica y de que el modelo de Hull pueda ayudarnos a entender por qué. Desde su punto de vista, si la ciencia se desarrollara en condiciones diferentes la competencia no sería necesaria, es decir, no es parte constituyente de la ciencia, sino del ambiente social en el que la ciencia se desarrolla. Por su parte, Alex Rosenberg (1992) admite con Hull que la competencia entre científicos puede facilitar el alcance de los objetivos de la ciencia, pero considera que el problema es mostrar, al menos aproximadamente, cuánto le llevará a la verdad salir triunfante de cualquier lucha particular.

Los taxónomos como paradigma

Con el objeto de introducir argumentos demostrables, empíricos, en su análisis, y de comprobar su tesis de que la competencia entre grupos de investigación (los demos conceptuales) conduce al avance de la ciencia, Hull estudió el comportamiento de dos grupos de taxónomos notoriamente enfrentados, los cladistas y los feneticistas en los setenta.

Si bien puede ser cierto que entre los taxónomos se han constituido demos conceptuales cerrados, enfrentados con demos que sostienen sistemas de clasificación diferentes, no puede dejarse de lado que la taxonomía es una actividad científica que tiene peculiaridades que deben ser consideradas. Mishler (1991) y Oldroyd (1990) también han mencionado este problema.

Hull (1988b) considera que las pugnas entre dos demos conceptuales “los feneticistas mientras tuvieron como base la Universidad de Kansas en Lawrence, Kansas, y los cladistas mientras estuvieron centralizados en el Museo de Historia Natural de Nueva York” (p. 116), son un ejemplo confirmador de su teoría, la prueba empírica que toda teoría científica requiere. Sobre los líderes de dichos grupos escribe: “Ni Robert Sokal⁴ en Kansas ni Gareth Nelson⁵ en el Museo, intentaron fundar grupos de investigación [...] Sin embargo, fueron los puntos nodales alrededor de los cuales se formaron dichos grupos” (Ibidem). A quienes critican la selección de la taxonomía como modelo de desarrollo científico, Hull responde:

A aquellos que se decepcionan por la atención que puse en esos dos grupos de científicos, que a una escala mayor parecen oscuros, todo lo que puedo recomendarles es considerar el papel que desempeñaron las moscas de la fruta en la historia de la genética. Los geneticistas no tuvieron que seleccionar un grupo “extremadamente” importante para penetrar con su trabajo los secretos de la herencia. Se puede hacer una observación similar para la comprensión de los trabajos en ciencia [1988b, pp. 116-117].

Como antes se afirma, aquí hay dos problemas. Primero, si la interpretación de Hull sobre la actividad científica de los cladistas y feneticistas está justificada; y segundo, si lo que se concluye del estudio de estos taxónomos puede generalizarse al resto de los científicos.

Como hemos dicho, Hull considera la constitución de grupos de investigación pequeños como uno de los aspectos clave para el desarrollo de la ciencia. Además de ser pequeños, los grupos de investigación deben entablar férrea competencia entre sí, y a la vez presentar un alto grado de colaboración interna: “Si las comunidades científicas pequeñas asociadas con las innovaciones científicas son el análogo de las poblaciones fundadoras en la evolución biológica, entonces uno debería encontrar diferencias significativas en el grado de cooperación y competencia entre los miembros de un grupo y los de diferente grupo” (Hull, 1989, p. 257). Hull muestra que, en efecto, la competencia intergrupala fue más dura, mientras que la cooperación fue más fuerte dentro de cada grupo. De hecho, la competencia interdémica no fue siempre muy leal (dado que hubo favoritismo a las personas o a los artículos en función de la escuela que sustentaran), lo cual pareciera indicar que los intereses de la ciencia son contradictorios a los de la ética. La intensa competencia entre feneticistas y cladistas pudo acelerar la producción del trabajo científico, puesto que los autores trataban de convencer al mayor número posible de colegas de las virtudes de su sistema y mostrar las debilidades del otro. Esto puede considerarse positivo para el desarrollo de la ciencia, pero surge la duda de si, por más vigorosa que la competencia sea, de ello emerge la verdad (entendida como correspondencia entre teoría y objeto de estudio).

Respecto a la racionalidad de las polémicas científicas, Hull (1992) plantea una diferencia entre su metodología y la de los programas de investigación de Lakatos (1971): “En la teoría de la ciencia de Lakatos, las disputas de prioridad entre defensores de programas de investigación competidores son ‘racionales’, mientras que las que tienen lugar entre los defensores del mismo grupo de investigación son simplemente una cuestión de ‘vanidad y ambición de ‘fama’ ”. Por el contrario, Hull sostiene:

Aunque nadie ha coleccionado datos sistemáticos en este tema, mi impresión es que las disputas de prioridad son tan comunes entre los científicos que trabajan en el mismo como en diferente programa de investigación. Esto, para Lakatos,

son “anomalías”. Los científicos pueden sentir una fuerte lealtad a sus aliados por una variedad de razones, algunas de ellas más nobles que otras. Entre las menos nobles está la de que el propio interés está ligado al interés de los colaboradores de uno. En la medida en que los efectos de la selección individual y démica coinciden, ningún problema surge. Sin embargo, cuando un individuo percibe que su adecuación conceptual individual inclusiva está decreciendo, en parte debido a su participación en un demo científico particular, está garantizado que la fricción interna se incrementará. Desde mi punto de vista, las disputas de prioridad entre programas de investigación son también una cuestión de interés racional [Hull, 1988a].

En suma, para Hull ambos tipos de disputas de prioridad entre científicos (sean del mismo o de distinto grupo de investigación) se explican en razón de que hay una interacción entre el interés de cada científico individual en incrementar su adecuación conceptual inclusiva (su número de discípulos y seguidores) y la estructura démica de la ciencia (cada científico pertenece a un grupo y en ese sentido se preocupa por defender los intereses del grupo, pero no hasta el punto de sacrificar su interés personal, especialmente cuando el grupo ya ha tenido éxito). “Los científicos quieren crédito por sus contribuciones, pero también necesitan apoyo” (Hull, 1992, p. 230).

Con el fin de evaluar su hipótesis, Hull examinó todos los manuscritos y reportes de los evaluadores de los artículos enviados a *Systematic Zoology* entre 1974 y 1979. Comenta que se sorprendió mucho con lo que encontró: “con frecuencia los cladistas fueron tan duros entre ellos como con sus oponentes. Aunque esta aparente anomalía no me forzaba a abandonar mi teoría, me molestaba en tanto continuaba la investigación. Pensé que posiblemente la estructura démica de la ciencia no tenía los efectos que yo suponía” (1992, p. 231). Sin embargo, cuando estaba a punto de reescribir su artículo observó:

Había dividido mis sujetos inapropiadamente en cladistas y no cladistas, pero dividir a los sistemáticos en cladistas y no cladistas es tan poco natural como dividir a los animales en vertebrados e invertebrados [...] Hacia 1979 fue cada vez más notorio que los cladistas se dividieron en dos grupos. Había habido especiación. [Por lo tanto, concluyó:] había tratado a científicos que se estaban

dividiendo como si pertenecieran a un solo grupo. Una vez que puse atención en la división, la clase de prejuicios que yo había anticipado quedó manifiesta. Había tenido éxito en convertir una anomalía en una instancia confirmadora [Ibidem].

De acuerdo con la teoría de Hull, dos grupos que defienden teorías opuestas entran en conflicto y uno de los dos sale triunfante. Un punto importante en este sentido es que Hull ignora que en el caso de los organismos las especies no siempre entran en competencia; la selección natural favorece la sobrevivencia de dos especies si cada una de ellas se especializa en la explotación de partes diferentes de su ambiente, es decir, si evaden la competencia. Éste es el caso en la divergencia de caracteres, que favorece el aumento en la diversidad de especies. Hull concluyó que los vencedores fueron los cladistas. Su análisis tomó como grupo iniciador de la contienda al de los cladistas que tenían como centro operativo el Museo de Historia Natural de Nueva York y como “ejemplar tipo” a Nelson. Sin embargo, el demo encabezado por Nelson y Platnick se transformó en un grupo que, según el propio Hull, es más cercano en sus concepciones a sus contendientes, los feneticistas, que a los cladistas originales: “por una sucesión de modificaciones, un programa de investigación puede evolucionar en su negación.” (1992, p. 231). En efecto, el grupo de Nelson y Platnick ha rechazado principios que el propio Willi Hennig, fundador del cladismo, consideró fundamentales. Por ejemplo, sostienen que el hecho de tomar en cuenta los procesos evolutivos introduce subjetividad en las clasificaciones (Nelson, 1978 y 1979; C. Patterson, 1980; Platnick, 1979 y 1982; Nelson y Platnick, 1981 y 1984). Como reconoce Hull: “los principios defendidos por cladistas de patrón (pattern cladists) tales como Nelson y Platnick son más parecidos a los argumentados por los principales oponentes de Hennig que a los puntos de vista originales de Hennig. Si estoy en lo correcto, la sistemática filogenética evolucionó hacia su opuesto” (1988b, p. 242). Éste es precisamente el punto que no explica la teoría de Hull, la transformación de al menos parte de un demo en su opositor. Si el interés de los científicos es hacer prevalecer sus ideas, ¿cómo es que pueden acabar sosteniendo las ideas del grupo que no sólo es su opositor sino que además es el grupo perdedor? Y otra pregunta al calce: ¿que fenómeno biológico sería similar?

Hull considera que los cladistas originales se especiaron, produciendo por un lado a los “cladistas de patrón” o cladistas transformados y por otro a los

cladistas que continuaban sosteniendo las ideas de Hennig. Hull busca, con prejuicio cladista, un evento de especiación, es decir, el origen de dos especies nuevas a partir de una. Pero el proceso de transformación de las ideas de Hennig a las de sus seguidores que permanecen fieles a aquéllas (E. O. Wiley, 1981; Wiley y Brooks, 1982; Ridley, 1986; Brooks y McLennan, 1991) se puede considerar simplemente como un proceso de evolución gradual que no lleva a la formación de una nueva especie, en virtud de que no se encuentran cambios al nivel de ruptura conceptual (el paralelo a los cambios que impiden la reproducción cruzada). Además, incidentalmente, tampoco los cladistas transformados constituyeron una nueva especie; puede decirse que se fusionaron con los feneticistas, pues tampoco presentan diferencias fundamentales con este grupo.

No es el único caso donde Hull se deja llevar por una concepción cladista. Al seleccionar para su estudio desde un principio sólo dos de los grupos en pugna, Hull está actuando con prejuicio, pues ignora un tercer grupo en cuestión, el de los taxónomos llamados evolucionistas (por ejemplo Ernst Mayr y Georges G. Simpson).

En suma, los grupos más enfrentados en un principio, el de Sokal y el de Nelson, acaban coincidiendo en aspectos fundamentales de la taxonomía y, por otra parte, los cladistas actualmente más en boga son aquellos con los que taxónomos evolucionistas como Mayr (1982) no tienen diferencias de principio sino sólo discrepancias en cuanto a la viabilidad del método. Entre otras razones porque Hennig creó una terminología innecesariamente compleja,⁶ y a la vez aplica términos bien establecidos a conceptos muy diferentes. Otro problema es la determinación de sinapomorfías, pues es muy difícil definir si un carácter nuevo es una genuina homología —si es parte de su herencia ancestral— o si fue adquirido en un proceso de convergencia. Además no puede dejarse de lado la complicación del establecimiento de la dirección del cambio evolutivo. Todo taxónomo conoce lo difícil que es precisar si determinado carácter es el ancestral o el derivado. A pesar de sus críticas, Mayr no deja de reconocer las virtudes del cladismo: “En principio el método de análisis del cladismo para la delimitación de grupos monofiléticos, es un procedimiento estupendo. Plantea criterios objetivos para el establecimiento de la comunidad de descendencia. Fuerza el análisis cuidadoso de todos los caracteres e introduce un nuevo principio para evaluar los caracteres, el de la posesión conjunta de caracteres sinapomórficos” (Mayr, 1982, p. 229). En cualquier caso, las concepciones de los taxónomos evolucionistas son un tercero en cuestión, que Hull debió tomar en cuenta.

Sobre este problema de si las observaciones de Hull son ciertas —en especial en cuanto al triunfo del cladismo—, Donoghue (1990) ha señalado que no es obvio que los criterios de Hull para considerar triunfadores a los cladistas (si la teoría de Hull es válida, la razón habría salido triunfante y por lo tanto los cladistas serían los poseedores de la verdad) sean los mejores:

Hull toma la amplia dispersión del uso de los métodos cladísticos como medida de su éxito. Ésta es una medida obvia y conveniente pero no necesariamente capta si ha habido cambios profundos y duraderos en la forma de ver el mundo de los sistemáticos. Todo mundo usa métodos cladistas, pero ¿cómo sabemos si esto es sólo una moda carente de un compromiso intelectual por parte de los usuarios? Puedo estar equivocado, pero no creo que la mayoría de usuarios haya experimentado un cambio profundo en los puntos de vista de los objetivos y los principios de la sistemática. Por ejemplo, todavía se toman los taxa⁷ como clases definidas por caracteres más que como sistemas definidos por su ancestría [p. 469].

El segundo problema que queremos examinar es el de la validez de generalizar las conclusiones derivadas de la taxonomía al resto de la comunidad científica. Las diferencias entre la taxonomía y las ciencias experimentales son lo suficientemente fundamentales como para poner en duda la posibilidad de extrapolar de un modelo de ciencia que surge del estudio del comportamiento de los taxónomos. En seguida argumentaremos este punto.

La taxonomía es básica en biología, puesto que facilita la comunicación entre los biólogos; de hecho, cronológicamente la historia natural y sus métodos de clasificación preceden a la biología moderna. Los trabajos de sistemáticos como Linneo, Buffon, Cuvier y muchos otros conducen a la historia natural francesa por un lado (Lamarck, 1802) y a la filosofía natural alemana por el otro (Treviranus, 1800), y llevan circunstancialmente a la comprensión de que vegetales y animales comparten caracteres comunes que deben ser explicados por una ciencia que vaya más allá de la descripción y la clasificación: la biología.

La sistemática es definida por Simpson (1961) como “el estudio científico de la

diversidad y las clases de organismos y de todas las relaciones entre ellos”. En su sentido más amplio tiene como objetivo central organizar, describir y clasificar a los seres vivos, tratando de reflejar o no (según la escuela de que se trate) su historia evolutiva. La taxonomía evolucionista y el cladismo de Hennig y sus seguidores más fieles (en este sentido, Brundin, 1968; Wiley, 1981; Ridley, 1986; Brooks y McLennan, 1991) consideran que la evolución debe ser un presupuesto de toda clasificación. Los feneticistas (R. R. Sokal, y P. H. A. Sneath, 1963; Sokal, 1985), así como los “cladistas de patrón” (G. J. Nelson, 1971; Nelson y Platnick, 1981), estiman que es más científico clasificar a los organismos de acuerdo con sus similitudes, sin tomar en cuenta los procesos de evolución, por los cuales, según ellos, es muy fácil que en los juicios se introduzcan elementos subjetivos.

Hay una diferencia radical entre una taxonomía que duda acerca de si la evolución debe o no tomarse en cuenta y el resto de la biología, en la que de facto se acepta, con Dobzhansky (1972), que “Nada en biología tiene sentido si no es a la luz de la evolución”. Existen también otras diferencias sustanciales; no sólo con la biología sino con las otras ciencias experimentales. Como ha señalado Popper, la teoría es previa a la observación (algo que, por cierto, no aceptan ni feneticistas ni cladistas de patrón), pero al mismo tiempo está sujeta a refutación por la propia observación. Con respecto a este punto, los sistemas de clasificación son metateorías, i.e. no están sujetos a refutación por medio de observaciones empíricas. Aplicar un sistema de clasificación, como hacen los taxónomos, es una actividad muy diferente de la que prevalece en las ciencias biológicas en general, donde cada teoría se somete a pruebas empíricas. Los taxónomos elaboran un esquema de clasificación y organizan a los seres vivos de acuerdo con su sistema; pero éste tiene tal consistencia en sí mismo, que no lo ponen a prueba, lo aplican.

Este tipo de tomas de posición puede incluso constreñir la observación. Por ejemplo, los cladistas (desde Hennig) definen de antemano que todo evento de especiación da por resultado dos especies, y que la especie ancestral se extingue. Es decir, la metodología cladista necesita dicotomías. Hennig expuso la argumentación sobre este punto en su libro *Elementos de una sistemática filogenética* (1968, pp. 285-294). Ahí señala:

Los conceptos de “dicotomía” y “radiación” también están en cierta medida

relacionados con los de monofilia y polifilia y con la cuestión de la posibilidad de reconocer en la práctica a los grupos monofiléticos. Curiosamente, se sostiene a veces que la sistemática filogenética presupone un ordenamiento dicotómico del árbol genealógico, y se agrega que ya que tal dicotomía no es la regla, la sistemática filogenética, cuyo sistema evoca esa imagen de un ordenamiento esencialmente dicotómico del árbol genealógico, tampoco puede expresar adecuadamente las verdaderas relaciones de parentesco. Que la sistemática filogenética parta realmente de un ordenamiento dicotómico del árbol genealógico, no es más que un principio metódico [p. 285].

El problema es cómo justificar que en la realidad todos los eventos evolutivos de separación de especies produzcan siempre dos grupos. Desde el punto de vista de Hennig es dudoso que una especie se diversifique simultáneamente dando origen a varias especies descendientes (p. 289).

Ridley (1986, pp. 151-157) muestra que Hennig divide su argumentación en dos partes. Primero, si en la naturaleza hay evidencias de que la especiación fue un evento dicotómico, es decir, si los patrones de caracteres derivados compartidos muestran que las relaciones filogenéticas son dicotómicas, entonces la preferencia por la dicotomía es una preferencia por la verdad. En el caso alternativo, cuando no hay evidencias de que el evento de especiación fue de bifurcación, surge el problema de sostener una clasificación dicotómica. En este segundo caso también puede haber preferencia por la dicotomía, pero se requiere otra justificación. Otra vez Hennig procede en dos etapas. Primero señala que hay dos interpretaciones cuando los hechos señalan politomía: o el proceso de especiación fue realmente politómico, o fue dicotómico, y los hechos de los que se dispone son engañosos y nos llevan a conclusiones falsas (las politomías, afirma Hennig, pueden ser dicotomías no resueltas). Para este último caso, Hennig ofrece otra interpretación: “A priori es muy improbable que una especie original se desintegre en varias especies hijas en un evento único.” (Citado en Ridley, op. cit.)

En suma, la especiación no dicotómica es improbable para Hennig. Al ser este punto de interés fundamental en su metodología, no reconoce la posibilidad de que haya eventos de especiación que produzcan más de dos especies, a pesar de que hay evidencias que así lo sugieren. La posición de los cladistas transformados evidencia con mayor claridad la actitud que se cuestiona. Por

ejemplo, Platnick (1979) no considera que deban justificarse los procedimientos cladistas por una visión particular del proceso de especiación; su justificación es que los “cladogramas dicotómicos tienen un mayor contenido de información”, es decir, predicen más tipos de caracteres derivados (véase también Nelson y Platnick, 1980).

Si todo evento de especiación debe ser dicotómico, queda excluida la evolución de tipo filético, en la que una especie se transforme en otra, es decir, sin posibilidad de aumento en el número de especies. Por último, los cladistas exigen que todo grupo sea monofilético. Hennig consideró que este criterio no debía aplicarse en el nivel de especie. Otros como Mishler (1990) y Mishler y Brandon (1987) consideran que sí debe aplicarse al nivel de especie (ésta es también la posición de Hull). Sin embargo, no debe negarse la posibilidad de que aparezcan nuevos grupos por fusión de especies.

Al igual que otros científicos, los taxónomos utilizan teorías científicas; por ejemplo, al definir y delimitar los grupos, se sustentan en una teoría previa que les permite determinar que cierto carácter es el ancestral y otro el derivado; o para distinguir homologías de homoplasias.⁸ Sin embargo, las polémicas más fuertes entre taxónomos no han sido sobre este tipo de teorías, sino con respecto a un marco de referencia metafísico. En las ciencias experimentales se parte de una equis teoría general y de hipótesis particulares que podrán ser modificadas, aceptadas, o incluso refutadas por los resultados de experimentos o de observaciones directas en la naturaleza. Al menos, por definición, no existen teorías que no puedan ser refutadas experimentalmente. Este aspecto metodológico es completamente diferente en el caso de las escuelas taxonómicas, de las que no se espera que por las clasificaciones concretas que realizan, es decir, por el resultado de la aplicación de un método taxonómico particular, se pueda refutar una teoría (digamos el cladismo) y corroborar otra.

Las escuelas taxonómicas están constituidas en torno a un método de clasificación. Por lo tanto, su propia existencia depende de la sobrevivencia del método. Esta situación hace que los grupos actúen con cierto fanatismo de mayor parecido al de los defensores de determinadas concepciones filosóficas o políticas, que al de otros grupos de científicos.

Muchas de las conclusiones de Hull son válidas para estas comunidades, pues surgen de su estudio. Pero algunas de las ideas de Hull, como la de la importancia del papel que desempeñan los demos conceptuales en la evolución

de la ciencia, se ven favorecidas por la facilidad de delimitar dichos demos entre los taxónomos. Si Hull hubiera seleccionado, por ejemplo, a la comunidad de teóricos del evolucionismo, no habría podido establecer los demos con tanta claridad. Cualquiera de los grupos que Hull tratara de delimitar se traslaparía con otros. Incluso entre los grupos aparentemente con mayores diferencias como neodarwinistas, neutralistas y defensores del equilibrio pautado, hay tanto acuerdo en numerosos aspectos entre ellos, como diferencias en el interior de cada grupo o demo. Por ejemplo, si analizamos el demo de Darwin e incluimos en él no sólo a los evolucionistas convencidos de todos los aspectos de la teoría, sino en general a los que constituyeron grupos defensores del darwinismo, podremos ver que, por ejemplo, Charles Lyell, uno de los darwinistas más importantes, no aceptó nunca el mecanismo evolutivo de selección natural. De manera semejante, Thomas Huxley, aunque aceptaba la selección natural, consideraba que la evolución era más bien de carácter saltacional. Un ejemplo más: Wallace y Darwin diferían en una serie de puntos fundamentales, no obstante que los dos son autores de la teoría de evolución por selección natural.

Lo mismo ocurre entre los evolucionistas que constituyen el linaje de Darwin. Ronald Fisher (1930) y Sewall Wright (1931, 1932) mantienen concepciones muy diferentes en cuanto al papel que en la evolución representan la selección natural y la deriva genética, aun cuando coinciden en otros aspectos. Más recientemente, Theodosius Dobzhansky (1937) y Ernst Mayr (1963) mantienen ideas diferentes respecto al carácter de la especiación (si es fundamentalmente simpátrica⁹ o alopátrica), y no obstante, coinciden en la mayoría de los paradigmas. Lo que queremos destacar es que la constitución de cada demo sería muy diferente de los demás si uno considera fundamental en el darwinismo ya sea la selección natural, ya la especiación o ya el papel del azar en la evolución. Independientemente del concepto utilizado, los demos se traslaparían, algo que no sucedió en un principio entre los feneticistas y los cladistas y que permitió a Hull definirlos como demos separados. La situación actual es muy diferente, pues los cladistas de patrón coinciden en lo fundamental con los feneticistas aun cuando mantienen algunos aspectos propios del cladismo.

La dificultad para la teoría de Hull, al analizar el linaje conceptual de Darwin, estriba en que no pueden delimitarse demos enfrentados entre sí por concepciones generales, cuando lo que en realidad sucede es que en todo gran grupo los individuos que lo constituyen coinciden unos con otros en ciertos aspectos y difieren en otros, pero de manera traslapada. Esta situación real y comprobable niega el análisis de Hull, que clasifica a los científicos como

miembros de demos definidos y que considera el avance de la ciencia como el resultado de la competencia en términos de demos —sea entre demos o dentro de demos, pero siempre necesitando que la composición de demos esté bien definida.

El modelo evolutivo de Sewall Wright

David Hull indica que ha tomado como modelo la concepción de Wright en el desarrollo de su epistemología. Desde el punto de vista neodarwinista este modelo es un caso particular de evolución. Una cuestión que Wright (1931, 1932, 1982) considera importante es la relación entre el tamaño de la población y las presiones de mutación y selección. Si una población es muy pequeña, habrá fijación de genes completamente al azar, poca variación, muy poco efecto de la selección y, por lo tanto, una condición estática, que sólo se modificará ocasionalmente por fijación al azar de una nueva mutación. Situaciones como ésta conducen a la degeneración y a la extinción.

En el caso contrario extremo, es decir, el de una población muy grande, con una tasa de mutación alta y con selección muy fuerte, en la que la presión de selección es mucho más grande que la tasa de mutación, habrá fijación del gene favorecido en cada locus.¹⁰ En este caso también hay pocas posibilidades de evolución. Habría equilibrio completo en condiciones uniformes si el número de alelos¹¹ de cada locus fuera limitado. Con una cadena ilimitada de transformaciones de genes posibles, nuevas mutaciones favorables surgirán de tiempo en tiempo y gradualmente desplazarán a los genes desde ese momento más favorecidos, pero con una extremada lentitud aun en tiempos geológicos. Incluso si la selección se relajara a tal punto que los coeficientes de selección de muchos de los genes no fueran más grandes que la tasa de mutación, las condiciones no serían favorables para una evolución rápida.

A diferencia de Fisher, que consideró que la selección natural operaba más efectivamente en poblaciones grandes, porque habría mayor número de genes variantes, en opinión de Wright, el impacto evolutivo es mayor si lo que cambia no son únicamente los genes a partir de mutaciones, sino las interacciones genéticas a partir del cambio de combinaciones de genes. Wright rechaza el modelo de Fisher de evolución por sustitución de alelos en una población panmíctica.¹²

De acuerdo con Wright, una de las cuestiones más importantes en evolución es encontrar los mecanismos por los que una especie puede estructurar las combinaciones genéticas más adecuadas. Uno de estos mecanismos es la

producción de clones; otro es la subdivisión de la población en demos. El azar puede provocar, en clones y en menor medida en los demos, el surgimiento de nuevos sistemas de interacción genética que resulten en combinaciones genéticas superiores.

En estas condiciones la evolución puede ser más rápida, y, sobre todo, con posibilidades de especiación. Una población subdividida en demos no es estrictamente panmíctica, pues la posibilidad de reproducción entre los individuos de un mismo demo es mayor que con los de otro. Ahora bien, cada uno de los demos sufre los principales eventos evolutivos (mutación, recombinación, migración, selección natural) de manera parcialmente separada, lo cual lleva a conformar acervos genéticos cada vez más diferenciados en cada demo. Esta condición provoca en primer lugar que cada demo pueda tener diferente representación de los genes de la especie. Primero porque, al quedar separados los demos, puede haber por azar diferentes frecuencias genéticas, al grado de que incluso determinados alelos no se encuentren en un demo (lo que se conoce como error de muestreo), y segundo porque, al tratarse de subpoblaciones pequeñas, existirá endogamia. El error de muestreo en la constitución del demo y la endogamia produce cambios en las frecuencias génicas no relacionados con el carácter adaptativo de los genes, es decir, se deben a deriva génica.

Aunque con menor frecuencia que entre los individuos de un demo dado, también debe haber reproducción cruzada entre demos, pues este tipo de cruzamiento impide la endogamia estricta, que al producir homocigosis¹³ puede llevar a los demos al riesgo de extinción. Esta parcial endogamia favorece el surgimiento de combinaciones cuyo resultado es diferente al de la constitución de los otros demos. Cuando un nuevo demo se ha constituido de esta manera, el modelo plantea una selección interdémica, es decir, una selección natural entre los pequeños grupos, que favorece a los demos con las combinaciones genéticas más ventajosas. Este último punto es esencial, pues como antes se señala, Wright siempre resaltó la importancia de las relaciones entre genes (epistasia, dominancia, etc.). La existencia de diferentes combinaciones magnifica las diferencias entre acervos genéticos, pues no se refiere sólo a la presencia o ausencia de un alelo sino a las interacciones que esta presencia o ausencia posibilita o impide. El campo de variabilidad de la especie se amplía por diferenciación local, y la selección natural es amplificadora por la difusión selectiva de los demos superiores.

En el modelo de Wright hay dos fuerzas primarias que actúan conjuntamente, la deriva génica y la selección natural. La deriva genética participa con la mutación y la recombinación en la construcción de genotipos variantes que posteriormente serán objeto de selección. En estas condiciones, señala Wright (1932), una especie sexual puede en cierta medida simular condiciones parecidas a una alternancia de una serie de generaciones asexuales con una generación sexual. La reproducción biparental resuelve, con la recombinación, los requerimientos evolutivos de gran cantidad de variación. Hace a una especie altamente adaptable, capaz de producir tipos adecuados a una variedad de condiciones, pero puede lograrse una combinación de características exitosa en individuos que será rota en la siguiente generación por la meiosis. La constitución de demos es una estrategia similar a la producción de clones cuando se tiene una combinación genética muy adecuada.

En suma, para Wright, la evolución depende de cierto balance entre mutación, selección y recombinación. Debe haber mutación genética, pero una tasa excesiva de mutación produciría monstruos, no evolución; debe haber selección, pero un proceso de selección demasiado severo destruye el campo de variabilidad, y con ello las bases para avances ulteriores; el predominio de cruzamiento local dentro de una especie tiene consecuencias evolutivas tremendamente importantes, pero un cruzamiento muy restringido puede llevar a la formación de homócigos y a su vez poner a la población en riesgo de extinción. Cierta cantidad de entrecruzamiento entre las razas es favorable, pero no si es excesiva. En esta dependencia del balance (de ahí el nombre de “shifting balance”), las especies son como organismos vivientes. En todos los niveles de organización, la vida depende del mantenimiento de cierto balance entre los factores.

Wright sostiene que la evolución involucra diferenciación no adaptativa al nivel de subespecies e incluso de especies. Esto puede verse en el tipo de diferencias utilizadas por los taxónomos para distinguir tales grupos: sólo al nivel de subfamilias y familias las distinciones claramente adaptativas son la regla. Por lo tanto, el principal mecanismo evolutivo en el origen de las especies debe ser uno esencialmente no adaptativo. En suma, desde el punto de vista de Wright, la deriva génica desempeña un papel fundamental en la especiación, lo cual le da un carácter no necesariamente adaptativo.

“Shifting balance” conceptual

1. Estructura démica de la ciencia

Se ha señalado antes que entre las diferentes alternativas darwinistas, Hull se inclina, al menos en parte, por el modelo de Wright. Según éste, las condiciones más favorables para la evolución (de ninguna manera las únicas) se presentan en una población subdividida en pequeños grupos —los demos— parcialmente aislados entre sí, de forma tal que se establece un balance entre las fuerzas de evolución. Hull aplica este modelo al desarrollo del conocimiento científico; por ello considera que la subdivisión de la comunidad científica en grupos que comparten ciertas teorías y conceptos, los demos conceptuales, favorece el desarrollo de la ciencia, ya que estimula la cooperación interna entre los miembros de un demo y la competencia entre los diferentes demos: “En el punto de vista que sostengo, el cambio conceptual en ciencia debe ser más rápido cuando los científicos están subdivididos en grupos de investigación competidores. El faccionalismo que los científicos mismos frecuentemente condenan, más que frustrar, facilita el progreso en ciencia” (1988a, p. 127).

Al extrapolar el modelo de Wright, Hull sostiene otro de los conceptos fundamentales de su aproximación epistemológica, la estructura démica de la ciencia (1988b, p. 126), aunque más bien se refiere a la estructura démica de la comunidad científica. Este punto es importante, pues Hull habla indistintamente de comunidad científica y de ciencia. En todo caso se trataría de dos niveles de evolución distintos. El de la ciencia como población de teorías (las teorías están formadas por ideas o “memes”,¹⁴ el equivalente conceptual de los genes) y el de la comunidad científica como población de científicos que de acuerdo con sus afinidades teóricas pueden formar demos, poblaciones, especies. “De acuerdo con el punto de vista prevaleciente en los biólogos, la especiación típica resulta del aislamiento de pequeñas poblaciones fundadoras efímeras. La mayoría de tales poblaciones se extingue, pero algunas logran sobrevivir y expandirse y es posible que evolucionen en una nueva especie” (Hull, 1978, p. 255). Coincide con Griffin y Mullins (1972) en que “los periodos de innovación rápida en

ciencia están típicamente asociados con grupos pequeños y efímeros de científicos que trabajan juntos en problemas interrelacionados” (Ibidem).

En biología hay discusiones muy importantes acerca de si una sola teoría es capaz de dar cuenta de todos los niveles de evolución. La necesidad de que la teoría evolucionista considere de manera jerárquica los diferentes niveles de evolución ha sido planteada en diferentes formas. (Véase por ejemplo Ayala, 1982, y Gould, 1980 y 1982.)

Aun entre los que consideran posible la construcción de una teoría evolutiva general, existe la preocupación sobre el análisis de los diferentes niveles de evolución en contra de lo que podría considerarse una concepción reduccionista. Por ejemplo, Ayala (1982), en respuesta al reto que plantean las peculiaridades de los procesos micro y macroevolutivos, señala:

Aunque estoy de acuerdo con la tesis de que las teorías macroevolucionistas no son reducibles a principios microevolutivos considero que es un error basar su autonomía en la organización jerárquica de la vida, o en supuestas propiedades emergentes que exhiben las unidades de mayor nivel. Los procesos microevolucionarios, como se conocen ahora, son compatibles con los dos modelos de macroevolución: puntualismo y gradualismo. Del conocimiento microevolutivo, no podemos inferir cuál de los dos modelos macroevolutivos prevalece, ni podemos deducir respuestas para muchos otros asuntos macroevolutivos particulares, tales como ritmos de evolución morfológica, patrones de extinción de especies y factores históricos que regulan la diversidad taxonómica. La condición de la derivabilidad no se satisface: las teorías, modelos y leyes de la macroevolución no pueden ser lógicamente derivadas, al menos en el presente estado de conocimiento, de las teorías y leyes de la biología de poblaciones.

En conclusión, entonces, los procesos macroevolutivos están subrayados por los fenómenos microevolutivos y son compatibles con las teorías microevolutivas, pero los estudios macroevolutivos requieren de la formulación de hipótesis autónomas y modelos (los cuales deben ser probados usando evidencia macroevolutiva). En este sentido (epistemológico) muy importante, la macroevolución es un campo autónomo del estudio de la evolución [Ayala, 1982].

Es muy importante la introducción de esta discusión en la analogía de la evolución conceptual, pues Hull habla, sin precisar la distinción, de ciencia (nivel de las teorías), o de comunidad científica (nivel de los teóricos), sin considerar que son dos niveles distintos de evolución, y, en todo caso, tendría que explicar por qué considera que una sola teoría da cuenta de ambos niveles.

Hay una selección de científicos y una selección de teorías; la selección de científicos se lleva a cabo a nivel social y es resultado de la lucha, una lucha a veces individual, a veces grupal. En ambas cuentan las características individuales de los científicos más las del grupo al que pertenecen, tales como la capacidad de tipo político de hacer proselitismo por sus ideas y, por supuesto, su capacidad científica; pero esta lucha es de tal estilo que un científico de gran capacidad científica puede no ser reconocido por su falta de capacidad en política, aunque ésta sea política científica (o simplemente por tener otros intereses, como en el caso de Mendel). La selección de teorías tiene otros parámetros. En ella cuentan las características intrínsecas de la teoría; por ejemplo, su consistencia interna y externa, su contenido empírico, su carácter tautológico o no tautológico, si representa o no un avance científico, si sobrevive a las diferentes pruebas (tests) a las que deberá ser sometida. En la comparación de una teoría con sus alternativas se seleccionará aquella que, en opinión de la comunidad científica, cumpla con las normas aceptadas por esa comunidad. En suma, tanto las formas de selección como de aparición de variación son diferentes en estos dos niveles, algo que necesita ser tomado en cuenta en la teoría de Hull.

De manera limitada, Hull reconoce la existencia de los dos niveles mencionados, y admite que las ideas requieren de los científicos para reproducirse:

los replicadores conceptuales no pueden interactuar directamente con la porción del mundo natural al que se refieren. La única manera en que pueden interactuar es a través de los científicos. Las ideas que esos científicos sostienen no producen a estos científicos en la manera en que los genes producen organismos, pero influyen en su forma de comportarse. Los científicos son los únicos que notan los problemas, piensan en las posibles soluciones e intentan comprobarlas. Ellos son los interactores primarios en el desarrollo conceptual de la ciencia

[1988b].

Sin embargo, no explica las diferencias en su modelo respecto a los dos niveles.

Rosenberg (1992) ha llamado la atención acerca de que, como las teorías, los genes tampoco se replican solos, lo cual es cierto. Así como las ideas necesitan de los científicos para su reproducción, los genes requieren la participación de otras moléculas. Sin embargo, ellos dirigen su propia replicación, lo cual no hacen las teorías. Rosenberg acierta cuando señala que los replicadores en ciencia son abstracciones y, desde su punto de vista, los replicadores son entidades con participación causal; por lo tanto no pueden ser abstractos. Por otra parte, agrega Rosenberg, si treinta años de neurociencia nos han mostrado algo es que la relación entre símbolos y creencias y la materia gris que los realiza, es mucho más compleja que la relación entre el gene y las secuencias de polinucleótidos que construye.

Posiblemente pueda ayudar en el análisis de estos dos niveles de evolución la idea de Popper acerca de la existencia de un mundo donde las ideas interactúan de forma al menos parcialmente independiente. Así, mientras los científicos y sus cerebros forman parte del mundo 1, al igual que los genes, las ideas forman parte del mundo 3. De acuerdo con Popper, el mundo 1 está constituido por los objetos físicos o los estados físicos; el mundo 2, por los estados mentales, incluyendo estados de conciencia y disposición psicológica y estados inconcientes; el mundo 3 es el mundo de los contenidos de pensamiento objetivo, especialmente de los pensamientos científicos y poéticos y de las obras de arte (1972, p. 106 y 1977c, p. 38). Entre los habitantes del “mundo 3” de Popper están los sistemas teóricos y, de igual importancia, los problemas y las situaciones problemáticas. Los más importantes, señala Popper, son los argumentos críticos y lo que se podría llamar —por semejanza con los estados físicos o con los estados de conciencia— el estado de una discusión o el estado de un argumento crítico, así como los contenidos de las revistas, libros y bibliotecas.

Uno de los aspectos más importantes de los contenidos del mundo 3, afirma Popper, es que no siempre son resultado de producción planeada por los individuos.

Es obvio que las teorías son el producto, por supuesto, del pensamiento humano (o, si ustedes prefieren, del comportamiento humano, no debatiré acerca de términos). Sin embargo, las ideas tienen cierto grado de autonomía; pueden tener, objetivamente, consecuencias en las que nadie, hasta ese momento, ha pensado, y que pueden ser descubiertas; descubiertas en el sentido en el que una planta o animal hasta entonces desconocidos pueden ser descubiertos. Se puede decir que el mundo 3 es hecho por el hombre es sus orígenes, y que una vez que las teorías existen, empiezan a tener vida propia: producen nuevos problemas, producen previamente consecuencias invisibles [1977c, p. 40].

Ejemplifica esta idea con la producción de una teoría científica:

El científico productivo, como regla, empieza con un problema. Dicho científico va a tratar de entender el problema, ésta es usualmente una tarea intelectual prolongada —un intento del mundo 2 de asir un objeto del mundo 3. Es cierto que al hacer esto puede usar libros (u otras herramientas científicas en sus materializaciones del mundo 1). Sin embargo, su problema puede no estar establecido en esos libros; más bien puede descubrir dificultades implícitas en las teorías establecidas. Esto puede involucrar un esfuerzo creativo: el esfuerzo de asir la situación problemática abstracta; si es posible, mejor de lo que fue hecho antes. Entonces el científico puede plantear sus soluciones, su nueva teoría. Esto puede ser puesto en forma lingüística en innumerables maneras. Él escogerá cualquiera de ellas. Después discutirá críticamente su teoría y podrá modificarla como resultado de la discusión. Si es publicada y discutida por otros, en terrenos lógicos y posiblemente con base en nuevos experimentos emprendidos para probarla, la teoría puede ser rechazada si falla la prueba. Sólo después de estos esfuerzos intelectuales e interacciones con el mundo 1 puede alguien descubrir algunas aplicaciones (electrónica) que cambien el mundo [1977c, p. 39].

Si la ciencia es un proceso de selección, la interacción también debe tener lugar. Es decir, las teorías tienen su propio ambiente. Puede decirse, en la lógica de

Hull, que hay un ecosistema en el que unas teorías interactúan con otras teorías, lo que se parece al mundo 3 de Popper. En este sentido, los científicos no son sólo replicadores, es decir, reproductores de las ideas, son también interactores, pues las ideas sufren cambios al pasar de uno a otro científico, ya que los científicos no son simples vehículos que transmiten ideas inmodificables. En fin, parece claro que las diferencias entre los niveles social y conceptual de la evolución del conocimiento son demasiado importantes como para dejarlas de lado.

2. Demos conceptuales

A partir de la aplicación del modelo de Wright a la epistemología, Hull ve a la comunidad científica como una especie constituida por poblaciones subdivididas en demos. Esta subdivisión se debe a la constitución de grupos pequeños que comparten un conjunto de ideas, relativamente aislados de otros grupos que trabajan en el mismo problema pero con otra perspectiva. (Es clara aquí la similitud de esta definición con la de especie biológica.)

A diferencia de Thomas Kuhn (1969), quien ve a la comunidad científica como una totalidad unificada en torno a un paradigma, Hull asume a la comunidad agrupada no sólo en poblaciones por área, sino en subpoblaciones por tema, los demos. Estos demos están formados por el conjunto de investigadores de un área que defienden los mismos puntos de vista. Este punto de vista significa una importante diferencia en relación con el de Kuhn, pues es indiscutible que las comunidades científicas no son homogéneas; por ejemplo, la comunidad de biólogos, pese a estar unificada en torno al paradigma darwiniano, está dividida por la aceptación o rechazo de otras teorías, y además de no ser homogénea tampoco es constante, ya que frecuentemente los demos se recomponen, en tanto unos científicos abandonan ciertas ideas y abrazan otras.

Por ejemplo, si consideramos a la comunidad científica biológica como el equivalente de una especie biológica, estaría subdividida en poblaciones de bioquímicos, zoólogos, botánicos, ecólogos, sistématas, fisiólogos, etc. A su vez, cada una de estas poblaciones estaría, de acuerdo con Hull, subdividida en demos que rivalizan entre sí porque sostienen teorías diferentes, o métodos de

clasificación distintos, como en el caso que sirve de sustentación a las principales tesis de Hull, la polémica entre cladistas y feneticistas.

Los demos, explica Hull, se constituyen porque no todos los científicos tienen todas las capacidades y el conocimiento necesario para resolver los problemas que enfrentan. La mayoría tiende a unirse para formar grupos de investigación con varios grados de cohesión.

Una función de estos grupos es compartir los recursos conceptuales. Estos demos tienden a ser extremadamente efímeros. Se forman y se disuelven antes de que nadie note su existencia. Sin embargo, de vez en cuando, uno parecerá haber hecho algún tipo de progreso o ruptura. Una intensa actividad surge, generalmente con ningún o con poco efecto. La mayor parte de la actividad en ciencia, sea individual o grupal, tiene pocos efectos notorios en la ciencia. Sin embargo, en ocasiones, uno de esos grupos tiene éxito en el sentido de que otros noten sus logros y los adopten o intenten refutarlos [1988a, p. 130].

Hull da gran importancia a la conformación de los demos conceptuales. Sin embargo, en el intento de delimitar un demo conceptual tiene mayor interés para él, el apoyo que un científico pueda dar al desarrollo de una teoría que su aceptación de dicha teoría. En razón de ello, no es seguro que el término adecuado sea el de “conceptual”, pues por ejemplo, al definir al demo de los darwinistas considera más importante el papel que tuvo John Henslow al apoyar la difusión del darwinismo (a pesar de que no era evolucionista) que el de Richard Owen, de quien Hull señala sus tendencias evolucionistas y su rechazo al darwinismo más por razones de tipo social que conceptuales. Henslow fue un buen amigo de Darwin, a quien siempre apoyó y estimuló durante su formación como naturalista. Fue él quien lo recomendó para el viaje del Beagle. Asimismo fue a través de Henslow como conoció a William Whewell y a Adam Sedgwick. No obstante, Henslow nunca aceptó la teoría de Darwin. El caso de Owen es casi el inverso. Como señala Hull (1988b, p. 45), Owen rechazó tanto la teoría como reclamó prioridad en la idea de evolución orgánica. Igual que Ruse (1979) y otros, Hull admite que en gran medida las críticas de Owen al darwinismo se debieron más a rivalidades personales que a diferencias teóricas profundas. De hecho los estudios de anatomía comparada y paleontología de Owen así como su

teoría de los arquetipos fueron de indudable importancia en la constitución de la síntesis del pensamiento biológico que elaboró Darwin. Por supuesto que es importante el apoyo que alguien pueda dar al avance de una teoría (con recursos económicos, editando libros, etc.), pero es discutible que esto permita definirlo como parte de un demo conceptual.

Es interesante ver cómo a pesar de que los cladistas (los pattern cladists) afirman ser seguidores de Hennig, Popper y Croizat, Hull muestra cómo han modificado tanto el pensamiento de estos autores que en realidad no siguen a ninguno. Entonces, ¿pueden considerarse sus descendientes? Por ejemplo, alguien que propone analizar a los seres vivos sin ninguna teoría en mente, ¿puede considerarse descendiente de Popper? Un científico puede empezar su actividad siguiendo fielmente las ideas de otro, pero abandonarlas posteriormente. Por ejemplo, aunque Darwin empezó como un fiel seguidor de Lyell, abandonó algunas de las ideas (no todas) más caras a Lyell; sin embargo, no lo consideramos su descendiente. Los cambios que hizo lo hacen fundador de una nueva corriente. El de los cladistas de patrón es un caso parecido.

3. Selección conceptual

Hull define la selección como un proceso en el que la extinción diferencial y la proliferación de interactores causa la perpetuación de replicadores relevantes. No obstante, la realidad es que los conceptos irrelevantes para la ciencia también se perpetúan. Si utilizamos como criterio de selección de teorías su sobrevivencia y reproducción, nos sorprenderá que las más prolíficas y duraderas no son necesariamente las más reconocidas por la comunidad científica. En otras palabras, este criterio no tiene utilidad en la delimitación de las teorías científicas, y es indudable que para hablar de teorías científicas necesitamos un criterio de demarcación.

En la evolución biológica se ha establecido la diferencia entre “adaptación” y “adecuación” (fitness). La noción de adaptación abarca todos los mecanismos que posibilitan el acomodamiento de un organismo a su medio, mientras que la adecuación mide el éxito en la reproducción. En relación con la evolución conceptual, la teoría más adaptada sería la que lograra explicar mejor el

fenómeno en cuestión. Como hemos señalado al principio, Hull establece la analogía evolución orgánica-evolución de la ciencia utilizando la noción de adecuación (fitness) y dejando de lado el problema de adaptación conceptual, i.e. el problema de la definición de verdad como adecuación de las teorías a la realidad. Prefiere la alternativa neodarwiniana de definir aptitud en función de éxito reproductivo. Como veremos más adelante, además incorpora la idea de adecuación individual inclusiva.

Esto es importante, pues una de las formas en que la teoría sintética ha resuelto la aparente circularidad de la teoría de la selección natural (al definir al organismo más apto como el que sobrevive) es definiendo la aptitud en función no sólo de la sobrevivencia o adaptación, sino de la probabilidad de dejar descendencia que a su vez tenga descendencia (Ayala, 1977). Sin embargo, estos problemas no son mutuamente excluyentes, porque la posibilidad de procreación no ha implicado el abandono del estudio de la adaptación de los organismos a su medio.

Al igual que Wright, Hull se preocupa por analizar el equilibrio entre dos tipos de selección, la selección intradémica y la selección interdémica. De acuerdo con el planteamiento original de Darwin, la lucha por la existencia tiende a incrementarse en función de la cercanía filogenética de los organismos. A mayor cercanía, más concurrencia por recursos; de ahí que la lucha sea mucho más intensa entre individuos de la misma especie. Para Wright, en cambio, la competencia interdémica es la más fuerte, a pesar de que dentro de un demo los organismos son más parecidos entre sí. Hull se separa de uno y otro y sostiene que los dos tipos de competencia tienen una fuerza similar: “En mi teoría, ambos tipos de disputas de prioridad son explicadas en términos de una interacción entre adecuación conceptual inclusiva y la estructura démica de la ciencia. Los científicos quieren crédito por sus contribuciones, pero también necesitan apoyo. Por lo tanto, las disputas por prioridad pueden ser ‘racionales’ aun si ocurren entre miembros del mismo programa” (1992).

Vista aisladamente del resto de la teoría, la noción de selección natural funciona en la analogía de Hull. Igual que en la evolución de los seres vivos, la selección conceptual puede ocurrir en diferentes niveles. La naturaleza puede favorecer determinados genes, gametos, organismos o poblaciones. La comunidad científica puede favorecer ciertas teorías, métodos, científicos y demos conceptuales. Sin embargo, hay diferencias importantes. Más adelante seguiremos con este punto. Lo que queremos destacar aquí es que la selección

natural no es el único mecanismo de evolución, es sólo el mecanismo más importante en el aumento de la adaptación. Hull no toma en cuenta otros mecanismos de evolución, pues su intento de elaborar una teoría general que dé cuenta tanto de la evolución de la vida como del desarrollo del conocimiento falla al dejar de lado partes sustanciales de los procesos de evolución biológica.

Para Hull, si otros científicos tratan de refutar las ideas del grupo, los miembros del grupo responden unidos, y se presenta entonces una selección interdérmica, es decir, en lugar de una lucha entre científicos individuales, “la selección interdérmica es sobrepuesta a la adecuación individual inclusiva”. Si, en cambio, otros científicos adoptan las ideas del grupo y el conjunto de ideas que se originaron en un pequeño grupo de investigación se difunde ampliamente, la selección interdérmica es reemplazada por selección masiva. Como resultado, sólo aquellos grupos de investigación en ciencia que son exitosos o que fallan significativamente son notorios (Hull, 1988a).

4. Constitución de los linajes conceptuales (la analogía sociobiológica)

Como hemos visto, desde el punto de vista de Hull, los científicos compiten entre sí para convencer a otros científicos de las virtudes de sus teorías, y de esta manera forman un linaje de científicos que comparten las mismas ideas. De forma análoga a la manera en que los organismos luchan entre sí por dejar la mayor representación posible de sus genes, los científicos tratan de convencer al mayor número de científicos.

Por supuesto, los científicos no pasan sus ideas genéticamente, pero sí forman grupos sociales. Tienen estudiantes y discípulos, para no mencionar a los asistentes de investigación permanentes, tan cercanos a los organismos sociales no reproductivos como un humano puede ser. Por supuesto, el flujo de ideas científicas es diferente como para corresponder muy cercanamente al flujo genético, pero como incluso los científicos están prestos a admitir, sus verdaderos “hijos” son sus ideas, y los principales medios por los cuales los científicos transmiten sus ideas son otros científicos [Hull, 1978, p. 261].

Por lo tanto, se puede hablar de que los científicos, como los organismos, tienen una adecuación en función del número de descendientes que dejan. Es indudable que la ciencia, como otras actividades humanas, es una actividad a la vez competitiva y cooperativa, y desde el punto de vista de Hull, las prácticas sociales peculiares que se han desarrollado en ciencia para facilitar la cooperación entre competidores son exactamente las que debería haber si el principal objetivo de los científicos fuera que sus ideas se incorporaran en el cuerpo del saber aceptado. La analogía de Hull retoma la explicación de la biología por la manera en que los genes se perpetúan, en virtud de una estructura social de los grupos que tienen relaciones de parentesco, para argumentar que la mejor manera de entender la ciencia es seguir el flujo de ideas, esto es, estudiar cómo pasan de unos científicos a otros. Los fenómenos que analiza son las formas en las que los científicos se vigilan a sí mismos y se premian, así como la coincidencia que en ciencia tienen los fines manifiestos de las instituciones y los objetivos individuales de los científicos, la eficacia de los objetivos internos de la ciencia frente a objetivos externos como dinero y reconocimiento, y el papel que en todo ello tiene el sistema de citas en la organización social de la ciencia (1978, p. 250).

Hull se refiere no sólo a la idea tradicional de adecuación (fitness), es decir a la idea de adecuación individual, sino que retoma las nociones de adecuación inclusiva y de selección por parentesco (kin selection) derivadas de J. B. S. Haldane (1932), William Hamilton (1964), Robert Trivers (1972) y otros. De acuerdo con esta corriente, la cooperación fenotípica entre parientes puede ser mejorada por dos mecanismos: selección familiar y altruismo recíproco. Hull se propuso mostrar que los científicos que tienen ideas comunes se comportan de manera similar a los organismos que presentan genes comunes:

Intento usar la parte más controvertida de la explicación biológica del comportamiento animal (cuidado parental y selección familiar) como modelo para una teoría social de la estructura de la ciencia. Por supuesto, ser un científico exitoso puede ser tan ventajoso para la propia descendencia como el ser exitoso en cualquier otra ocupación, pero los científicos no transmiten sus ideas a través de sus genes. Algunos aspectos del comportamiento cooperativo entre los científicos deben ser tan explicables en términos de altruismo recíproco

como lo es la regurgitación entre los perros africanos, y como la tendencia humana a aprender acerca del mundo en el que vivimos puede estar tan genéticamente basada como la facilidad con la que podemos ser inductados [1978, p. 250].

La idea de selección por parentesco implica que los organismos pueden tener comportamientos altruistas con sus parientes en función de que comparten genes con ellos y saldrán beneficiados de dicho comportamiento al favorecer la reproducción de sus propios genes. La selección natural favorece el comportamiento altruista si con ese comportamiento el altruista favorece la reproducción de sus parientes más cercanos (Haldane bromeó con esto diciendo que él sacrificaría su vida por dos hermanos, cuatro tíos u ocho primos). Ese interés en la perpetuación de los propios genes, aun a través de otros individuos, denota que tal tipo de comportamiento es en realidad egoísta, porque ayudar para obtener un beneficio no es verdadero altruismo. Pero ello, para Hull, no es obstáculo:

De acuerdo con el uso biológico de estos términos, la intención es irrelevante; todo lo que importa es el efecto. Si el efecto de un comportamiento es benéfico a la sobrevivencia personal del organismo, entonces [dicho comportamiento] es fenotípicamente egoísta; si beneficia la sobrevivencia de algún otro organismo, es fenotípicamente altruista. Si el efecto de un comportamiento es incrementar la probabilidad de transmisión de réplicas de sus propios genes o su duplicación en otros organismos, entonces es genéticamente egoísta; si incrementa la probabilidad de transmisión de genes de diferente tipo de los propios, entonces es genéticamente altruista [Hull, 1978, p. 247].

En función de que los organismos cercanamente relacionados contienen copias de los genes unos de otros, se puede esperar que ocurran diversos grados de cooperación entre parientes genéticos. Algunos organismos producen numerosos descendientes, tantos como es posible. Su inversión en el futuro es solamente en término de números. Otros tienen menos descendientes de los que pueden, pero la diferencia está en el cuidado que dedican a su hijos. Este último tipo de

comportamiento es fenotípicamente “altruista”, pero genéticamente “egoísta”. Observaciones similares pueden hacerse para hermanos, sobrinos, primos, etc. Desde el punto de vista de la idea del gene egoísta, la reproducción sexual que involucra meiosis¹⁵ debe de haber tenido dificultades para evolucionar, en virtud de que hay genes que son excluidos (Hull, 1988b, p. 432). En función de la defensa y reproducción de las ideas de un grupo, los científicos forman linajes, constituyen una familia conceptual: “Así como los organismos se comportan de manera que resulta en replicados de sus propios genes, o duplicados de estos genes en parientes cercanos que serán transmitidos a generaciones posteriores, los científicos se comportan en formas calculadas para lograr que sus puntos de vista sean aceptados por otros científicos” (Hull, 1988a, p. 126). Un linaje estará formado por aquellos científicos que comparten ideas idénticas por descendencia. Es importante aclarar aquí que para Hull, en el caso de un científico que llega a ideas similares a las de otro, pero que no las ha aprendido de él, aquel no forma parte de su linaje.

Por otra parte, para explicar el comportamiento aparentemente altruista de los científicos, Hull extrapola el concepto de “altruismo recíproco” de Trivers (1971), quien se refiere a que un ser humano puede ayudar a otro en espera de que la persona que recibió la ayuda llegue a corresponder en el futuro. Sin embargo, Hull (1988b, p. 433) afirma que la idea de Trivers no siempre puede utilizarse, por dos razones:

se aplica incluso a las criaturas más inferiores, entidades que no pueden anticipar el futuro, en ningún sentido, y asume una base genética para el comportamiento. De hecho, la única razón para que organismos que son incapaces de deliberación participen en actos de altruismo recíproco es que los mecanismos involucrados son genéticos. En algunos organismos aprender desempeña un papel, pero en todos los organismos las predisposiciones genéticas son centrales. El mensaje principal de Trivers (1971) es que el efecto neto del altruismo recíproco tiene que ser genéticamente “egoísta”.

Hull lleva esta concepción al análisis del desarrollo de la ciencia. Los científicos son aparentemente altruistas bien cuando se trata de la protección de sus discípulos porque éstos sostienen las mismas ideas (adecuación inclusiva), o

bien porque esperan que otros científicos les correspondan (altruismo recíproco).

Hull considera que la adecuación inclusiva y la estructura démica pueden aplicarse a las relaciones profesionales entre los científicos, que, para él, son organismos que participan en el mismo tipo de lucha por pasar sus genes, tal como lo hacen otros. Sin embargo, como humanos, los científicos son parte de una cultura en la que lograr éxito en su ámbito tiene el mismo efecto que el de otros seres humanos en diversos parámetros, de modo que la genética tiene determinadas acotaciones. Aquí Hull da el siguiente ejemplo: “en ciertos tipos de sociedad, los individuos de alto rango posponen la paternidad y tienen menos hijos de los que tienen individuos de bajo rango. En dichas sociedades, si la ciencia es una actividad de alto rango, los científicos se comportarán de acuerdo con esta situación” (1988b, p. 434).

De acuerdo con Hull, en las comunidades científicas se dan fenómenos de competencia y cooperación que son similares a los que ocurren en un ecosistema, de modo que, según esto, el altruismo entre científicos se puede explicar de manera semejante a como se hace con el altruismo entre individuos consanguíneos, idea que introdujo Hamilton (1964) para explicar el sacrificio de un individuo por otro, lo cual no suele ser favorecido por la selección natural, pues en ese caso los genes altruistas serían eliminados en cada sacrificio. En cuanto a la evolución conceptual, ese modelo altruista significaría que los científicos que defienden el mismo paradigma son capaces de sacrificar su propia carrera en bien de las ideas que sostiene su grupo (sus parientes conceptuales), caso que no parece ser muy común y mucho menos generalizable. Como Hull mismo señala, los científicos de un mismo demo compiten por el crédito a tal grado, que a veces pueden comprometer el prestigio del grupo.

Como antes se indica, desde el punto de vista de Hull no es necesario que un científico comparta las ideas de un grupo para considerarlo parte del demo. Puede tratarse de alguien que favorezca el avance de un paradigma aun sin compartirlo. En su estudio sobre la comunidad de taxónomos, confirmó que en los primeros dos años de la taxonomía numérica, Sokal publicó artículos como coautor de Michener, Camin, Rohlf y Sneath. Durante esa etapa, las relaciones profesionales entre esos científicos fueron tan cercanas que la transmisión de sus contribuciones puede ser analizada aplicando los conceptos de la selección familiar.

Sin embargo, pasada esa fase, muy pronto los feneticistas formaron un grupo

mucho mayor que un demo conceptual, en el que sus científicos usaron las ideas y los términos que habían producido ellos mismos, en lugar de ideas originadas fuera del demo. Entonces, la frecuencia de citas intradémicas positivas fue mucho mayor que las citas interdémicas, pero la organización social no fue tan cerrada como en el grupo original. Aunque Michener fue coautor con Sokal, los dos expresaron abiertamente sus diferencias. Desde el punto de vista de Hull acerca de la comunidad de creencias compartidas, Michener nunca fue realmente un feneticista. Sin embargo, por haber contribuido a la extensión (o más bien reproducción) del feneticismo, Michener puede ser considerado un feneticista (aunque abandonó el campo gradualmente).

Hull considera que este tipo de relación (formación de linajes) es fundamental para el desarrollo de la ciencia, pues opina que si no hay reproducción de una idea en el sentido de que sea compartida y defendida por un grupo, en lugar de sólo por un científico asilado, dicha idea no será reconocida y pasará inadvertida para la comunidad científica, en especial por la relativamente corta duración de la vida humana individual. En fin, para que una idea cuente como contribución genuina, como una “nueva verdad”, debe ser parte de una secuencia de replicación. Coincide en este punto con Toulmin: “Para que hablemos de una ‘variante conceptual’ genuina, no es suficiente encontrar algún individuo honesto entretenido en una innovación conceptual; toma algo más que las reflexiones personales de individuos mentalmente abiertos crear un acervo de variantes conceptuales en ciencia” (citado en Hull, 1988b, p. 436).

Para la concepción de Hull es indispensable contemplar la interacción entre competencia y cooperación. Ni Darwin ni Wright dieron a la cooperación el peso en la evolución biológica que Hull le da a la colaboración entre los individuos. Esto es importante, pues a pesar de que Hull intenta analizar la ciencia desde una perspectiva fríamente biológica, inmediatamente percibe diferencias sustanciales. Esto no significa que Darwin o los neodarwinistas no hubieran contemplado la importancia de la cooperación (mutualismo) en la evolución, pero es claro que otorgaron un peso mayor a la competencia. Puede decirse que, sin lugar a dudas, la interacción de mayor fuerza en El origen de las especies es la competencia. Desde el momento en que Hull se ve en la necesidad de dar a la cooperación en la evolución conceptual un peso similar al de la competencia (incluso después de adoptar las ideas de Hamilton, Trivers y demás, que argumentan que el altruismo no existe en la evolución) puede percibirse que empiezan las dificultades para el modelo.

Hull (1988a) coincide con Imre Lakatos (1983) en la importancia que éste da a los sistemas de teorías como unidades de evaluación de teorías. No obstante, plantea una diferencia. Señala que para Lakatos la unidad clave de la ciencia son los programas de investigación y que dichos programas de investigación son evaluados en cuanto a si son progresivos o degenerativos. Hemos visto antes que esta diferencia lleva a consideraciones distintas en ambos autores acerca de las disputas de prioridad.

5. Replicadores e interactores conceptuales

En la evolución biológica los replicadores paradigmáticos son los genes. En el cambio conceptual, afirma Hull, los replicadores son:

los elementos del contenido fundamental de la ciencia —creencias sobre los objetivos de la ciencia, formas adecuadas sobre cómo alcanzar esos objetivos, problemas y sus posibles soluciones, modos de representación, datos acumulados, y cosas por el estilo—. Éstas son las entidades que pasan en las secuencias de replicación; los vehículos que transmiten dichas secuencias, y que posibilitan su permanencia, son los libros, las revistas, las computadoras, y por supuesto el cerebro humano. Como en la evolución biológica, cada replicación cuenta como una generación con respecto a la selección [1988b, p. 434].

Aquí hay una importante disanalogía con la evolución biológica, pues una característica fundamental de los genes es la autorreplicación. En cambio, métodos y conceptos requieren la intermediación de los científicos para ser replicados. A diferencia de lo que ocurre en la evolución biológica, donde los genes son los replicadores primarios y como tales pasan la información que contienen en su estructura,

los replicadores conceptuales [aclara Hull] no pueden interactuar directamente con la porción del mundo natural al que se refieren. La única manera en que pueden interactuar es a través de los científicos. Las ideas que esos científicos sostienen no producen a estos científicos en la manera en que los genes producen organismos, pero influyen en su forma de comportarse. Los científicos son los únicos que notan los problemas, piensan en las posibles soluciones e intentan comprobarlas. Ellos son los interactores primarios en el desarrollo conceptual de la ciencia. Entonces, en el cambio conceptual, los científicos funcionan como vehículos, tanto en el sentido de Campbell como en el de Dawkins [Ibidem].

En efecto, los científicos aprenden de su experiencia al igual que de las experiencias de otros, lo cual puede darse en virtud de la confianza que en los lineamientos exige la comunidad científica, disposición que además es necesaria, pues si cada científico quisiera confrontar cada idea con la naturaleza, la ciencia no avanzaría. Los científicos tienen que dar por ciertos multitud de conceptos y teorías si quieren contribuir al avance de la ciencia. Su contribución no se limita sólo al conocimiento producido, sino que concierne también a la forma en que cada uno es capaz de integrar ese conocimiento con el de sus colegas, razón por la cual la ciencia tiende cada vez más a la socialización, ya que el conjunto de avances obliga a la interacción comunicativa de los científicos.

Por otra parte, la ciencia no es social sólo porque los científicos requieran unos de otros. Popper ha mostrado que la “objetividad científica” se logra en la interacción social. Un individuo que intentara desarrollar su propia ciencia, un Robinson Crusoe científico,

no tendría quien revisara sus resultados, nadie que corrigiera aquellos prejuicios que son inevitable consecuencia de su peculiar historia mental, nadie que lo librara de la extraña ceguera mental respecto a las posibilidades inherentes de nuestros propios resultados, la cual es consecuencia del hecho de que la mayoría de ellos son alcanzados a través de aproximaciones comparativamente irrelevantes. Y qué decir respecto a sus artículos científicos: es sólo en el intento de explicar su trabajo a alguien que no lo ha hecho como puede adquirir la disciplina de comunicación clara y razonada que es parte del método científico [1973, p. 374].

En suma, lo hemos dicho antes, para Popper, la objetividad científica no es el producto de la imparcialidad del científico como individuo, sino el carácter social o público del método científico; y la imparcialidad del científico individual, hasta donde exista, no es la fuente, sino más bien el resultado de la objetividad social o institucionalmente organizada de la ciencia.

6. Interacción conceptual

Si admitimos la importación de conceptos de Hull, el científico es un vehículo que a la vez es replicador e interactor y que, además, sostiene una gran cantidad de ideas organizadas en demos o tal vez en poblaciones y especies. Aquí se plantea un problema más, que hace muy compleja la ya por sí complicada visión evolutiva de la biología, pues Hull analiza dos niveles de interacción, el del científico con los demás científicos y el de conceptos y teorías, pero no precisa los límites. Como ya hemos apuntado, pasa sin transiciones de la interacción entre los miembros de una comunidad científica a las interacciones entre ideas, lo que nos lleva a pensar nuevamente en los problemas particulares que pueden tener los diferentes niveles de evolución, ya no sólo en biología sino también en epistemología.

Los científicos, sostiene Hull, intentan encontrar la combinación correcta de ideas para producir una explicación coherente e inclusiva de los fenómenos naturales. Después, las secuencias de replicación pasan a su vez a través de una serie alternante de científicos que repiten el proceso. Precisamente porque la interacción es parte del saber científico, la genuina novedad de ideas surge de vez en cuando —muy raramente—; la mayor parte del progreso en ciencia ocurre por medio de la recombinación. Recombinación que por cierto transgrede el nivel específico y aun más alto en la evolución conceptual, pues para la construcción de teorías los científicos a veces importan conceptos y métodos de otras disciplinas, como lo hace el propio Hull. El equivalente en biología sería, tal vez, el intercambio genético horizontal, pues puede tener lugar entre organismos distantes filogenéticamente, pero no es tan común como en el caso del intercambio conceptual en ciencia.

Hemos señalado que Hull arguye que dos ideas del mismo tipo deben contar como distintas si surgen en diferentes linajes conceptuales. En este planteamiento Hull retoma la noción de monofilia del cladismo para la integración de un taxón. A diferencia del propio Hennig, que consideró que a nivel de especie este criterio puede dejarse de lado, Bradie (1990) ha señalado que esa tesis es muy radical, pues sostiene que no puede decirse que dos individuos con puntos de vista estructuralmente similares, pero que no comparten los nexos causales apropiados, tengan el mismo punto de vista. Al mismo tiempo, podría afirmarse que dos individuos que comparten relaciones causales, pero cuyos puntos de vista son estructuralmente diferentes, pertenecen a la misma teoría, programa o tradición. Admitir esta idea de Hull llevaría a sostener que neolamarckismo (los lamarckistas que aceptan la selección natural) y neodarwinismo pertenecen a un mismo programa.

Todos los científicos tienen intereses intelectuales, sigue Hull, pero esos intereses raramente coinciden. Diferentes científicos promueven diversas ideas y distintas combinaciones de ideas, manteniendo en mente que las ideas en el proceso de selección son individuales en términos de descendencia. Aun en términos de análisis hulliano es difícil decidir si las ideas surgidas del linaje de Darwin cuentan como distintas y compiten en diferentes terrenos o no que las de Wallace. Es decir, ¿cómo definir un linaje?, y ¿cuándo dos linajes se funden en uno?, son cuestiones que no quedan claras.

También hay confusión en la aplicación de las nociones de replicación e interacción e incluso con el de selección al relacionarlas con el desarrollo de la ciencia. Replicador para Hull (1988b, p. 409) es una entidad que pasa con su estructura fundamentalmente intacta a través de replications sucesivas. En evolución biológica el replicador paradigmático es el gene, en tanto que en evolución conceptual al parecer serían las teorías, ya sea sobre los métodos o sobre los fenómenos (“elementos del contenido de la ciencia”). Interactor es una entidad que desempeña su función como una totalidad cohesionada con su ambiente de tal manera que esa interacción causa que la replicación sea diferencial.

En evolución biológica los organismos serían los interactores paradigmáticos, y ¿en evolución conceptual serían los científicos, o los demos conceptuales?

De acuerdo con Hull, para funcionar como replicador, una entidad debe tener estructura y ser capaz de pasar su estructura en una secuencia de replicación. Si

todo lo que un gene hizo es servir como molde para producir copia tras copia de sí mismo sin que esas copias a su vez produzcan copias adicionales, no puede funcionar como replicador. Esto, en relación con la evolución conceptual, sería equivalente a que un científico produjera infinidad de artículos o libros pero sin lograr convencer a ningún otro científico, lo que para Hull es irrelevante. Sin embargo, como antes se ha señalado, en ocasiones les lleva mucho tiempo a los científicos convencer a otros de sus ideas, sobre todo cuando son muy novedosas y no encajan perfectamente en el saber del momento.

Los organismos son replicadores, y aunque no pasan su estructura en gran medida intacta, como señala la definición de Dawkins, son por supuesto interactores y forman linajes. ¿Cuál sería la correspondencia con la evolución conceptual?

Las teorías son unidades de evolución, replicadoras, e interactoras, pero para replicarse e interactuar con otras teorías dependen de los científicos. Los científicos son también replicadores en el sentido de Hull en tanto que es posible, al menos teóricamente, que formen a un discípulo que mantenga sus ideas en gran medida intactas; y son, obviamente, interactores.

Hull acepta que los genes no son los únicos replicadores. Por ejemplo, señala, los organismos también exhiben estructura. Un problema es el sentido en que puede decirse que pasan su estructura en gran medida intacta. Las poblaciones no son replicadoras en el sentido estricto, y sin embargo, tienen una estructura que se conserva en replications sucesivas, además de diversos parámetros que son sus características específicas.

Todas las poblaciones están en permanente cambio por el nacimiento de nuevos individuos y la llegada de inmigrantes, y por la muerte o emigración de otros. A pesar de esto las fluctuaciones en el tamaño de población tienen límites, ninguna población se incrementa ilimitadamente y las especies se extinguen sólo ocasionalmente. Una de las características centrales de la dinámica poblacional es la simultánea ocurrencia de cambio permanente y relativa constancia. Sin embargo, la medida en que una población fluctúa cambia de especie a especie [Begon, et al., 1986].

En ciertas poblaciones la estructura demográfica tiene un valor selectivo, por ejemplo en las tropas de monos. Como vemos, la disanalogía fundamental se da entre genes y memes, pues los memes no son autorreplicadores. En cambio a nivel de demos hay cierta analogía, pues tanto en biología como en evolución conceptual ambos pueden replicarse en gran medida intactos.

Si consideramos como equivalente de una especie biológica a una rama de una ciencia o a una ciencia, no puede hablarse de que haya replicación ni remotamente intacta. En biología las especies forman, o son, linajes; en epistemología evolutiva, afirma Hull, tanto las teorías como los científicos pueden formar linajes. Sin embargo, las comunidades científicas no son linajes, pues por más exacto y parecido que sea el modo en que una comunidad transmita su concepción a otra, siempre habrá diferencias, si no en la teoría central, posiblemente en otras cuestiones. En este sentido las teorías tampoco serían linajes, pues, al menos en biología, es difícil decir que pasan casi sin modificar su estructura. Un claro ejemplo es el linaje de Darwin. Por más que sus descendientes directos, o incluso su codescubridor Wallace, mantienen teorías similares, no puede hablarse de una concepción única. Aun en el núcleo duro del evolucionismo, la teoría de la selección natural, hay diferencias muy importantes entre Darwin y Wallace, entre ellos y los neodarwinistas y entre los neodarwinistas entre sí.

En la naturaleza existen muchas totalidades cohesionadas, sigue Hull, pero sólo unas cuantas funcionan en el proceso de selección. Por lo tanto, sólo unas pocas funcionan como interactoras. Para funcionar como interactora, una entidad debe ejercer esa función con su ambiente en tal forma que alguna secuencia de replicación sea diferencial —el replicador relevante—, es decir, de forma que la reproducción diferencial sea resultado de la interacción. Los organismos son interactores paradigmáticos, son totalidades cohesionadas que así interactúan con su ambiente, como totalidades cohesionadas, y los resultados de esa interacción influyen en las secuencias de replicación de manera tal que ciertas estructuras llegan a ser más comunes entre sí y otras, raras. Sin embargo, acepta Hull, muchas otras entidades también funcionan como interactoras, incluso los genes. Los genes tienen “fenotipo”: el DNA es una doble hélice que puede desdoblarse y replicarse a sí misma. Haciéndolo, interactúa con su ambiente celular. Al principio, ambas funciones, necesarias para la selección, fueron llevadas a cabo por la misma entidad. Ellas tenían que replicarse, y tenían que interactuar con su ambiente en tal forma que la replicación fuera diferencial (1988b, p. 411).

A causa de que la replicación y la interacción son dos procesos fundamentalmente diferentes, y que las propiedades que facilitan estos procesos son diferentes también, señala Hull, la selección natural favoreció la separación de las funciones de replicación y de interacción. Generalmente hay aumento en la eficiencia cuando diferentes funciones que en principio lleva a cabo una sola estructura se separan en dos entidades funcionales y estructurales. La interacción ocurre a todos los niveles de organización jerárquica, desde genes, células, órganos, organismos, y también en poblaciones y especies. La replicación, en cambio, en sentido estricto no ocurre en todos los niveles, sólo los genes pasan su estructura en gran medida exacta. Aunque Hull no debería olvidar las especies con capacidad de algún tipo de reproducción asexual. En los clones, por ejemplo, los organismos pasan su estructura en gran medida intacta. No obstante, Hull reconoce que vista de un modo amplio, la replicación también puede llevarse a cabo por organismos e incluso, como vimos antes, por poblaciones.

Al parecer el problema es que todavía falta precisión en las definiciones que ofrece Hull acerca de replicación e interacción. A pesar de que sostiene que en la evolución ambas funciones se separaron, de acuerdo con sus definiciones todos los niveles pueden llevarlas a cabo.

Hull admite que la selección es una interacción entre dos procesos, replicación e interacción. En general, dice, las entidades que funcionan en esos dos procesos son diferentes, pero en algunos casos una sola entidad puede efectuar las dos funciones. La interacción que afecta la replicación puede ocurrir en el mismo nivel de organización en el que ocurre la replicación o en un nivel más alto, usualmente más alto. La selección está compuesta de varios procesos causales: los replicadores produciendo otros replicadores, así como, a veces, interactores, e interactores interactuando con sus ambientes. El efecto neto de todos esos procesos causales es la perpetuación diferencial de los replicadores que los producen (1988b p. 410). Aquí Hull explica que en su definición de selección queda excluida la deriva génica. Una entidad cuenta como interactor sólo si está funcionando como tal en el proceso en cuestión. Entonces, si los cambios en las frecuencias de replicación no son causados por las interacciones entre los interactores relevantes y sus ambientes, esos cambios no son resultado de la interacción. La deriva es replicación diferencial en ausencia de interacción. Hay replicación pero no interacción. Por lo tanto, no hay selección. Sin embargo, Hull olvida que si bien la deriva genética es un proceso estocástico, es decir, diferente de la selección en cuanto a que no necesariamente orienta la evolución hacia la adaptación, no puede decirse que no hay interacción con el ambiente.

Por ejemplo, en la formación de los demos puede tener que ver el ambiente en cuanto a que establezca barreras o limitaciones para la reproducción cruzada. Wright (1982) ha destacado que su modelo no funciona si la separación en demos semiendogámicos y la consecuente deriva genética no va acompañada de oportunidades ambientales. Como ejemplo sostiene que la radiación adaptativa (que posibilita la aparición de categorías altas como clases) sólo puede ocurrir si además de la conformación de demos genéticamente diferenciados hay condiciones ambientales cambiantes y favorables. En este sentido, Wright habla de interacción en la deriva génica.

A diferencia de Popper o de Toulmin, Hull no se compromete con un modelo de evolución estrictamente gradual; señala que la especiación puede ser saltacional. En este caso las especies no son en sí mismas linajes, sino que forman linajes a través de una secuencia de ancestros-descendientes. Puede ser el caso de que para organismos y en periodos particulares, las especies como entidades integradas por intercambio genético no existan. Al parecer, aquí Hull confunde la evolución filética con la evolución gradual y considera a la especiación sólo como un proceso saltacional. Sin embargo, puede haber evolución filética de tipo saltacional —la transformación en una generación de una especie en otra—, por ejemplo por poliploidía; y al contrario, la especiación no tiene que ser necesariamente un proceso saltacional; de hecho para el neodarwinismo es un proceso generalmente gradual.

Hull sostiene que todo lo involucrado en un proceso de selección y todo lo que resulta de la selección son entes espacio-temporales, individuos. Tanto replicadores como interactores son individuos no problemáticos. Para lograr las funciones que hacen deben tener duraciones finitas. Deben surgir y desaparecer. Los replicadores deben exhibir estructura y los interactores deben interactuar con sus ambientes como totalidades cohesionadas. Éstas son las características de los individuos (1988b, p. 411).

Lo anterior nos lleva al concepto de linaje: una entidad que persiste indefinidamente a través del tiempo en el mismo estado, o en un estado alterado como consecuencia de la replicación. Linaje es un concepto genealógico, una clase especial de entidad histórica espacio-temporal formada por series de replicación. Y en la medida en que la selección es operativa, cada linaje también se forma como resultado de la selección.

Los linajes son también individuos, pero de tipo especial. Para poder funcionar como replicadora, una entidad puede soportar mínimos cambios antes de dejar de existir. Para poder funcionar como interactora, una entidad puede soportar cambios considerables pero no indefinidos. Los linajes son peculiares en el sentido de que pueden cambiar indefinidamente en el tiempo. Entonces, cualquier entidad que puede funcionar como replicadora o como interactora no puede funcionar como linaje, y viceversa. Los linajes son continuos en el tiempo. También exhiben algo de continuidad, pero no tanta que no puedan cambiar [Ibidem].

Es evidente que, como afirma Hull, si una idea creada por un científico no es retomada por nadie, dicha idea quedará olvidada por lo menos hasta que alguien la rescate y vuelva a desarrollarla. Un caso ejemplar es el de Mendel (véase Ayala, 1977). Pese a lo importante de su descubrimiento y al brillante tratamiento que hace de un viejo problema, no es comprendido en su época. Sus ideas tienen que esperar más de treinta años para ser reconocidas por los creadores del mendelismo moderno. Queda clara la incapacidad del fundador de la genética para constituir un linaje conceptual; sin embargo, dicha incapacidad no impidió que, aunque con posteridad, la comunidad científica reconociera la importancia de sus ideas. La apreciación de la necesidad de que el conocimiento científico sea transmitido y el hecho de que ese tránsito del saber tiene semejanzas con la transmisión del material hereditario en los seres vivos lleva a Hull a introducir en la epistemología evolutiva los conceptos de replicación y vehículo.

De manera similar a como la información genética es transmitida casi sin cambio, la replicación conceptual, escribe Hull, es una cuestión de información que ha sido transmitida en gran medida intacta de vehículo físico a vehículo físico. Ciertos vehículos conceptuales son más efímeros que otros. La palabra hablada es extremadamente transitoria, las creencias humanas incorporadas en cerebros individuales pueden durar por periodos largos, pero la gente muere. Para que una creencia sobreviva, debe ser replicada. En libros y periódicos, las ideas encuentran un medio mucho más duradero; pasan a formar parte del mundo 3, diría Popper (1977), junto con las teorías y demás creaciones humanas. No obstante, aun cuando son publicadas pueden primero entrar en una serie de replicación y después ser olvidadas por generaciones, hasta que alguien más se tope con ellas para iniciar una nueva serie. Otra posibilidad que Hull encuentra,

es que pasen sin ser notadas, a la manera en que ciertos genes atávicos lo son, hasta que empiezan a funcionar otra vez (1988b, p. 436). Un ejemplo aquí sería el lamarckismo, que en innumerables ocasiones ha sido refutado y sin embargo vuelve a surgir.

El término “vehículo”, explica Hull, captura apropiadamente esa característica de las secuencias de replicación. Pero si la ciencia es un proceso de selección, también la interacción debe tener lugar. Es decir, las teorías tienen su propio ambiente. Puede decirse, en la lógica de Hull, que hay un ecosistema de teorías en el que unas interactúan con otras, lo que es parecido al mundo 3 de Popper. En este sentido los científicos no son sólo replicadores, es decir reproductores de las ideas; son también interactores, pues las ideas sufren cambios al pasar de uno a otro científico. Los científicos no son simples vehículos que transmiten ideas inmodificables.

Los cerebros de los científicos, sostiene Hull, pueden servir como vehículos para las secuencias de replicación, pero los científicos distan mucho de ser vehículos pasivos para tales secuencias. Sin científicos, ningún replicador conceptual puede ser probado, y las pruebas son esenciales para la ciencia. Frecuentemente hablamos acerca del sentido de las palabras y las frases, pero ni las palabras ni las frases significan nada. El significado lo da la persona, y cuanto decimos tiene un significado. Los científicos individuales son los agentes en el cambio científico. Porque los científicos no son simples transmisores de ideas, Hull encuentra el término “interactor” mucho más apropiado de aplicar a los científicos para esta función, que el de vehículo (1988b, p. 436).

En suma, concluye Hull este punto, la replicación conceptual es una cuestión de ideas que dan origen a ideas vía vehículos físicos, algunos de los cuales funcionan como interactores. Los replicadores son generados, re combinados y probados por los científicos cuando éstos interactúan con la porción relevante del mundo natural:

Porque veo un balón acelerarse cuando rueda abajo de un plano inclinado, empiezo a sostener creencias sobre el movimiento de bolas, sobre cómo ruedan abajo en el plano inclinado. Algo en el mundo no conceptual ha iniciado una secuencia de replicación en el mundo conceptual. Estas secuencias de eventos en el mundo no conceptual son el tipo de las conexiones causales que la ciencia

natural está diseñada para descubrir. Los científicos sociales estudian las conexiones perceptuales entre los organismos individuales y el resto del mundo, incluyendo otros organismos [1988b, p. 436].

Existen conexiones causales entre científicos. Las conexiones causales también existen entre los científicos y el resto de la sociedad. Ambos tipos de conexiones causales influyen en lo que los científicos creen. Para que la ciencia tenga las características que tradicionalmente se dice que tiene, no es necesario que este segundo tipo de influencia causal sea eliminada del todo. Lo que hace que la ciencia trabaje en la manera que lo hace es que los efectos de los intereses profesionales de los científicos coinciden suficientemente con los objetivos manifiestos de la ciencia. Es esta coincidencia lo que permite notar y vencer los efectos que otro tipo de influencia social tienen en su sistema de creencias. Este otro tipo de influencia social no es siempre del tipo que requiera ser “superado”, pero cuando lo es, la organización de la ciencia lo permite.

Hull no reconoce, o no discute, las diferencias entre el mundo de lo psicológico, el estado mental de un científico como individuo y el mundo de las teorías científicas. Su interés en el análisis de la influencia del mundo 2 en el mundo 3 lo lleva a dejar de lado la importancia de la autonomía, aun siendo ésta parcial, del mundo 3.

7. Replicación conceptual

De acuerdo con Hull, la similitud entre replicación genética y mémica está realizada por lo aparentemente adecuado que resulta hablar sobre la transmisión de información en ambas. En el análisis de la transmisión conceptual de la información surgieron muchos de los términos originales de esta temática. Desde que los científicos se empezaron a interesar por el estudio de la herencia se utilizaron algunos de esos términos de manera analógica. En este sentido Hull tiene razón, pues la información conceptual constituye el uso literal, mientras que el uso en el contexto genético es analógico y constituye una analogía adecuada.

Todo tipo de información requiere estructura, pero como señala Hull, no toda estructura en el mundo empírico puede contar como información sin que ese término sea disminuido en significación. Los fenómenos naturales no son información en sí mismos. “Los planetas viajan en elipses, los gases se expanden cuando se calientan, las moléculas son transportadas diferencialmente a través de membranas semipermeables, y los cristales constituyen formas regulares. Ninguna de estas regularidades cuenta como información en sentido estricto” (1988b, p. 437). El caso de los genes es diferente. Ahí la propia estructura cuenta como información, esto es, el orden de bases en las moléculas de DNA cuenta como información porque dicho orden expresa y señala el resultado de su actividad.

En suma, ningún fenómeno en sí mismo puede ser contado como información. Sólo la “interpretación” que los humanos y los animales que tienen alguna forma de lenguaje hacen de esos fenómenos cuenta como información y puede iniciar una secuencia de replicación conceptual, pero las entidades involucradas no cuentan ellas mismas como replicadores. Lo que es replicado es la idea sobre los fenómenos. Los organismos, concluye Hull, pueden aprender directamente del mundo en el que viven por interactuar con él, o indirectamente observando otros organismos. Aprender de la experiencia en el primer sentido puede iniciar una secuencia de replicación, pero no cuenta ella misma como replicación (1988b, p. 438).

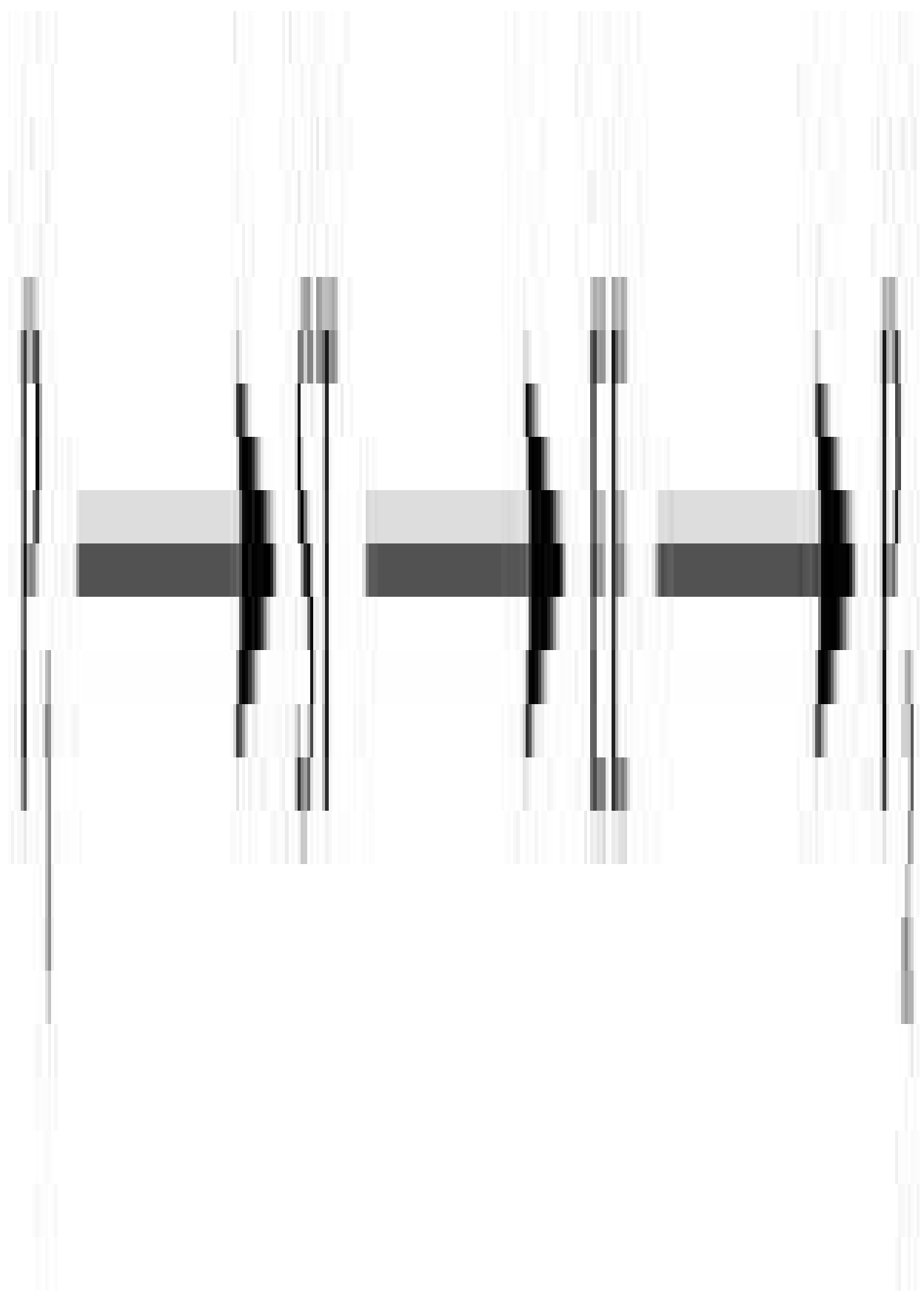
La replicación implica la transmisión de la información de un organismo a otro; no hay replicación si no hay lenguaje y, como ha señalado Popper (1988), se requiere, al menos, las capacidades de autoexpresión y señalización para considerar que hay lenguaje. La autoexpresión o función sintomática indica el estado de un organismo, estado que sólo puede reconocerse vía la señalización o función desencadenadora. Es decir, no admitimos que un síntoma es lingüístico a menos que supongamos que puede desencadenar una respuesta en otro organismo. Estas funciones, escribe Popper, son compartidas por animales y humanos. Pero hay dos funciones más que son exclusivas de la humanidad: las funciones descriptiva y argumentadora.

Aquí se acaba la analogía. Los genes no tienen equivalencia de estas funciones. Con la función descriptiva del lenguaje humano emerge la idea reguladora de verdad, la idea de una descripción que encaje con los hechos. Otras ideas reguladoras o evaluadoras son las de contenido de verdad y verosimilitud. La función argumentadora presupone la función descriptiva: los argumentos versan

fundamentalmente sobre descripciones desde el punto de vista de las ideas reguladoras de verdad, contenido y similitud (Popper, 1988 p. 118).

Son estas últimas funciones las que permiten iniciar una replicación conceptual en general, y en especial la replicación conceptual de carácter científico:

En la evolución de la función argumentadora del lenguaje, la crítica se convierte en el instrumento fundamental del desarrollo ulterior. El mundo autónomo de las funciones superiores del lenguaje se convierte en el mundo de la ciencia, con lo que el esquema originalmente válido tanto para el mundo animal como para el hombre primitivo [la siguiente ecuación]:



[P = problema; TT = teorías; EE = ensayo /error]

se transforma en el esquema del aumento del conocimiento mediante la supresión de errores en virtud de la crítica racional sistemática. Se transforma en el esquema de la búsqueda de la verdad y contenido mediante la discusión racional. Describe el modo en que salimos de nuestros cepos. Suministra una descripción racional de la emergencia evolutiva y de nuestra autotranscendencia por medio de selección y crítica racional [1988, p. 119].

En sus investigaciones (escribe Hull, 1988b, p. 438), los científicos aprenden la estructura del mundo empírico. Registran este conocimiento en un lenguaje de algún tipo. Esta caracterización de la regularidad natural cuenta como información, pero la regularidad misma no, sin hacer la noción de información vacía. El punto en el que trata de hacer hincapié, en cuanto a la información y secuencias de replicación, es el de que las regularidades naturales que a veces inician series de replicación no pueden contar como replicadoras en el mismo sentido que un país no puede contar como su propio mapa. Podría decirse que no son los hechos en sí mismos los que cuentan como replicadores, sino la interpretación de estos hechos. Justamente como una serie de analogías presupone uso literal, la información debe ser información sobre algo.

Como Hull señala, cada científico tiene sólo unas décadas para contribuir a la ciencia. El tiempo no puede perderse revisando cada afirmación antes de aceptarla. Aceptar sin comprobar hace el progreso científico posible, pero también incrementa la probabilidad de que algunas de las afirmaciones aceptadas sean erróneas. Sin embargo, uno no debe olvidar que el conocimiento directo, personal, está también lejos de ser infalible. Algunos de los puntos de vista equivocados que los científicos acaban sosteniendo son de su propia elaboración. Si el conocimiento adquirido es de primera, segunda, o tercera mano, puede ser siempre equivocado. Si la ciencia requiriera infalibilidad o certeza absoluta, habría problemas. Podemos estar felices de que no es así (p. 439). No es sólo que la ciencia no tenga que ser infalible; es también su carácter social, en especial, el carácter social del método científico. La falsación social de las teorías posibilita

que sea la comunidad científica la que continuamente evalúe el conocimiento dando grados de libertad al científico individual al respaldar determinados conocimientos. Esto no niega la importancia que ha tenido en la ciencia el cuestionamiento individual de determinadas teorías aceptadas por dicha comunidad.

En la discusión de la transmisión de la información se toman los lenguajes humanos como paradigmas y el código genético como análogo. El código genético es como el lenguaje humano en tanto que igual que éste permite la transmisión de determinado tipo de información. En cambio, al discutir los procesos de selección, la prioridad se revierte: los cambios en las frecuencias génicas son el paradigma y los cambios conceptuales el análogo. El cambio conceptual en ciencia es, según los que sustentan algún tipo de epistemología evolucionista, análogo a la evolución biológica basada en genes, es decir, aquí el paradigma es lo biológico.

Si bien es cierto que en la analogía entre código genético e información humana el modelo original es el lenguaje humano, no lo es si hablamos de evolución de ambos; esto es, aun con respecto a la información, cuando Hull habla de su modificación en el tiempo, utiliza los conceptos biológicos. Así, cuando se habla de evolución del lenguaje humano y del conocimiento se vuelve a utilizar como modelo la evolución biológica. Al parecer, aunque la idea misma de evolución surgió primero en el análisis de la transformación de la sociedad (empleada entre otros por Antoine Condorcet y Auguste Comte), el espectacular y productivo avance que ha tenido en biología ha ocasionado que hoy la evolución biológica sea la noción paradigmática que se utiliza analógicamente para explicar otros casos de evolución.

Conclusiones

Diversos autores han criticado la intención de los epistemólogos evolucionistas al realizar esta analogía. Hull ha resumido y adelantado respuestas a algunas de las principales objeciones; éstas serían las siguientes: 1) que la evolución sociocultural ocurre mucho más rápido que la biológica; 2) que las entidades seleccionadas en evolución biológica son atomísticas, mientras aquellas seleccionadas en la evolución conceptual no lo son; 3) que la evolución biológica es casi siempre biparental, mientras que la evolución sociocultural raramente lo es; 4) que el intercambio entre linajes es más común en la evolución conceptual que en la biológica; 5) que la evolución sociocultural es lamarckiana (las variaciones son dirigidas, los científicos modifican las teorías con la intención de mejorarlas), y en cambio la biológica es darwiniana, esto es, weismanniana (las variaciones surgen al azar); 6) que la evolución conceptual, al menos en algunas áreas en ciencia, es progresiva, mientras la evolución biológica no lo es; y 7) que la evolución sociocultural es en alguna medida intencional, mientras la biológica no lo es. Nosotros agregaríamos: 1) que hay un mundo de ideas de donde los científicos pueden tomarlas y combinarlas con las ideas propias para construir teorías, y no existe algo equivalente en el nivel genético; 2) los organismos pueden perecer y las especies extinguirse cuando están mal adaptados (por selección natural) o por azar (deriva genética), en tanto que las ideas no se extinguen: siempre hay posibilidad de que alguien las resucite. Más adelante volveremos a estos dos puntos.

Acerca de las diferencias en las tasas de cambio evolutivo, esto es, el hecho de que la velocidad de evolución es mayor en la evolución conceptual que en la biológica, Hull señala que esto sería válido si se hablara sólo en términos de tiempo físico. Pero considera que el tiempo físico no es la medida más adecuada para medir el cambio, sea conceptual o biológico. El tiempo generacional, afirma, es también relevante. Los biólogos desde Huxley hasta Bonner han demostrado que la noción de una generación singular en plantas y animales no es tan directa como uno podría pensar desde la perspectiva de nuestro sesgo de vertebrados, pero el mundo vivo incluye áfidos, corales, etc. Por esta razón un parámetro relevante en los modelos de biología de poblaciones es el número de generaciones. Cada instancia de selección actúa en el tiempo de generación del organismo involucrado, pues mientras se requieren unos pocos segundos para

que se repliquen ciertos virus, hay una cuenta de muchos años en el caso de plantas centenarias (1988b, p. 441).

Hull analiza las interacciones entre científicos y en este respecto sus planteamientos pueden ser válidos. Lo que es discutible es que del estudio del comportamiento de las comunidades científicas infiera la estructura de la propia ciencia. No puede igualarse ciencia a comunidad científica. Aunque están obviamente ligadas, no pueden confundirse. Del comportamiento egoísta de los científicos no puede concluirse “que la ciencia es egoísta” (1988b, p. 432). Una cuestión evidente es que la evolución de los seres vivos es resultado de la selección natural de variantes hereditarias. La selección natural determina qué organismos serán los triunfadores en la lucha por la existencia (entendida como la suma de todas las interacciones bióticas y abióticas), favoreciendo su sobrevivencia y reproducción. El equivalente en evolución conceptual sería que las ideas o teorías participaran en una lucha por la existencia en la que las ideas más adecuadas —entendidas en función de su interacción con la realidad, de su capacidad de representar la parte de la naturaleza que tratan de explicar, es decir de su cercanía a la verdad— fueran las que se reprodujeran con mayor éxito. La teoría de Hull introduce un criterio cuantitativo en la evaluación de las teorías científicas, pero no necesariamente las teorías más aceptadas son las más acertadas. Resulta obvio en ciertas circunstancias, como lo fue el lisenkoísmo en la URSS de los tiempos de Stalin; pero, también en los ejemplos que utiliza Hull, ¿cómo podríamos considerar más cercano a la verdad el cladismo o el feneticismo sólo porque uno tenga más adeptos que otro, o dicho en términos de Hull, porque uno de los creadores de dichos sistemas (Sokal o Hennig) tenga mayor adecuación individual inclusiva?

El problema empieza con la delimitación de la comunidad científica, pues fuera de ella las ideas pueden estar en condiciones de replicación muy diferentes. Por ejemplo, el creacionismo tiene muchos millones de adeptos, probablemente más que la teoría de la evolución. La cantidad de seguidores lo haría más adecuado siempre que la analogía de Hull acepte que la adecuación individual inclusiva de una teoría es similar a la adecuación individual inclusiva de un organismo. Esto parece trivial, pero es muy importante. Los organismos que sobreviven y dejan mayor descendencia generación tras generación son los más aptos. Pero para Hull, respecto a las teorías no basta con que se reproduzcan, tienen que hacerlo en un ámbito especial; tan especial, que entonces la analogía ya no es válida, porque, en todo caso, la correspondencia analógica tiene que ser consistente en ambos sentidos. ¿Cuál sería el equivalente de organismos que siendo los que más

descendencia dejan generación tras generación no son sin embargo los más aptos? Decir que no cuenta que el creacionismo tenga una adecuación inclusiva tan grande porque no es aceptado entre los científicos, no es suficiente. Los organismos que no son adecuados perecen, pero las ideas científicas pueden sobrevivir fuera de la ciencia (una vez el creacionismo fue paradigma de la comunidad científica, por ejemplo de la Sociedad Linneana, antes de la aceptación del darwinismo. Es decir, el creacionismo era una idea científica aceptada por Linneo, Cuvier, Lyell y el joven Darwin).

Lo anterior es válido analizando el modelo de Hull desde una perspectiva darwinista general. Visto desde el punto de vista del modelo de Wright, en el cual Hull afirma sustentarse, hay otras observaciones importantes. Wright considera el caso de una gran especie subdividida en muchas razas locales pequeñas, el equivalente de los demos conceptuales, cada una cruzándose en gran medida internamente, pero sólo ocasionalmente con las otras razas. El campo de las combinaciones genéticas ocupadas por cada una de estas razas locales cambia continuamente en forma no adaptativa (con la excepción de que haya diferencias locales en las condiciones de la selección). La tasa de movimiento puede ser muy grande. Con muchas razas locales, cada una esparciéndose en un campo considerable y moviéndose relativamente rápido en el campo más general en torno al pico control, las probabilidades de que una al menos pueda caer en la influencia de otra cumbre son buenas. Si es una cumbre más alta, la raza que la ocupa se expandirá en número, y por entrecruzamiento con las otras jalará a toda la especie hacia la nueva posición. La adaptación promedio de la especie avanza entonces por medio de selección intergrupar, un proceso enormemente más efectivo que la selección intragrupal. La conclusión es que la subdivisión de una especie en razas locales provee el mecanismo más efectivo de ensayo y error en el campo de las combinaciones genéticas. En la evolución conceptual esto tiene sentido: un grupo puede, con sus éxitos conceptuales y de carácter social, ir llevando al resto de la comunidad a un nuevo paradigma.

En este sentido la analogía de Hull funciona, pues muestra que la subdivisión en grupos, a partir de afinidades teóricas y metodológicas, favorece el desarrollo de la ciencia. El interés en que la concepción del grupo se extienda al resto de la comunidad científica y la búsqueda de reconocimiento, son estímulos para la producción colectiva del saber. Colaboración interna en cada uno de los grupos y competencia entre los alternos propician el estilo social que caracteriza a la producción científica actual.

Sin embargo, es claro para Wright que este mecanismo de aislamiento de una porción de la población podrá resultar relativamente rápido en la diferenciación específica que no es necesariamente adaptativa. Esta idea de Wright no es explicada en la concepción de Hull (no tendría que hacerlo si no dijera que se basa en este modelo). En todo caso, ¿cómo explicar la aparición de teorías que no están adaptadas a la realidad, es decir, que no explican nada pero que sobreviven? Tal vez la analogía pudiera ser que es posible la aparición de teorías por azar, sin que un grupo tenga un determinado objetivo, pero que cualquiera de esas teorías explique cierto fenómeno. Se ha señalado antes: parte de esta confusión se debe a que Hull no analiza las diferencias entre el comportamiento de la comunidad científica y el mundo relativamente autónomo de las teorías.

Recordemos que para Wright, la competencia intergrupal efectiva que tiene probabilidad de conducir a avances adaptativos puede darse entre especies más que entre razas. ¿Aceptaría esto Hull en la evolución conceptual? El equivalente conceptual sería afirmar que los cambios realmente significativos, en el sentido de que provoquen rupturas epistemológicas o cambios de paradigmas, son más a nivel de disciplinas. Es decir, hablar de revoluciones científicas estaría más acorde con la concepción de Wright.

Las diferencias entre procesos determinísticos, como la selección natural, y estocásticos, como la deriva génica, no quedan claros en el modelo de evolución conceptual de Hull. La selección natural es un fenómeno determinístico.

Puede decirse que la selección natural es un proceso teleológico en dos formas. Primero, la selección natural es un proceso mecanístico dirigido hacia un fin cuyo resultado es el incremento de la eficiencia reproductiva. La adecuación reproductiva es, entonces, el resultado u objetivo de la selección natural. Segundo, la selección natural es teleológica en el sentido de que produce y mantiene órganos y procesos dirigidos hacia un fin, cuando las funciones o los estados finales realizados por el órgano o el proceso contribuyen a la adecuación reproductiva del organismo.

Sin embargo, el proceso de selección natural no es teleológico en un sentido diferente. La selección natural no tiende de ninguna manera hacia la producción de tipos específicos de organismos o hacia organismos que tengan ciertas propiedades específicas [Ayala, 1970].

No sólo porque Hull adopte un modelo particular de evolución debería explicar el papel del azar en la evolución conceptual. En general, de acuerdo con la teoría moderna de la evolución, el azar ejerce un papel central en diferentes momentos del proceso evolutivo. Una analogía con esta teoría requiere este tipo de discusiones. Aun sin esperar que se haga una aplicación literal del evolucionismo biológico al evolucionismo conceptual, sí sería necesario dar respuesta a una serie de interrogantes que surgen en la construcción de la analogía.

Otro de los problemas, se ha dicho antes, es que Hull no distingue explícitamente los niveles de evolución conceptual. Cuando habla de “demos conceptuales” podría pensarse que están constituidos por teorías, métodos, etc., de forma tal que un demo conceptual fuera el equivalente de un paradigma en el sentido de Kuhn, o un programa de investigación en el sentido de Lakatos (1972). Sin embargo, más bien se trata de un grupo de científicos que defienden las mismas teorías o los mismos métodos (de clasificación por ejemplo); pero un grupo que incluye a quienes aun no estando de acuerdo con las ideas centrales de su colectividad, apoyan de alguna manera la elaboración o difusión de sus teorías. La selección se dará en estos dos niveles, y los científicos serán seleccionados de acuerdo con las teorías que sostienen. Pueden o no ser reconocidos, apoyados, premiados, etc., en función de que sus concepciones sean apoyadas por la comunidad científica. Pero mientras los científicos mueren o sus preferencias teóricas cambian, las teorías siguen ahí, formando parte del mundo 3, al que pueden tener acceso los demás científicos vía libros, videos, computadoras, etcétera. Es decir, hay cierta independencia entre científicos y teorías. Las teorías no mueren con los científicos. Los genes sí desaparecen con los organismos. Los genes, a diferencia de las teorías, no tienen existencia ni remotamente autónoma de los organismos. Para que la analogía fuera válida tendría que haber un mundo de genes al que los organismos tuvieran acceso de acuerdo con sus necesidades. Tal como lo hacen los científicos con las ideas.

Una última crítica, pero tal vez la más importante, es ésta: Hull construye un modelo de desarrollo de la ciencia generalizando un caso muy particular, el del desarrollo de la taxonomía. Este caso es particular en primer lugar porque la construcción de sistemas de clasificación no es igual a la construcción de teorías. De hecho, un debate importante entre los taxónomos que estudió Hull fue siempre el papel que podía desempeñar una concepción teórica en el análisis de

las clasificaciones. Muchos de ellos rechazan la idea de tener en mente una teoría al organizar a los seres vivos, ya que de alguna manera privilegian patrones sobre procesos. Es igualmente importante organizar y explicar lo vivo, pero los métodos para hacerlo no son iguales. Por ejemplo, las hipótesis taxonómicas son falsificables dentro de los límites de una concepción sistemática, pero no son refutables en el sentido en que sí lo son las teorías científicas en general. Es decir, dado un esquema de clasificación es posible plantear determinada organización de un grupo de seres vivos, pero es refutable una clasificación que resulta de una concepción cladista con lineamientos de la epistemología feneticista, y aunque se hiciera, nunca un cladista consideraría refutada su hipótesis a partir de criterios de otra concepción taxonómica. Esto hace a la sistemática una actividad muy especial con características poco comunes con el resto de la ciencia. En todo caso habría que discutir la validez de pasar de un terreno a otro sin analizar las particularidades.

Esto puede dar a las comunidades de taxónomos ciertas particularidades que no tienen por ejemplo los biólogos evolucionistas, para quienes los procesos son lo fundamental y los patrones lo secundario. Mishler (1990) también llama la atención de Hull sobre las diferencias que éste establece entre biología sistemática y biología evolucionista.

El detallado estudio que Hull realizó sobre los taxónomos lo llevó a privilegiar la importancia de la constitución de subgrupos en función de preferencias conceptuales, sobre los propios programas de investigación. Con base en la noción biológica de que “la selección sólo puede tener lugar cuando las entidades seleccionadas están relacionadas por descendencia común”, admite haber tratado “los grupos de investigación como primarios y los programas de investigación conceptualmente definidos como secundarios” (1988b, p. 236). Basar un modelo de evolución conceptual en una clasificación de científicos es dar mayor peso a los patrones que a los procesos.

¹ El término demo fue introducido en la biología por Sewall Wright (1932). Se refería al caso en el que una especie está subdividida en muchas pequeñas poblaciones o razas locales. Los individuos de cada demo tienen mayor probabilidad de reproducirse con otro miembro de su demo que con miembros de otros demos.

² Los feneticistas son los taxónomos que utilizan como metodología de clasificación la taxonomía fenética. Esta escuela ha introducido métodos cuantitativos en la evaluación del grado de similitud entre especies y para agrupar especies y taxa más altos. Una idea central en esta corriente es que la práctica cuantitativa en la sistemática elimina el carácter subjetivo y la arbitrariedad en la delimitación de los grupos taxonómicos.

³ Utilizamos el término genérico de “cladistas” para referirnos tanto a Willi Hennig, fundador de la sistemática filogenética (Hennig, 1966) y a sus seguidores más ortodoxos, como a los cladistas transformados, entre éstos Nelson y Platnick. El nombre de sistemática filogenética proviene de una de sus nociones fundamentales, a saber, que las clasificaciones deben basarse exclusivamente en las relaciones genealógicas. Aunque Wiley (1981, p. 6) argumenta convincentemente en contra del uso de este término, nosotros estamos siguiendo la nomenclatura de Hull.

⁴ Robert Sokal es fundador de uno de los grupos que iniciaron el uso de métodos de cómputo en la taxonomía fenética.

⁵ Gareth Nelson es uno de los más importantes seguidores de la sistemática filogenética. Como se verá páginas adelante, se separó de dicha escuela y constituyó, con otros taxónomos, entre ellos Norman Platnick, lo que se conoce como cladismo transformado.

⁶ Por ejemplo plesiomorfía (un carácter ancestral), apomorfía (un carácter derivado), sinapomorfía (un carácter derivado, es decir, una apomorfía que se encuentra sólo entre los descendientes del ancestro en el que apareció por vez primera dicho carácter).

⁷ Taxón es un grupo de organismos de cualquier rango taxonómico suficientemente distinto para ser nombrado y asignado a una categoría (especie, familia, clase, etc.) definida. Su plural es taxa.

⁸ Una determinada estructura es homóloga a otra si ambas tienen un origen evolutivo común, aunque puedan ser similares o diferentes en morfología o en función. En cambio, se habla de homoplasias cuando se trata de la misma estructura y forma de desarrollo, pero sin la existencia de un origen evolutivo común.

⁹ Se habla de poblaciones simpátricas cuando coexisten en una misma localidad: su distribución geográfica es común o se traslapa. Las poblaciones alopátricas están separadas por barreras geográficas.

¹⁰ Locus es la posición de un gene dentro del cromosoma.

¹¹ Alelo es cada una de las formas, generalmente dos, que se alternan en un gene.

¹² Una población panmíctica es aquella donde los cruzamientos se dan al azar. El caso contrario son las poblaciones en las que los cruzamientos se efectúan con base en determinada estructura social jerárquica.

¹³ La homocigosis caracteriza a un organismo que tiene dos alelos idénticos en sus rasgos hereditarios, sean esos alelos dominantes o recesivos. Su contrario, la heterocigosis, determina a los organismos de dos alelos diferentes.

¹⁴ El término “meme” fue creado por Richard Dawkins (1986) para referirse al análogo conceptual del gene. Los memes son patrones de información que pueden viajar sólo en cerebros, o en los productos elaborados artificialmente por el cerebro —libros, computadoras—. Pueden también propagarse de cerebro a cerebro, de cerebro a libro, de cerebro a computadora, de computadora a computadora. Y así como pueden propagarse, pueden mutar. Cabe decir que son unidades de evolución cultural.

¹⁵ División celular en la que se forman cuatro células reproductoras o gametos, cada una con la mitad de los cromosomas de la célula madre.

Bibliografía recomendada

A los lectores interesados en continuar con el tema de la epistemología y la evolución, y en general a quienes deseen abundar en la teoría de la evolución y sus implicaciones filosóficas, les recomendamos los siguientes libros:

Ayala, F. J. (1994), *La naturaleza inacabada*, Biblioteca Científica Salvat. En la primera parte de este libro, Ayala introduce los conceptos básicos de la teoría de la evolución. En la segunda plantea varios temas biológicos que actualmente son motivo de controversia, como el caso de las implicaciones sociales de la ingeniería genética.

Depew, D. J. y B. H. Weber (1995), *Darwinism Evolving*, MIT, Massachussets. Una de las más importantes y actualizadas obras sobre la historia del evolucionismo. Depew y Weber inician el libro con una aproximación a los orígenes de las ideas evolucionistas y concluyen con el análisis de una de las ramas más recientes de la biología, la biología molecular. Sus previsiones sobre el futuro del darwinismo son por demás interesantes y bien sustentadas.

Munz, P. (1993), *Philosophical Darwinism. On the Origin of Knowledge by Means of Natural Selection*, Routledge, Londres y Nueva York. En este libro Munz plantea la necesidad de que los filósofos tomen en serio el hecho de que el ser humano es un ente biológico, resultado de la evolución. Es decir, deberían considerar las consecuencias que tiene el carácter biológico del ser humano sobre la filosofía. Si lo hicieran, sostiene, entenderían que una de esas consecuencias es que todo el conocimiento producido es a priori, y por lo tanto establecido hipotéticamente por mutaciones al azar y por retención sucesiva, no por observación e inducción inteligente y que por ello es explicable, entonces, a partir del darwinismo.

Plotkin, H. (1994), *Darwin Machines and the Nature of Knowledge*, Harvard University Press. Con este sugerente título Plotkin aborda el apasionante tema de la evolución del conocimiento. En oposición a la idea moderna de que el conocimiento es algo que deriva de la experiencia, Plotkin trata de mostrar que lo que conocemos es lo que nuestra naturaleza nos permite conocer, lo que nuestros instintos nos dicen que debemos conocer: la inteligencia como una extensión del instinto. A partir de su propia idea del darwinismo universal (frase ésta de Dawkins) el autor nos explica que lo que nos hace humanos está profundamente enraizado en nuestra biología y cómo el conocimiento es una adaptación, y a la vez toda adaptación es una forma de conocimiento.

Ruse, M. (1988), *Philosophy and Biology Today*, State University of New York. Ruse, uno de los más importantes líderes en la filosofía de la biología, analiza en este libro tres grandes temas de la biología moderna desde la filosofía: la teoría de la evolución, la genética de poblaciones y la biología molecular. Su objetivo central consiste en dar luces sobre lo que la biología puede decir acerca de la epistemología y la ética. Se trata de una obra accesible tanto para filósofos como para biólogos.

Smocovitz, V. B. (1996), *Unifying Biology. The Evolutionary Synthesis and Evolutionary Biology*, Princeton University Press, Princeton, New Jersey. El proyecto que Smocovitz se plantea en este libro es el examen de la historia de una de las más grandes narrativas de la cultura occidental: la teoría de la evolución y sus intentos de proveer de coherencia y unidad a la más heterogénea de las ciencias, la biología. *Unifying Biology* muestra un enfoque cultural de la historia de la ciencia, que ve a ésta como una actividad discursiva contextual, que evita segregar los factores internos de los externos, que intenta responder y respetar la demanda de la etnografía postcolonial de reconocer y dar voz a la perspectiva de los actores históricos; que, por último, intenta desarrollar una teoría de la ciencia y del conocimiento como una experiencia tan expresiva como estética y emotiva que la autora denomina “epistemología estética”.

Sober, E. (1993), *Philosophy of Biology*, Oxford University Press, Oxford, USA. Sober se encuentra entre el grupo de filósofos de la biología más destacados y que mayor repercusión han tenido en la propia biología. En este libro nos brinda una excelente aproximación a la estructura de la teoría evolutiva y a su significación explicativa, al mismo tiempo que considera la evidencia que la sostiene. Discute temas de eterno interés, como el creacionismo, la sociobiología y la controversia entre naturaleza y crianza. Su análisis sobre adecuación biológica (fitness) y sobre las unidades de evolución son ya parte de los textos clásicos. Indispensable para los interesados en la teoría de la evolución.

Tort, P. (1997), *Darwin et le Darwinisme*, Quadrige, Presses Universitaires de France. Este libro es interesante porque Tort muestra que a pesar del nombre, el darwinismo social no se origina con la obra de Darwin. En su obra, nos dice Tort, Darwin no es racista ni está de acuerdo con los planteamientos de eugenesia de su primo Galton. Por el contrario, Darwin es antirracista y difiere de las concepciones neomalthusianas que algunos de sus contemporáneos sostuvieron.

Referencias

Avery, O. T., C. M. MacLeod, y M. McCarthy (1944), "Studies on the chemical nature of the substance inducing transformation of pneumococcal types. Induction of transformation by a deoxyribonucleic fraction isolated from pneumococcus Type III", en *J. Experimental Medicine* 79: 137-158.

Ayala, F. J. (1968), "Biology as an autonomous science", en *American Scientist* 56: 207-221.

—— (1970), "Teleological explanations in evolutionary biology", en *Philosophy of Science* 37: 1-15.

—— (1977), "Philosophical issues", en Th. Dobzhansky, F. J. Ayala, G. L. Stebbins y J. Valentine (comps.), *Evolution*, Freeman, San Francisco, California, pp. 474-516.

—— (1980), "Aspectos filosóficos", en Th. Dobzhansky, F. J. Ayala, G. L. Stebbins y J. Valentine (comps.), *Evolución*, Omega, Madrid, pp. 472-513.

—— (1982), "Beyond Darwinism? The challenge of macroevolution to the synthetic theory of evolution", en *Philosophy of Science Association* 2: 275-291.

—— (1994), "On the scientific method, its practice, and its pitfalls", en *History and Philosophy of Life Sciences* 16.2: 205-240.

Begon, M., J. L. Harper, y C. R. Townsend (1986), *Ecology: Individual, Populations, and Communities*, Sinauer Associates, Sunderland, Mass.

Bradie, M. (1986), "Assessing evolutionary epistemology", en *Biology and Philosophy* 1: 401-469.

—— (1990), "The Evolution of scientific lineages", en *Philosophy of Science Association* 2: 245-254.

Brooks D. R. y D. A. McLennan (1991), *Phylogeny, Ecology, and Behavior*, University of Chicago Press, Chicago.

Brundin, L. (1968), "Application of phylogenetic principles in systematic and evolutionary theory", en T. Orvig (comp.), *Current problems of lower vertebrate phylogeny*, Wiley, Nueva York, pp. 471-495.

Bullen, K. E. (1976), "Wegener, Alfred Lothar", en *Dictionary of Scientific Biography*, vol. XIV, Scribner's Sons, Nueva York, pp. 214-217.

Burnet, M. (1957), "A modification of Jerne's theory of antibody production, using the concept of clonal selection", en *Australian Journal of Science* 20: 67-69.

—— (1959), *The Clonal Selection Theory of Acquired Immunity*, Vanderbilt University Press, Nashville, Tennessee.

Cairns, J. (1963), "The chromosome of *Escherichia coli*", en Cold Spring Harbor Symposia on Quantitative Biology 28: 43-46.

Campbell, D. T. (1960), "Blind variation and selective retention in creative thought and in other knowledge processes", en Psychological Review 67: 380-400.

—— (1974), "Evolutionary epistemology", en P. A. Schilpp (comp.), The Philosophy of Karl Popper, Vol. I. Open Court, La Salle, Illinois. pp. 413-463.

—— (1983), Variación injustificada y retención y retención selectiva en los descubrimientos científicos, en F. J. Ayala y Th. Dobzhansky (comps.), Estudios sobre la Filosofía de la Biología, Ariel, Barcelona, pp. 188-217.

Cole, J. R. y S. Cole (1973), Social Stratification in Science, University of Chicago Press, Chicago.

Darwin, C. (1958), The Autobiography of Charles Darwin (1809-1882), N. Barlow (comp.), Collins, Londres.

—— [1859] (1979), On the Origin of Species, A facsimile of the first edition. Harvard University Press, Cambridge, Massachusetts.

—— (1871), The Descent of Man and Selection in Relation to Sex, (2ª ed. 1889), Murray, Londres.

—— (1960), Darwin's notebooks on transmutation of species, G. De Beer (comp.), Bull. Brit. Mus., 2: 23-200.

Darwin, F. (1903), More Letters of Charles Darwin, vol. 1, Murray, Londres, p. 195.

Dawkins, Richard (1986), The Blind Watchmaker, Norton Co., Nueva York.

De Beer, G. (1964), Charles Darwin, A Scientific Biography, Doubleday, Garden City, Nueva York.

Dobzhansky, Th. (1937), Genetics and the Origin of Species, Columbia University Press, Nueva York, 2^a ed. (1951).

—— (1973), "Nothing in biology makes sense except in the light of evolution", en American Biology Teacher 35: 125-129.

Donoghue, M. (1990), "Sociology, selection, and success: a critique of David Hull's analysis of science and systematics", en Biology and Philosophy 5: 459-472.

Dupré, J. (1990), "Scientific pluralism and the plurality of the sciences: comments on David Hull's Science as a Process", en Philosophical Studies 60: 61-76.

Edelman, G. M. (1983), "El problema del reconocimiento molecular por un sistema selectivo", en F. J. Ayala y Th. Dobzhansky (comps.), Estudios sobre la filosofía de la biología, Ariel, Barcelona. pp. 75-88.

Ghiselin, M. T. (1969), The Triumph of the Darwinian Method, University of California Press.

Gould, S. J. (1977), "The return of hopeful monsters", en Natural History 86: 22-30.

—— y N. Eldredge (1977), "Punctuated equilibria: the tempo and mode of evolution reconsidered", en Paleobiology 3: 115-151.

—— (1980), "Is a new and general theory of evolution emerging?", en Paleobiology 6: 119-130.

—— (1982), "The meaning of punctuated equilibrium and its role in validating a hierarchical approach to macroevolution", en R. Milkman (comp.), Perspectives on Evolution, Sinauer Assoc., Massachusetts, pp. 83-104.

Griffin, B. C. y N. Mullin (1972), "Coherent social groups in scientific change", en Science 177: 959-964.

Hamilton, W. D. (1964), "The genetical theory of social behavior", en Journal of Theoretical Biology 7: 1-51.

Haldane, J. B. S. (1932), *The Causes of Evolution*, Longman, Londres y Nueva York.

Hennig, W. (1966), *Phylogenetic Systematics*, University of Illinois Press, Urbana.

—— (1968), *Elementos de una Sistemática filogenética*, Eudeba, Buenos Aires.

Herbert, S. (1977), “The place of Man in the Development of Darwin’s theory of Transmutation. Part II”, en *Journal History of Biology* 10: 155-227.

Hull, D. (1973), *Darwin and His Critics*, Harvard University Press, Cambridge, Massachusetts.

—— [1978] “Altruism in science: A sociobiological model of cooperative behavior”, en D. Hull, *The Metaphysics of Evolution*, State University of New York Press, Albany, Nueva York (1989).

—— (1988), “A mechanism and its metaphysics: an evolutionary account of the social and conceptual development of science”, en *Biology and Philosophy* 3: 125-155.

—— (1988), *Science as a Process. An Evolutionary Account of the Social and Conceptual Development of Science*, University of Chicago Press, Chicago y Londres.

—— (1990), “Conceptual selection”, en *Philosophical Studies* 60: 77- 87.

—— (1992), “An evolutionary account of science: a response to Rosenberg’s critical notice”, en *Biology and Philosophy* 7: 229-236.

Jacob, F. (1988), *The Statue Within: An Autobiography*, Basic Books, Nueva York, pp. 224-225.

Jerne, N. K. (1955), “The natural selection theory of antibody formation”, en *Proc. Natl. Acad. Sci. USA* 41: 849-857.

—— (1966), “The natural selection theory of antibody formation; ten years later”, en J. Cairns et al. (comps.), *Phage and the Origins of Molecular Biology*, Cold Spring Harbor, Nueva York. pp. 301- 312.

—— (1973), “The immune system”, en *Scientific American* 229: 52- 60.

Kimura, M. (1983), *The Neutral Theory of Molecular Evolution*, Cambridge University Press, Cambridge, Massachusetts.

Koertge, N. (1990), “The function of credit in Hull’s evolutionary model of science”, en *Philosophy of Science Association* 2: 237-244.

Kohn, D. (1980), "Theories to work by: rejected theories, reproduction and Darwin's path to natural selection", *Studies History Biology* 4: 67-170.

Kuhn, T. (1962), *The Structure of Scientific Revolutions*, University of Chicago Press, Chicago.

—— (1975), "Lógica del descubrimiento o psicología de la investigación", en I. Lakatos y A. Musgrave (comps.), *La Crítica y el Desarrollo del Conocimiento*, Grijalbo, Barcelona y México, pp. 81-111. — (1982), *La tensión esencial*, Fondo de Cultura Económica, México. Versión original: *The Essential Tension: Selected Studies in Scientific Tradition and Change*, Chicago University Press, Chicago, 1977.

—— (1983), *La estructura de las revoluciones científicas*, Fondo Cultura Economica, México, 319 pp.

Lakatos, I. (1968), "Criticism and the Methodology ah Science Research Programmes", en *Proceedings of the Aristotelian Society*, 69: 149-186.

—— (1974), "Popper on Demarcation and Induction", en Schilpp (comp.), *The Philosophy of Sir Karl Popper*, La Salle, Open Court, pp. 241-73.

—— (1975a), "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*, Grijalbo, Barcelona y México, pp. 203-343. Versión original: "Falsifications and the methodology of scientific research programs", en I. Lakatos y A. Musgrave (comps.), *Criticism and the Growth of Knowledge*, Cambridge University Press, Cambridge, 1970, pp. 91-196.

—— (1975b), “La historia de la ciencia y sus reconstrucciones racionales”, en I. Lakatos y A. Musgrave (comps.), *La crítica y el desarrollo del conocimiento*, Grijalbo, Barcelona y México, pp. 455-509. Versión original: “History of science and its rational reconstruction”, en R. C. Buck y R. S. Cohen (comps.), *Boston Studies in the Philosophy of Science*, vol. 8, Reidel, Dordrecht, 1972, pp. 91-135.

—— (1983), *La metodología de los programas de investigación científica*. Alianza Universidad, Madrid.

Lakatos, I. (1987), *La historia de la ciencia y sus reconstrucciones racionales*, Tecnos, Madrid.

Lecourt, D. (1981), *L'ordre et les jeux. Le positivisme logique en question*. Grasset, París.

Lehninger, A. (1982), *Principles of Biochemistry*, Worth Publishers, Nueva York.

Limoges, C. (1976), *La selección natural*, Siglo XXI, México.

Masterman, M. (1975), “La naturaleza de los paradigmas”, en I. Lakatos y A. Musgrave (comps.), *La crítica y el desarrollo del conocimiento*, Grijalbo, Barcelona y México, pp. 159-201.

Mayr, E. (1963), *Animal Species and Evolution*, Cambridge University Press, Cambridge.

—— (1964), *Introducción a C. Darwin On the Origin of Species*; facsímil de la primera edición, Harvard University Press, Cambridge, Massachusetts.

—— (1982), *The Growth of Biological Thought*, Harvard University Press, Cambridge, Massachusetts.

Medawar, P. B. (1967), *The Art of the Soluble*, Methuen, Londres.

Medvedev, Z. A. (1969), *The Rise and Fall of T. D. Lysenko*, I. M. Lerner (comp.). Columbia University Press, Nueva York.

Merton, R. K. 1973 *The Sociology of Science*, University of Chicago Press, Chicago.

Messelon, M. y F. Stahl (1958), "The replication of DNA in *Escherichia coli*", en *Proc. Natl. Acad. Sci. USA* 44: 671-682.

Mishler, B. (1990), "Phylogenetic analogies in the conceptual development of science", en *Philosophy Science Association* 2: 225-235.

—— y R. N. Brandon (1987), "Individuality, pluralism, and the phylogenetic species concept", en *Biology and Philosophy* 2: 397- 414.

Nagel, E. (1961), *The Structure of Science*, Harcourt, Brace and World, Nueva York, pp. 388-345.

Nelson, G. (1971), “ ‘Cladism’ as a philosophy of classification”, en *Systematic Zoology* 20: 373-376.

—— (1978), “Ontogeny, phylogeny, paleontology, and the biogenetic law”, en *Systematic Zoology* 27: 324-345.

—— (1979), “Cladistic analysis and synthesis: principles and definitions, with a historical note on Adanson’s *familles des plantes*”, en *Systematic Zoology* 28: 1-21.

—— y N. I. Platnick (1981), *Systematics and Biogeography*, Columbia University Press, Nueva York.

Nelson, G. y N.I. Platnick (1984), “Systematics and evolution”, en M. W. Ho y P. T. Saunders (comps.), *Beyond Neo-Darwinism*, Academic Press, Londres. pp. 143-158.

Oldroyd, D. (1990), “David Hull’s evolutionary model for the progress and process of science”, en *Biology and Philosophy* 5: 473-487.

Patterson, C. (1980), “Cladistics”, en *Biologist* 27: 234-240.

Platnick, N. I. (1979), “Philosophy and the transformation of cladistics”, en *Systematic Zoology* 26: 438-442.

—— (1982), “Defining characters and evolutionary groups”, en *Systematic Zoology* 31: 282-284.

Popper, K. R. (1934), *Logik der Forschung*, Julius Springer, Viena. Las

referencias corresponden a la edición española, *La lógica de la investigación científica*, Tecnos, Madrid (1985).

—— (1945), *The Open Society and its Enemies*, Routledge & Kegan Paul, Londres. Edición española: *La sociedad abierta y sus enemigos*, Paidós, Buenos Aires, 1992

—— (1957), *The Poverty of Historicism*, Routledge & Kegan Paul, Londres. Edición española: *La miseria del historicismo*, Paidós, Madrid, 1987.

—— (1959), *The Logic of Scientific Discovery*, Hutchinson, Londres.

—— (1963), *Conjectures and Refutations, The Growth of Scientific Knowledge*, Harper & Row, Nueva York. Las referencias en el texto corresponden a la edición española, *Conjeturas y refutaciones*, Paidós, Madrid (1983).

—— (1967), “Knowledge: subjective versus objective”, en D. Miller (comp.), *Popper Selections*, Princeton University Press, Princeton, New Jersey (1985). pp. 58-77.

—— (1972), *Objective Knowledge: an Evolutionary Approach*, Clarendon Press, Oxford. Las referencias en el texto corresponden a la edición española, *Conocimiento objetivo. Un enfoque evolucionista*, Tecnos, Madrid, 3ª ed. (1988).

—— (1973), “Evolutionary epistemology”, en D. Miller (comp.), *Popper Selections*, Princeton University Press, Princeton, New Jersey (1985), pp. 78-86.

—— (1975), “La ciencia normal y sus peligros”, en I. Lakatos and A. Musgrave (comps.), *La crítica y el desarrollo del conocimiento*. Grijalbo, Barcelona y México, pp. 149-157.

—— (1977a), “Natural selection and its scientific status”, en D. Miller (comp.), *Popper Selections*, Princeton University Press, Princeton, New Jersey (1985). pp. 239-246.

—— (1977b), “The mind-body problem”, en D. Miller (comp.), *Popper Selections*, Princeton University Press, Princeton, New Jersey (1985), pp. 265-275.

Popper, K. R. (1977c), "Part I by Karl Popper", en K. R. Popper and J. C. Eccles (comps.), *The Self and its Brain*, Routledge and Kegan Paul, Londres, pp. 3-224.

—— (1984), *Sociedad abierta universo abierto, conversación con Franz Kreuser*, Tecnos, Madrid.

Richards, R. J. (1981), "The Natural Selection Model and other models in The Historiography of Science", en M. Brewer y B. Collins (comps.), *Knowing and Validation in the Social Sciences*, Jossey-Bass, San Francisco, pp. 37-76.

—— (1987), *Darwinism and the Emergence of Evolutionary Theories of the Mind and Behavior*, University of Chicago Press, Chicago.

Ridley, M. (1986), *Evolution and classification. The reformation of cladism*. Longman, Londres.

Rosenberg, A. (1992), "Selection and Science: Critical Notice of David Hull's *Science as a Process*", en *Biology and Philosophy* 7: 217-228.

Ruse, M. (1979), *The Darwinian Revolution*, University of Chicago Press, Chicago.

—— (1987), *Tomándose a Darwin en serio*, Salvat, Barcelona.

—— (1988), *Philosophy of Biology Today*, State University of New York Press, Albany.

—— (1989), *The Darwinian Paradigm. Essays on its History, Philosophy, and Religious implications*, Routledge, Nueva York.

Simpson, G. G. (1944), *Tempo and Mode in Evolution*, Columbia University Press, Nueva York.

—— (1953), "The Baldwin effect", *Evolution* 7: 110-117.

—— (1964), *This View of Life*, Harcourt, Brace, and World, Nueva York. p. 91.

Sokal, R.R. (1985), "The principles of numerical taxonomy: twenty-five years later", en M. Goodfellow (comp.), *Computer-Assisted Bacterial Systematics*. Academic Press, Orlando, Florida. pp. 1-20.

—— y P. H. A. Sneath (1963), *The Principles of Numerical Taxonomy*, W. H. Freeman and Co., San Francisco.

Stebbins, G. L. y F. J. Ayala (1981), “Is a new evolutionary synthesis necessary?”, en *Science* 213: 967-971.

Taubes, G. (1993), *Bad Science: The Short Life and Weird Times of Cold Fusion*, Random House, Nueva York.

Taylor, J. H., P. S. Woods y W. L. Hughes (1957), “The organization and duplication of chromosomes as revealed by autoradiographic studies using tritium-labelled thymidine”, en *Proc. Natl. Acad. Sci. USA* 43: 122.

Toulmin, S. (1967), “The evolutionary development of natural science”, en *American Scientist* 55: 456-471.

Toulmin, S. (1972), *Human Understanding*, Princeton University Press, Princeton, New Jersey. Las referencias en el texto corresponden a la edición en español: *La comprensión humana*, Alianza Editorial, Madrid, 1977.

—— (1975), “La distinción entre ciencia normal y ciencia revolucionaria, ¿resiste un examen?”, en I. Lakatos y A. Musgrave (comps.), *La crítica y el desarrollo del conocimiento*, Grijalbo, Barcelona y México, pp. 133-144.

—— (1981), “Evolution, adaptation, and human understanding”, en M. B. Brewer y B. E. Collins (comps.), *Scientific Inquiry and the Social Sciences: A Volume in Honor of Donald Campbell*, Jossey-Bass, San Francisco, California, pp. 18-36.

Trivers, R. L. (1971), “The evolution of reciprocal altruism”, en *Quarterly Review of Biology* 40: 35-57.

Vorontsov, N. N. (1991), “Current state of evolutionary theory in the USSR”, en L. Warren y H. Kopyrowski (comps.), *New Perspectives in Evolution*, John Wiley, Nueva York, p. 65-75.

Waddington C. H. (1953), “Genetic assimilation of an acquired character”, en *Evolution* 7: 118-126.

Watson, J. D. y F. H. C. Crick (1953), “A structure for deoxyribose nucleic acid”,

en Nature 171: 964.

Wiley, E. O. (1981), *Phylogenetics*, Wiley, Nueva York.

—— y D. R. Brooks (1982), “Victims of history: A nonequilibrium approach to evolution”, en *Systematic Zoology* 31: 1-24.

Wright, S. (1931), “Evolution in Mendelian populations”, en *Genetics* 16: 97-159.

—— (1932), “The roles of mutation, inbreeding, crossbreeding and selection in evolution”, en *Proceedings of the Sixth International Congress of Genetics* 1: 356-366.

—— (1982), “Character change, speciation, and the higher taxa”, en *Evolution* 36: 427-443.

Índice analítico

absolutismo: 96-97

adaptación: 91, 105, 189; biológica: 106; cambios en la: 100; conceptual: 168; conductual: 118-119; conocimiento como: 194; diferencia entre adecuación y: 168; explicación de la: 112; genética: 114, 118, 160; heredabilidad de los caracteres de: 121, 123; selección natural y: 106, 116, 122, 132, 187-188; tres niveles de, genética: 114

adecuación, biológica: 195; conceptual inclusiva: 169; de las teorías: 136-137; de los científicos: 170; diferencia entre adaptación y: 168; individual inclusiva: 168-170, 172, 188; véase también eficacia biológica

adenina: 41-42

Agassiz, Louis: 59, 98-99; microcatástrofes: 101

Altman, Sidney: 19

afirmación, condicional: 21; universal: 15, 20

anagénesis: 79

analogía: 98; explicativa: 9; justificativa: 9; sociobiológica: 140, 169-174

anatomía comparada: 35, 167

anomalía(s): 46-47, 51, 54, 56-57, 59, 62-64, 70, 81; diferencia entre enigma y: 60; productoras de crisis: 52, 58; transformadas en instancias confirmadoras: 138

apomorfía: 153n

arbitraje: 44

astronomía: 9

Avery, Oswald T.: 42; sobre el DNA: 40-41

Avogrado, número de: 50

Ayala, Francisco J.: 79, 102-103, 105-106, 148, 162, 168, 181, 190, 193

Bacon, Francis: 14, 126

Baer, von: 59

Baldwin, J. M., efecto: 114, 123-125, 131; selección orgánica: 123

Baltimore, David: 19

Becher, Johann: 36

Begon, M.: 178

Bergson, evolución creadora de: 120

Bernard, Claude: 16

Bernoulli: 50

biogeografía: 35-36

biología: 53, 78; darwinismo como paradigma de la: 59; de poblaciones: 163, 187; evolucionista: 9, 34-35, 143, 191; filosofía de la: 194; materialista: 32; molecular: 16, 18, 23, 44, 92, 102, 117, 193-194; socio: 194

bioquímica comparada: 35

Bonner: 187

Boyle, ley de: 50

Bradie, Michael: 135-136, 146, 177

Brandon: 156

Brooks, D. R.: 152, 154

Brundin, L.: 154

Buch, Leopold von: 61-62

buen sentido: 76

Buffon, Georges Louis Leclerc, conde de: 154

Burnet, Macfarlane: 126-127

Butler: 120

Cairns, J.: 24

Campbell, Donald: 112, 135-136

Camin: 173

Candolle, de: 59, 61-62

características, adquiridas: 121, 123-125; heredadas: 121, 125

catastrofismo: 98-99, 101

Cech, Thomas: 19

ciencia(s), aplicada: 64, 70-71; autonomía de la: 82, 147; básica: 70-71; blandas: 97; carácter progresivo y no progresivo de la: 68, 76-77; características de la: 12-14; clasificación en: 36; como actividad social: 142, 146; competencia en: 170; conceptos de las: 7; cooperación en: 170; creencias de la: 9; de la ciencia: 138; definición de: 13, 72; desarrollo de la: 51, 72, 89, 98-99, 126, 147, 157, 175, 177; descripción en: 36; diferencia entre comunidad científica y: 163, 187; distinción entre pseudociencia y: 82; distinciones entre sentido común y: 13; duras: 97; empíricas: 13, 20, 34, 50; error y fraude en la: 24-27; estructura démica de la: 161-165, 169, 172; experimental: 154; externalista: 93-94; extraordinaria: 63; fáctica: 49-50; filosofía de la: 143-149; historia de la: 78, 83, 129, 143; históricas: 34; historiografía de la: 86; importancia de los linajes en el

desarrollo de la: 173; inductiva: 14, 126; internalista: 93-94; irrefutabilidad en: 74; mentiras en: 141; métodos de la: 9, 129; modus operandi de la: 142; no válida: 12; normal: 9, 45-47, 49-55, 63, 70, 87, 98-99; objetivos de la: 139; política y: 31; recombinación en: 176; revolucionaria: 9, 45, 98-99; robo en: 141; socialización de la: 175, 186; técnicas de la: 9; teorías de las: 7; transformación de la: 87; válida: 12, 18; valores de la: 9

científicos, adecuación en los: 170; altruismo de los: 138, 142, 148, 173; características individuales de los: 163; como replicadores: 178; como vehículos: 175, 182; competencia entre: 10, 121, 141, 146, 148-150, 169, 173; comunidad de: 9; consenso entre los: 45; cooperación entre: 146, 148, 150, 173; diferencias con los filósofos: 11; egoísmo entre los: 142, 148, 187; faccionalismo: 161; formación de poblaciones de: 162; honestidad de los: 73-74, 111; linajes conceptuales de los: 10, 169-174, 177-179, 181; objetividad en los: 142, 175-176; problemas de los: 7; reconocimiento hacia los: 139-140, 169, 189; selección de: 153; subjetividad en los: 142

citas, interdémicas: 173; intradémicas: 173

citosina: 41-42

cladistas: 150-151, 153, 156, 158, 166, 177, 188, 191; transformados: 145, 149n, 152, 154-155, 167

cladogramas: 156

clonal, producción: 159-160, 179; selección: 127

Comte, Auguste: 186

Conan Doyle, Arthur: 39-40

conceptual, cambio: 92; continuidad: 92; evolución: 9, 92-93

Condorcet, Antoine: 186

conjeturas: 115; competidoras: 110; refutabilidad de las: 72, 93

conocimiento científico, abstracto: 14; acumulación del: 45, 64; adquisición del: 7, 17, 51; ampliación del: 47; características del: 7; como adaptación: 194;

conjeturas y: 16-17; convergente: 48; deductivo: 113; demarcación del: 8, 12-13, 18-20, 34, 67, 72, 109; desarrollo del: 7, 37, 39, 49, 85, 101, 112-113, 130, 135, 143-144, 161; diferencia entre conocimiento metafísico y: 82; empírico: 14; etapa creativa del: 7, 16; etapa imaginativa del: 7, 16; evolución del: 10, 112, 165, 194; homogeneización del: 47; induccionismo y: 8, 102; inductivo: 113; justificación del: 7, 17; metafísico: 14; microevolutivo: 162; organización sistemática del: 12-13; origen del: 90; puro: 130; rasgos distintivos del: 12; transformación en el: 85, 90; transmisión del: 182; validez del: 11, 45

consenso: 64

convencionalismo: 76; duhemiano: 73

Copérnico, Nicolás: 83

creacionismo: 58-63, 188, 194

crecimiento alométrico: 104

Crick, Francis H.: 23, 42

Croizat, Leon: 167

Crusoe, Robinson: 175

Cuvier, Georges: 98-99, 154, 188

Chargaff, Erwin: 42

Darwin, Charles: 14, 16-17, 34-36, 39, 53, 55, 63, 78-79, 87, 132, 135, 137-138, 146, 148, 177, 188, 195; El origen de las especies: 32-33, 174; selección natural: 10, 33, 50, 58-59, 62, 81, 85, 91, 102-106, 113-114, 130-132, 136, 147, 157-159, 168, 179; selección sexual: 104; sobre la herencia: 70; teoría de la especiación: 50, 79, 88, 91-92; teoría poblacional: 85; viaje del Beagle: 32-33, 131, 167; véase también evolución; selección natural

darwinismo: 50, 58, 60, 65, 102, 106-107, 126, 133-135, 158, 187-188; como paradigma de la biología: 59; como tautológico: 102-105; como única teoría evolutiva: 111; comparado con el lamarkismo: 120; críticas al: 167; desarrollo del: 63; difusión del: 167; explicación del: 9, 112; futuro del: 193; Hull sobre el: 10; moderno: 121; modificación del: 112; mutaciones y: 115; neo: 79, 103, 105, 108, 115, 120-122, 131, 136, 157-158, 168, 174, 177, 179, 181; social: 195; universal: 194; ventajas heurísticas del: 59-60

Dawkins, Richard: 162n, 178, 194

DeBeer, G.: 34

deducción(ismo): 15, 51, 72

demos: 142, 152-153, 158; científicos: 151; competencia entre: 161; conceptuales: 149, 157, 166-168, 173, 189-190; extinción de: 160; población en: 159, 176; reproducción cruzada entre: 160; semiendogámicos: 180

Depew, D. J.: 193

Descartes, René: 38

determinismo social: 148

disciplina(s): 100; compactas: 97; difusas: 97

DNA: 11, 18, 24, 40, 115, 128, 179, 184; colinearidad entre proteínas y: 19; composición del: 41-42; modelos de replicación del: 23, 27

doble hélice, modelo de la: 23-24, 27

Dobzhansky, Th.: 35, 103, 145, 155, 157

dogma central: 18

Donoghue, M.: 153

Duhem: 76

Dupré, J.: 138, 143-144

ecología, de poblaciones: 35, 59; intelectual: 93

Edelman, G. M.: 127-128

eficacia biológica: 105-106

Einstein, Albert: 55, 63, 67, 113; sobre la gravedad: 68; teoría de la relatividad: 18, 36-39, 44, 66, 111, 117

ejemplos en contrario, véase anomalías

Eldredge, N.: 79

elipses keplerianas: 80

embriología comparada: 35

endogamia: 160

enigma(s): 47, 57, 59; como rompecabezas: 46, 52-53; componentes del: 70; definición de: 54; diferencia entre anomalía y: 60; residual: 54; resolución de: 45-46, 54

enunciados: 8

enzimas: 18-19, 35, 116

epistemología, darwinista: 7, 158; estética: 194; evolucionista: 9-10, 85, 92, 94, 111, 127, 129, 131-132, 178, 182, 186; feneticista: 191; prescriptiva: 143

Epistemología Evolutiva de los Mecanismos Cognoscitivos (EEM): 135

Epistemología Evolutiva de los Procesos (EEP): 136

Epistemologías Evolutivas Teóricas (EET): 135

equilibrio, pautado: 157; puntuado: 65

errores: 26; alfa: 21; beta: 21; de muestreo: 160; eliminación de: 107-110, 116-

117, 125-126

especiación: 152, 159, 161-162; alopátrica: 157-158; dicotómica: 155-156; politómica: 155-156; saltacional: 145, 180-181; simpátrica: 157-158; sin selección natural: 103; véase también Darwin

especies, evolución de las: 90-91, 161; genealogía de las: 89; guerra entre las: 61; origen de las: 33, 61, 90-91, 152, 161; trasmutación de las: 33, 90, 132; véase también Darwin

estímulo ambiental: 121

Euler, Leonhard: 50

evolucionismo: 61, 92, 147

evolucionistas: 55, 157; predicciones de los: 9

evolución, azarosa: 158, 190; biológica: 9, 34-35, 86, 88, 92, 99-100, 110-112, 125, 128-129, 131-132, 135-138, 143, 150, 168-169, 173, 175-177, 186-188; como disciplina: 87; como paradigma: 87; competencia en: 174; comportamiento y: 119; conceptual: 9, 92-94, 106, 109-112, 118, 128, 135-138, 163, 168, 173-174, 176-178, 187, 190, 192; contingente: 129; cooperación en: 174; creadora: 110, 120; de las especies: 17, 62, 85, 89; de las ideas: 89, 107, 112, 138; de los organismos: 10, 24; de sistemas genéticos: 119; del conocimiento científico: 10, 112, 186; del lenguaje: 133, 186; direccionalidad de las: 133; emergente: 110; estudio de la: 36; filética: 79, 156, 181; filogenética: 107; gradual: 181; macro: 9, 162-163; micro: 9, 162-163; molecular: 89; morfológica: 163; mutaciones como indispensables para la: 115; neutralista: 89; niveles de: 162; no direccional: 129; orgánica: 93, 95, 120, 167-168; por selección natural: 9, 58, 90; por variación: 9, 89-90; presión selectiva en: 90; saltacional: 157; social: 138; sociocultural: 186-187; teoría de la: 24, 60, 102, 194-195; teoría de la, única: 123; versión gradualista de la: 87, 90, 152; unidades de: 195

experimento(s): 8; cruciales: 82; repetición de los: 43

explicaciones ad hoc: 76; históricas: 85; posthoc: 82-83

externalismo: 147

factor transformador: 41

falsacionismo: 57, 102; demarcación del: 74; dogmático: 74; ingenuo: 75-76; metodológico: 73, 75-76, 82; reglas de aceptación y de falsación del: 75; sofisticado: 73, 75-77

feneticistas: 145, 149-150, 152-155, 158, 166, 173, 188

fenotipo(pica): 118, 125; altruista: 171; cooperación: 170; egoísta: 171 fijismo: 59-60, 65, 132

filogenia: 35

filosofía: 13, 193; de la biología: 194; de la ciencia: 143-149; natural alemana: 154

Fisher, Ronald A.: 103, 145, 157, 159

Fleming: 131

flogisto, teoría del, críticas a la: 36-37

Franklin, Benjamín: 37

fusión fría: 19, 26

Galileo: 27, 130

Galton: 195

Gauss: 50

genes: 15; altruistas: 173; carácter adaptativo de los: 160; composición química de los: 39; fijación azarosa de: 158; perpetuación de los: 170-171; replicación de los: 164, 177-178, 183; variantes: 159

genética(o): 15, 27-28, 181; acervo: 131; adaptación: 114, 118; cambio: 9, 106,

117-118, 160; código: 50, 186; combinación: 159, 189; como ciencia capitalista: 30; de poblaciones: 25, 35-36, 39, 94, 145, 194; deriva: 91-92, 103, 105, 117-118, 122, 157, 160-161, 180, 187; fijación: 123; información: 18, 116; ingeniería: 193; interacción: 159; mendeliana: 103; mutación: 132, 160; polimorfismo: 109; selección: 124; sistema: 124; soviética: 30-31; teorías: 39, 55; variables: 125, 132

genotipo(s): 118, 125; variantes: 160

geología: 98

Gestalt: 70

Ghiselin, M. T.: 34

Goldschmidt: 145; fenocopias de: 124

Gould, Stephen J.: 79, 145, 162

Griffin, B. C.: 162

guanina: 41-42

Haldane, J. B. S.: 102-103, 145, 170-171

Hamilton, William D.: 170, 173-174

Harvey, William: 27

Hebert, Sandra: 132

hecho(s): 8, 24, 33, 74; falsos: 82; significativos: 51

Hempel: 16

Hennig, Willi: 145n, 152-154, 156, 167, 177, 188; Elementos de una sistemática filogenética: 155

Henslow, John: 131, 167

herencia: 11; cambios en la estructura de la: 125; caracteres adaptativos y: 121, 123; condiciones limitantes en: 28; Darwin sobre la: 70; de modificaciones adquiridas: 123; especificidad de la: 41; fusión del material materno de la: 62; leyes de la: 27-30, 40; proteínas como portadoras de la: 42; selección natural y: 123

Herschel, John: 131, 148

heterocigosis: 160n

heurística, negativa: 80-81, 84; positiva: 80-84

hipótesis: 8; actividades para probar una: 18-19; autónomas: 163; auxiliares: 9, 77-78, 80-82, 84; científicas: 18, 20-22, 24; contenido empírico de la: 22; contrastación de las: 13, 16, 22-23, 26, 36, 40, 42; de la segregación: 29; del tetranucleótido: 41-42; erróneas: 25; estructura lógica de una: 18; falsable: 82, 191; formulación de las: 15; nula: 21; papel heurístico de las: 34; probada o corroborada: 22, 24; refutabilidad de las: 22, 25, 27, 191; revisión y publicación: 42-44; tautológica: 18; taxonómicas: 191; validez de las: 15; véase también teorías científicas

historiografía: 64; de la ciencia: 86; en Lakatos: 72; kuhniana: 65; popperiana: 73

Hitler, Adolfo: 144

homocigosis: 123, 160-161

homología: 153, 156

homoplasia: 156

Hooker, Joseph: 147

Hull, David: 92; analogía entre evolución biológica y conceptual: 135-138, 169-170, 174, 176, 186-187, 189-190; coincidencias con Popper: 112; diferencias con Toulmin: 86, 136; sobre darwinismo: 10, 34, 158, 161, 179, 181; sobre cladismo y feneticismo: 149-158, 166, 177, 188; sobre demos conceptuales: 167, 173; sobre evaluación de las teorías: 174, 188; sobre filosofía de la ciencia: 143-149, 157, 163, 165; sobre los científicos: 139-142, 148-149, 163, 166, 171-173,

176-178, 182, 185, 187; sobre replicación e interacción: 177-180, 182-184; sobre selección conceptual: 168-169; sobre taxónomos: 149, 153, 173, 191

Hutton, James: 98

Huxley, Thomas: 157, 187

inductivo(ismo): 14, 20, 73, 102, 148, 193; críticas al: 8, 32-34, 79; dificultades del: 15; método: 13, 50; razonamiento: 12

inferencia, estadística: 21; lógica: 21

información molecular: 18

innovación, biológica 95-96; científica: 101, 150, 162

interacción, relevante: 180; replicación e: 177-181

internalismo: 147

Jacob, François: 14, 16-17

Jerne, Niels K.: 126-127

Jevons, William Stanley: 16

justificacionismo: 73-74

Kekulé, Friedrich August: 17

Koch, Robert: 26; sobre la tuberculosis: 39-40

Koertge, Noretta: 148

Kohn, D.: 59, 62

Koprowski, H.: 32

Kruschev, Nikita: 30

Kuhn, Thomas: 48, 57, 68-69, 76, 83, 96, 166; coincidencias con Lakatos: 58; coincidencias con Popper: 51-52; críticas a: 98-101; diferencias con Popper: 58, 60; paradigma en: 51, 190; psicociología de: 75; sobre ciencia básica: 70-71; sobre ciencia normal y revolucionaria: 9, 45-47, 49-50, 52-53, 55-56, 63, 98-101; sobre la crisis: 61; sobre la evolución: 87; sobre las anomalías: 58; sobre los enigmas: 54; sobre revolución científica: 64-66

Lagrange, Louis de: 50

Lakatos, Imre: 9, 57, 65; coincidencias con Kuhn: 58; coincidencias con Popper: 72; críticas a: 83; demarcación de las metodologías: 73-74, 78-79; diferencias con Popper: 80, 83; historiografía en: 72; sobre deduccionismo: 72; sobre el descubrimiento: 72; sobre el falsacionismo: 75-77; sobre las revoluciones científicas: 55; sobre programas de investigación: 81-84, 96, 150-151, 174, 190

Lamarck, Jean-Baptiste de Monet: 120, 154

lamarckismo: 59, 116, 122-123, 126-128, 131, 133, 182, 187; comparado con el darwinismo: 120; neo: 177

Laplace, Pierre Simon, marqués de: 50

Lavoisier, Antoine: 27; descubrimiento del oxígeno: 36; paradigma de: 68; sobre el flogisto: 36-37, 56, 68; teoría de la combustión: 36-37; *Traité élémentaire de chimie*: 36

Lehninger, A.: 128

lenguaje, evolución del: 133, 186; función descriptiva del: 184

Lenin: 32

Levene, Phoebus Aaron: 41

leyes: 12; cuantitativas: 50; de la herencia: 27-30; de la naturaleza: 33, 143; del movimiento: 27

Limoges, C.: 62, 148

Linneo, Carl von: 61, 131, 154, 188

lisenkoísmo: 188

locus: 123n

lógica: 14, afirmación universal y: 15, 20; del descubrimiento: 72; inferencia: 21

Lorenz, Konrad: 118

Lyell, Charles: 59, 61, 98, 131-132, 147, 157, 167, 188

Lysenko, Trofim Denisovich: 30-32, 55

MacLeod, C. M.: 41

Macarty, M.: 41

magnetismo animal: 37

Malthus, Thomas Robert: 131-132

Masterman, M.: 46

matemáticas: 13

Mayr, Ernst: 34, 79, 120, 153, 157

McClintock, Barbara: 145

McLennan, D. A.: 152n, 154

mecánica: 78; cuántica: 68, 117; estadística: 37; leyes de la: 80; terrestre: 130

Medawar, P. B.: 17

meiosis: 160, 171

memes: 162, 178

Mendel, Johann: 15, 32, 163, 181; leyes de la herencia: 27-30, 40, 70; segunda ley de: 39

Merton, Robert K.: 141

Meselson, Mathew: 23, 27

Mesmer, Franz Anton: 37

metafísica cartesiana: 80

metáforas: 138

método científico: 15; aceptabilidad del: 76; carácter social del: 143, 176, 186; demarcación del: 73, 75; descripción del: 7; hipotético-deductivo: 12, 15-18, 34-36; popperiano: 78, 82, 84, 93, 102

Michurin, Ivan Vladimirovich: 31-32

Miescher, Johann Friedrich: 41

migración: 91, 117, 159

Mill, John Stuart: 14

Mishler, B.: 149, 156

modelo, véase hipótesis; teorías científicas

modus tollens: 21, 24-25, 81

monofilia: 155

Morgan, C. Lloyd: 120, 124

Mullins, N.: 162

Munz, P.: 193

mutación(es): 103, 108, 114, 117-122, 127, 132, 158-160; como algo azaroso: 112, 116, 193; excesiva: 161; genética: 132, 160; hereditarias: 124, 125; indispensables para la evolución: 115; no hereditarias: 124; véase también variación

Nelson, Gareth: 145n, 149, 152-154, 156

neutralistas: 157

Newton, Issac: 16-18, 27, 33, 63, 66, 78, 130; acción a distancia: 80; ley de la gravedad: 38, 68, 80-81; leyes de: 67; leyes del movimiento: 36, 38; mecánica newtoniana: 18, 37, 39, 67, 78, 80, 111; núcleo firme: 80; paradigma de: 50; problema de dos cuerpos: 38; segunda ley de: 49; sobre el cálculo: 38; teoría de la luz: 38

nichos: 93-94, 114; ecológicos: 117, 119-120

observación: 8; empírica: 17

Oldroyd, D.: 149

organismo(s), adaptación de los: 168; adecuación de los: 188; evolución de los: 93, 95, 120, 167; individual: 107; multicelulares: 109; replicadores: 178; resolución de problemas: 107; unicelulares: 109

Osborn: 124

Owen, Richard, críticas al darwinismo: 167

paleobiología: 35

paleontología: 35, 98, 167

Paley: 61

pangea: 42

pangénesis: 70

paradigma(s): 12, 45, 64, 190; alternativos: 101; aplicación del: 53, 71; avance del conocimiento y: 48; cambios en el: 54, 61, 64, 69, 75, 190; competencia entre: 47; confirmación del: 49; creacionista: 58-59; crisis del: 60; darwiniano: 53, 166; de Newton: 50; deserción del: 51; diferencia entre teoría y: 59; epistemológico: 69; hegemonía de un: 47-48; inconmesurabilidad del: 69; interpretación del: 70; noción de: 46; nuevos: 62; precisión del: 51; reemplazo del: 63, 76; resistencia y: 56; sucesivos: 67-68

Pascal, Blaise: 16, 27

Pasteur, Louis: 16, 27

Patterson, C.: 152

Peirce, Charles S.: 16

pensamiento científico: 16-17; divergente: 48; objetivo: 164; poblacional: 87; tipológico: 87; véase también conocimiento científico

Platnick, Norman I.: 145n, 149n, 152, 154, 156

Plotkin, H.: 193-194

plesiomorfía: 153n

población panmíctica: 159

Polanyi: 75

polifilia: 155

Popper, Karl R.: 9, 16, 22, 59, 72, 128, 130, 135-137, 167, 184-185; coincidencias con Hull: 112; coincidencias con Kuhn: 51-52; conjetura en: 51,

93; Conjeturas y refutaciones: 106; Conocimiento objetivo: 102, 106; diferencias con Kuhn: 58, 60; diferencias con Lakatos: 80, 83; “Evolutionary Epistemology”: 114; experimentos: 52; falsacionismo en: 57, 74-77, 84, 102; historiografía de: 73; La lógica de la investigación científica: 106; metodología de: 78, 82, 84, 93, 102; “The mind body problem”: 111; La miseria del historicismo: 102; sobre conducta: 118-119; sobre darwinismo: 102, 105-109, 111-113, 116-117, 120, 126, 131, 133, 180; sobre demarcación del conocimiento: 8, 13, 20, 34, 79, 109; sobre desarrollo de la ciencia: 53-54, 96, 113, 121, 125-126; sobre eliminación de errores: 110; sobre genética: 117; sobre honestidad científica: 111, 142-143; sobre objetividad científica: 175-176; sobre sentido común: 129; tres mundos de: 115-118, 164-165, 182-183, 191

positivismo clásico: 73

Principio de la Recombinación Independiente: 29

Principio de la Segregación: 29

Priestley, Joseph: 36-37

probabilistas: 73

problema(s): 164; consciente: 107; de los científicos: 7, 51; definición de los: 46; genealogía de los: 89; objetivo: 107; por ensayo: 9, 107, 114, 125; por error: 9, 107, 114, 125

programas de investigación: 8-9, 17, 49, 151, 190, 192; centro firme de los: 9, 81; empíricos: 34; competidores: 150; degenerativos: 65, 77, 81-82, 96, 174; evaluación de los: 80, 174; historiográfica: 73; metodología de los: 80-84; normales: 49; progresivos: 65, 82-83, 96, 174

proteínas: 18, 35; colinearidad entre DNA y: 19; composición de las: 42; portadoras de la herencia: 42

psicología: 72; empírica: 17; social: 75

radiación adaptativa: 180

racionalidad, análisis de la: 88

racionalistas, kantianos: 73

recombinación: 91, 103, 159-160; progreso de la ciencia y: 176

refutación, de las teorías científicas: 8-9, 13, 20-21, 25, 157; empírica: 13; popperiana: 93

registro fósil: 79

relativismo: 66, 96-97

replicación, auto: 175; conceptual: 175, 182-185; de los genes: 164, 177-178, 183; definición de: 174; diferencial: 179-180; epistemología evolutiva y: 182; interacción y: 177-181; mémica: 183; relevante: 168; secuencias de: 176

revolución, analogía entre, científica y política: 64; científica: 9, 51, 55, 63, 67, 88, 99-101; darwiniana: 55; einsteiniana: 67; micro: 99-101; newtoniana: 55; química: 68

Richards, Robert: 135-137

Ridley, M.: 152, 154-156

RNA: 18, 41; mensajero: 19

Roberts, Richard: 19

Rohlf: 173

Rosenberg, Alex: 149, 164

Ruse, Michael: 134-137, 148, 167, 194

saltacionismo: 79, 87-88, 145, 157, 180-181

Schmaulhausen: 124

Sedwick, Adam: 167

selección, artificial: 125; conceptual: 168-169; interdémica: 160, 168-169, 189; intradémica: 168, 189; masiva: 169; por parentesco: 170-171

selección natural: 10, 33, 58-59, 89-90, 102, 105, 113-114, 125, 159; adaptación y: 106, 116, 122, 132, 187-188; altruismo y: 171; caracteres y: 129; como proceso causal: 93-94; como proceso teleológico: 190; como uno más de los mecanismos de evolución: 169; criterios de: 95; cuatro principios de: 111; distintos mecanismos de: 104, 157; eliminación de errores en: 109, 116-117; favorecedora del aumento de especies: 130, 132; genética: 124; herencia y: 123; negativa: 10; positiva: 10; procesos mentales y: 136; replicación y: 179; selección sexual como caso especial de: 103-104; sin especiación: 103; sistemas genéticos y: 120; véase también Darwin

sentido común: 11-12, 38; distinciones entre ciencia y: 13; realismo del: 129

Sharp, Philip: 19

shifting balance, conceptual 161

simplicidad: 76

Simpson, George G.: 13, 79, 102, 114, 123-124, 153

sinapomorfía: 153

sistemática: 191; definición de: 154; estudio de la: 35-36; filogenética: 145, 149n, 152, 155

Situation in Biological Sciences, The (Warren y Koprowski): 32

Smocovitz, V. B.: 194

Sneath, P. H. A.: 154, 173

Sober, E.: 194

sociología, del descubrimiento: 72; psico: 75

Sokal, Robert R.: 149, 153-154, 173, 188

Spencer, Herbert: 33, 102, 129-130

Stahl, Franklin: 23, 27

Stahl, Georges: 36

Stalin, José: 30-32, 188

Stebbins, G. L.: 79

Taubes, G.: 19

taxonomía: 155-157; desarrollo de la: 191; diferencia entre ciencias experimentales y: 154; diversidad en: 163; evolucionista: 153-154; fenética: 149n; linneana: 59; numérica: 173

Taylor, J. Herbert: 23

Temin, Howard: 19

tensión esencial: 48

teología natural: 63

teoría(s), celular: 39; de la tectónica de placas: 42; de las catástrofes: 98; molecular de la materia: 24; sintética: 121, 168

teorías científicas, acumulación de: 68; adecuación de las: 136; articulación de las: 51; cambios en las: 57, 83, 87; características de las: 163; contenido empírico de las: 8; contrastación de las: 8, 29; convertidas en paradigma: 56; corroboración de las: 8; de racionalidad: 72; delimitación de: 168; diferencia entre paradigma y: 59; dominantes: 115; especificación de los límites de las: 8; especulativas: 62; estructuras de las: 8, 51; evaluación de las: 72, 77, 137, 174, 186, 188; falsabilidad de las: 8, 186; formulación de las: 15; inconmesurabilidad de las: 66-68; metafísicas: 74; predictivas: 8, 29, 37, 43, 75; procesos de las: 8; reformulación lingüística de las: 121; refutabilidad de las: 8-9, 13, 20-21, 25, 157; reproducción de las: 136; selección de: 10, 131, 163; tautología y: 102; validación de: 137; variaciones en: 116, 132; verificabilidad de las: 8-10, 20-21;

véase también hipótesis

termodinámica: 38

timina: 41-42

Toulmin, Stephen: 9, 85, 97, 135, 174; críticas a Kuhn: 98-101; diferencias con Hull: 86, 136; sobre desarrollo de la ciencia: 99-100; sobre especiación: 93, 180; sobre evolución: 87, 89-96, 111; sobre innovación: 96; sobre la racionalidad: 88; sobre pensamiento tipológico y poblacional: 87, 89

Treviranus: 154

Trivers, Robert: 170, 174; altruismo recíproco: 172

uniformitarismo: 98

variación(es): 92, 100, 108, 121, 131; acumulación de: 111; azarosas: 133; ciega: 112; conceptual: 133; conductuales: 118; correlativa: 104; directa: 104; en teorías: 116; neutra: 89, 91; por innovación: 89, 95; por selección: 89; véase también mutación

Waddington, C. H.: 103, 114; “Asimilación genética de un carácter adquirido”: 123

Wallace: 104, 147, 157, 177, 179

Warren, L.: 32

Watson, James: 23, 42

Weber, B. H.: 193

Wegener, Alfred, teoría de la deriva continental: 40, 42

Whewell, William: 16, 131, 148, 167

Wiley, E. O.: 145n, 152, 154

Wright, Sewall: 136, 142n, 145, 157-162, 166, 168, 174, 180, 188-190

Índice general

[Prólogo](#)

[I. El método en las ciencias](#)

[Introducción](#)

[Características distintivas de la ciencia](#)

[La inducción en la ciencia](#)

[El método hipotético-deductivo](#)

[El criterio de demarcación](#)

[Verificabilidad y refutabilidad](#)

[Contenido empírico o “veracidad”](#)

[Contingencia y certeza en la ciencia](#)

[“Hecho” y “teoría” en la ciencia](#)

[Error y fraude en la ciencia](#)

[El método científico en la práctica](#)

[Un paradigma hitórico: el descubrimiento de Mendel de las leyes de la herencia](#)

[La destrucción del conocimiento por la ideología: Lysenko y la genética en la Unión Soviética](#)

[El curioso caso de Darwin o la discrepancia entre lo que los científicos dicen y lo que hacen](#)

[Reemplazamiento de teorías: el flogisto y Lavoisier; la mecánica newtoniana y Einstein](#)

[Ciencia acelerada: la vacuna fallida de Robert Koch contra la tuberculosis](#)

[El contexto explicativo del descubrimiento, o por qué la contrastación no es suficiente: el DNA de Avery y la deriva continental de Wegener](#)

Mecanismos sociales: revisión y publicación

II. La estructura de las revoluciones científicas: Thomas Kuhn

De la ciencia normal a la ciencia extraordinaria: las revoluciones científicas

La revolución de las estructuras científicas

Un paradigma prepara su propio cambio

La ciencia extraordinaria

La inconmensurabilidad de las teorías

Algunas precisiones sobre los paradigmas

Ciencia básica y ciencia aplicada

III. La metodología de los programas de investigación: Imre Lakatos

La metodología de los programas de investigación científica

IV. Stephen Toulmin: evolución orgánica y evolución conceptual

Cambios de racionalidad. La variación conceptual

Variación y perpetuación conceptual

“Ecosistemas” conceptuales

Crítica de Toulmin a Kuhn

V. La epistemología evolucionista de Karl Popper

La evolución conceptual

Principales puntos discordantes entre epistemología evolucionista y evolución biológica

VI. La concepción epistemológica de David Hull

De la analogía a la teoría

Cientificar la filosofía de la ciencia

Los taxónomos como paradigma

[El modelo evolutivo de Sewall Wright](#)

“Shifting Balance” conceptual

[Conclusiones](#)

[Bibliografía recomendada](#)

[Referencias](#)

[Índice analítico](#)

La ciencia se mueve, cambia de lugar, se agita. Es veleidosa y frágil. Por dentro y por fuera, se transforma. Está tan viva como un ejemplar de una especie, libre o en cautiverio, que muestra facetas desconocidas aun para los mismos que, en apariencia, la elaboran con absoluto control, y se les escapa, huye. Y luego se queda quieta, inmóvil, camuflada, a la espera, como si supiera que una infinidad de miradas la acechan, pendientes de ella, para aprehenderla. Los científicos saben todo esto y saben también que la certeza absoluta no es inherente al método científico, no es infalible; avanza cuando unos científicos refutan teorías de otros científicos o de sí mismos al reconocer equivocaciones, y entonces aquél adquiere uno de sus rasgos más significativos, el lado humano, en el momento en el que hace que la ciencia avance, socializada por vía del lenguaje. He aquí el tema central de esta obra de Ruiz y Ayala: a la ciencia se le puede estudiar y comprender de igual modo que como han procedido las epistemologías evolucionistas, sólo que en este caso no son los entes vivos la unidad de conocimiento, sino los conceptos y las teorías, en su origen, devenir y futuro, partiendo de la idea de que todo proceso que involucra variación y selección puede ser explicado en términos darwinistas, aunque por supuesto, en la aproximación de este problema es necesario adecuar el darwinismo a la teorización de carácter social, ya que los primeros darwinistas también pensaron que su paradigma era tan general que podía extenderse a toda entidad cambiante. Así, las maneras discrepantes en que varias teorías tratan de dar cuenta de determinado problema —específicamente el del desarrollo de la ciencia, con sus controversias y polémicas— se analizan en estas páginas en las que el propósito más importante de los autores es estimular el interés en estas teorías, reconocer sus fundamentos, identificar lo que hay de válido en ellas y definir sus límites.

CIENCIA Y TECNOLOGÍA

