

Filosofía

Jesús Mosterín

Ciencia, filosofía y racionalidad



gedisa
editorial

Jesús Mosterín

CIENCIA, FILOSOFÍA Y RACIONALIDAD

Serie CLA•DE•MA
Filosofía

CIENCIA, FILOSOFÍA Y RACIONALIDAD

Jesús Mosterín



<http://www.gedisa.com>

© Jesús Mosterín

Diseño de cubierta: Marco Sandoval / Estudio Alterna

Primera edición: octubre de 2013, Barcelona

Reservados todos los derechos de esta versión castellana de la obra

© Editorial Gedisa, S.A.

Avda. del Tibidabo, 12, 3.º

08022 Barcelona (España)

Tel. 93 253 09 04

Correo electrónico: gedisa@gedisa.com

<http://www.gedisa.com>

Preimpresión:

Editor Service, S.L.

Diagonal 299, entresòl 1ª

08013 Barcelona

Tel. 93 457 50 65

creadisseny@editorservice.net

www.editorservice.net

eISBN: 978-84-9784-777-3

Depósito legal: B. 26654-2013

Queda prohibida la reproducción total o parcial por cualquier medio de impresión, en forma idéntica, extractada o modificada, de esta versión castellana de la obra.

Este libro ha recibido una ayuda a la edición de Ministerio de Educación, Cultura y Deporte.



Índice

Prólogo

1. Ciencias y humanidades

2. Grandeza y miseria de la filosofía analítica

3. Naturaleza humana y emociones morales

4. Convenciones y normas

5. Teoría de la racionalidad

6. La racionalidad científica

7. Límites del conocimiento

8. Modelos simples de un mundo complejo

9. La frontera entre ciencia y especulación

10. La consistencia en la ciencia empírica

11. Observación y detección

12. Hurgando el nanomundo

13. El principio antrópico en cosmología

14. Profesionales y aficionados

15. Albert Einstein

16. Karl Popper

17. Entrevista con Karl Popper

18. Thomas Kuhn

19. La epistemología evolutiva de Rescher

20. Apéndice: cuatro entrevistas al autor

Bibliografía

Prólogo

La curiosidad, la búsqueda de la verdad, el afán por el conocimiento y la tendencia a construir una visión del mundo amplia y fiable subyacen tanto a la ciencia como a la filosofía. Aunque la gran filosofía siempre ha estado fecundamente imbricada en la ciencia de su tiempo, y aunque los grandes científicos (como Darwin o Einstein) han sido también auténticos filósofos, en algunos medios académicos dominados por la burocracia y la frivolidad se ha producido un lamentable divorcio entre las ciencias y las humanidades, y una separación esterilizante entre el pensamiento filosófico y el científico. Una ciencia ayuna de filosofía corre el riesgo de quedar reducida a técnicas y rutinas desabridas y de corto vuelo. Una filosofía alejada de la ciencia con frecuencia degenera en mera palabrería y verborrea, en la que las citas y los juegos de palabras no logran restablecer el contacto con la realidad.

En este libro propugnamos una filosofía a la altura de nuestro tiempo, rigurosa, ambiciosa y plenamente integrada en la actividad intelectual de la época que nos ha tocado vivir, es decir, una filosofía que asimile y someta a crítica epistemológica y análisis conceptual los resultados de la investigación científica. Este empeño nos induce a preguntarnos por nosotros mismos, por nuestra naturaleza y nuestra cultura, para acabar haciendo del Universo entero el objeto de nuestra atención, avanzando así en la elaboración de una visión del mundo fiable y de gran alcance. A esta tarea dedicamos los capítulos 1, 2, 3 y 4 del presente libro. De todos modos, no hay que pensar que el efecto de la conjunción de ciencia y filosofía siempre sea satisfactorio; a veces surgen malentendidos, ingenuidades y confusiones conceptuales que es necesario aclarar. Por ejemplo, algunos autores de origen científico desarrollaron, bajo la etiqueta del «principio antrópico», una ideología confusa e incoherente, que analizamos y criticamos detalladamente en el capítulo 13.

Uno puede creer cualquier cosa y actuar de cualquier manera. Si todo le da igual, ya va bien así. Sin embargo, no todo suele darnos igual: tenemos preferencias. Queremos descubrir la verdad. Y queremos tener éxito en nuestras acciones, conseguir nuestros objetivos, satisfacer nuestros valores. En definitiva, queremos ser felices. La racionalidad es precisamente la estrategia de optimización que conduce a esa consecución de nuestras metas. En los capítulos 5, 6 y 7 tratamos de esta temática. En especial, el capítulo 5 contiene una presentación resumida y sistemática de la teoría de la racionalidad. Aquí definimos tanto la racionalidad teórica (la racionalidad de nuestras creencias o aceptaciones) como la racionalidad práctica (la racionalidad de nuestras acciones). Para

cada una de estas dos variedades presentamos una teoría formal o matemática y otra teoría material, que pretende contactar con la realidad de nuestra naturaleza y nuestro genoma. Los capítulos 6 y 7 tratan de la racionalidad científica y de los límites del conocimiento.

La teoría material de la racionalidad teórica colectiva nos remite a la ciencia de nuestro tiempo. Y el tipo de filosofía y de humanidades que propugnamos también involucran la ciencia. El título de este libro —*Ciencia, filosofía y racionalidad*— empieza con la palabra “ciencia”. En efecto, varios de sus capítulos (6, 7, 8, 9, 10, 11 y 14) están dedicados a analizar diversos aspectos de la práctica y el método científicos. Por otro lado, la ciencia actual avanza en algunos frentes en estrecho contacto con el desarrollo de nuevas tecnologías, como, por ejemplo, la nanotecnología, de la que tratamos en el capítulo 12, titulado precisamente «Hurgando el nanomundo».

Los capítulos 15, 16, 17, 18 y 19 tratan de cuatro grandes pensadores del siglo XX relacionados con la ciencia, desde Albert Einstein hasta Thomas Kuhn y Nicholas Rescher, pasando por Karl Popper, de quien se incluyen una amplia semblanza y una larga entrevista que tuve ocasión de hacerle y que hasta ahora no se había publicado como parte de un libro. Me he decidido a incluirla, pues ilumina diversos aspectos no bien conocidos de su pensamiento.

Al final, en un apéndice presentado como capítulo 20, se reúnen cuatro entrevistas recientes con el autor realizadas por el mismo periodista (Patricio Tapia) y publicadas en el mismo medio (el suplemento dominical de «Artes y Letras» del diario *El Mercurio*, de Santiago de Chile). Todas ellas tratan de la relación entre ciencia, filosofía y racionalidad y, por tanto, su contenido encaja bien con la temática de este libro, al que en cierto modo complementa, incidiendo en las mismas cuestiones en un formato más ágil y periodístico.

Algunos de los ensayos incluidos en este libro son versiones actualizadas y revisadas de artículos previamente publicados en español (como 2, 5 y 7) o en inglés (como 10, 13 y 19). Otros son inéditos y recién escritos; pero todos ellos comparten el mismo enfoque y se complementan mutuamente. La bibliografía, dividida en apartados correspondientes a los capítulos singulares, incluye tanto referencias relacionadas con los textos aquí presentados como sugerencias de lecturas suplementarias. Al lector especialmente interesado por las definiciones formales y los aspectos técnicos de los asuntos tratados le recomiendo que acuda a mis obras *Conceptos y Teorías en la Ciencia* (Alianza, 2008) y *Diccionario de Lógica y Filosofía de la Ciencia* (2ª edición, Alianza, 2010, escrito en colaboración con Roberto Torretti). El presente libro termina con un índice de términos y otro de nombres propios, que pueden ayudar a localizar el tema que se busca. En efecto, el libro puede leerse todo seguido, pero también puede leerse a saltos, concentrándose en los puntos que más despierten la curiosidad del lector y pasando por alto los demás. Para facilitar la lectura independiente de cada capítulo se han preservado unas pocas

repeticiones. Un par de advertencias terminológicas: aquí uso “DNA” (no ADN) para el ácido desoxirribonucleico, conforme al uso internacional; “humán” (no “hombre”) para el ser humano (hombre o mujer); “espaciotiempo” (no espacio-tiempo); y “experimentar” para tener experiencias, reservando “experimental” para hacer experimentos.

Estoy en deuda con mi buen amigo Virgilio Ortega por su ayuda en la revisión del libro. He tratado a Virgilio en diversos ámbitos, desde el universitario hasta el editorial, y en todos ha destacado por su erudición y su viveza intelectual. Le agradezco la generosidad con la que ha leído y comentado detalladamente el manuscrito de esta obra, que así ha quedado sensiblemente mejorada. He seguido muchas de sus sugerencias, pero no todas, por lo que los errores restantes son de mi exclusiva responsabilidad. Si todavía quedan imprecisiones, descuidos o errores, y el atento lector los detecta en su lectura, me los puede comunicar por *e-mail* a box@mosterin.com.

Moià, agosto de 2013
Jesús Mosterín

1

Ciencias y humanidades

Del humanismo a las humanidades

La palabra “humanismo” fue acuñada en el Renacimiento. Los humanistas, aunque cristianos sinceros, percibían la Edad Media como una época oscura, obsesionada por la muerte, el pecado y el infierno. Hastiados de la concepción medieval de este mundo como un valle de lágrimas, querían restaurar la serena visión de la Antigüedad y su aprecio del placer y la belleza. Esa visión clásica se había expresado en un latín elegante y sutil, que contrastaba con el latín macarrónico y empobrecido de los eclesiásticos medievales. Los humanistas pretendían restaurar el cultivo del latín refinado de los autores antiguos, acercándose a su visión serena mediante la lectura de sus obras. Al estudio de las letras sagradas (la Biblia y los Padres de la Iglesia) contrapusieron el de las letras humanas (los textos latinos clásicos y, en algún caso, también los griegos). La palabra “humanismo” pasó a designar el estudio de las letras humanas, es decir, la filología clásica, la lectura de los textos antiguos y el cultivo del buen latín y de la elocuencia literaria. Petrarca, Boccaccio, Pico Della Mirandola, Chaucer, Erasmo, Luis Vives, François Rabelais y Thomas More fueron algunos de los humanistas famosos.

Este humanismo estrecho, reducido a mera filología, fácilmente caía en la trampa de un antropocentrismo arrogante e incompatible con los avances del saber. Los humanistas, desdeñosos de la filosofía escolástica, despreciaban también la incipiente actividad científica moderna, que no entendían y que ponía en cuestión sus prejuicios y tradiciones. Pensaban que la verdadera sabiduría ya estaba en los autores clásicos, a los que había que estudiar, y que era ocioso innovar. Los resultados de Copérnico y Galileo eran ignorados o confrontados con hostilidad.

En el siglo XIX la tradición humanista afloró en las universidades, agrupando las disciplinas filológicas e históricas (incluyendo la historia del arte, la crítica literaria, la filosofía y los estudios religiosos) bajo el nombre genérico de “humanidades”. Entre sus contribuciones más valiosas destacan la edición crítica de los textos del pasado y, en general, el florecimiento de los estudios históricos.

En el siglo XX muchos intelectuales literarios y profesores de «humanidades» (unas humanidades que excluían nada menos que el genoma humano, el cerebro humano y la evolución humana) ya no entendían nada de la ciencia de su tiempo. En 1959, el científico y novelista británico C. P. Snow pronunció su famosa conferencia «The Two

Cultures» («Las dos culturas»), que lamentaba la separación entre científicos y literatos. En ella describía reuniones de académicos de humanidades de su universidad en las que nadie había oído hablar de la segunda ley de la termodinámica y ni siquiera sabía lo que era la aceleración, lo que equivaldría, según Snow, a nunca haber oído el nombre de Shakespeare y a ni siquiera saber leer. «The two cultures» generó una gran polémica, pero ya en 1963 Snow habló de la posibilidad de una tercera cultura que estableciera un puente entre las ciencias y las humanidades, propuesta recogida en 1995 por John Brockman en su libro *The Third Culture* (*La tercera cultura*).¹

Las trampas del antropocentrismo

Los precursores antiguos del humanismo ponían al *humán*² en el foco de su atención y se interesaban por todo lo humano. En las célebres palabras de Terencio: «Hombre soy, y nada humano me es ajeno» (*Homo sum, humani nihil a me alienum puto*).³ Esta amplia curiosidad humanística es claramente visible en la obra de los filósofos griegos clásicos, que siempre consideraron al *humán* (*ánthropos*) como parte de la naturaleza y como pieza de un cosmos global. El humanismo empezó a estrechar su punto de mira con la noción ciceroniana de *humanitas* (el núcleo de cualidades y propiedades específica y exclusivamente humanas). Cicerón era básicamente un político y no estaba interesado en todo lo humano, sino solo en las características peculiarmente humanas que hacen posible la vida política.

El humanismo estrecho cae fácilmente en las trampas del antropocentrismo. Cuando reducimos el foco de nuestro interés desde todo lo que somos (seres físicos, biológicos y sociales) a solo lo que tenemos de único y peculiar, perdemos el sentido del contexto y dejamos de lado nuestras características más importantes. Las peculiaridades de una especie animal con frecuencia son diferencias triviales, como una mancha más en un ala. Algunas especies solo se diferencian por algún rasgo invisible o por un leve retraso en el periodo de apareamiento. Un énfasis excesivo en lo que es únicamente humano puede resultar confundente. De hecho, la visión antropocéntrica del mundo es completamente falsa y distorsionada, pues finge para nosotros un centro que no ocupamos. No es de extrañar que siempre acabe chocando con la ciencia.

El humanismo estrecho degenera fácilmente en hostilidad contra la ciencia. Ya vimos que los humanistas del Renacimiento despreciaban no solo la filosofía escolástica, sino también la nueva ciencia matemática y experimental. En el siglo XX algunos estudiosos de las disciplinas literarias se sintieron superados y amenazados por los rápidos progresos de la ciencia y la tecnología. En vez de asimilarlos e integrarlos en un nuevo humanismo global a la altura de nuestro tiempo, adoptaron un anticientifismo oscurantista y confuso, empeñado en desacreditar cualquier pretensión de claridad, objetividad y rigor. Su

discurso zafio e intelectualmente deshonesto fue puesto en ridículo por el físico Alan Sokal en un sonado escándalo. Sokal escribió en broma un artículo que era una acumulación de grotescos sinsentidos y obvias falsedades, una parodia de las críticas posmodernas de la física. Le puso el pomposo título de «Transgressing the Boundaries: Toward a Transformative Hermeneutics of Quantum Gravity» («Transgresión de los límites: hacia una hermenéutica transformativa de la gravedad cuántica») y lo envió a la revista posmoderna *Social Text*. El artículo fue aprobado por la redacción y publicado en abril de 1996. Al día siguiente Sokal desvelaba en la portada del *New York Times* que todo había sido un chiste, que ponía al descubierto la incompetencia y falta de nivel de ese tipo de publicaciones. A continuación, Sokal y Jean Bricmont publicaron en francés *Impostures intellectuelles* (1997), traducido al inglés como *Fashionable Nonsense: Postmodern Intellectuals' Abuse of Science* (1998) y al español como *Imposturas intelectuales* (1999).⁴ El libro es una antología del absurdo posmoderno, que reúne todo tipo de citas de intelectuales pretenciosos, desde la identificación por Lacan del pene con la raíz cuadrada de -1 hasta la crítica de la ecuación relativista especial $E = mc^2$ por privilegiar la velocidad de la luz c frente a otras velocidades con los mismos derechos, pasando por alusiones disparatadas a los teoremas de Kurt Gödel o Paul Cohen.

El antropocentrismo contribuye también a la falta de sensibilidad moral hacia las criaturas no humanas. En las tradiciones judía, cristiana e islámica solo la gente, los humanos, son objeto de consideración moral. Nuestra tradición cultural carecía de elementos comparables al sentido de la naturaleza del daoísmo chino o a la preocupación moral de los budistas y jainistas por no causar daño a las criaturas (la concepción de la *a-himsa* o no-violencia como la virtud moral suprema). En la antropocéntrica tradición occidental la naturaleza era ignorada o concebida como un mero objeto de explotación humana. Se suponía que los humanos no teníamos nada que ver con los otros animales ni con el resto de la naturaleza. Nosotros habríamos sido creados a imagen y semejanza de Dios y colocados en el centro del escenario del gran teatro del mundo como los protagonistas de la representación. El Sol y todos los planetas y estrellas giraban en torno a la Tierra, nuestro trono, y Dios y los ángeles, como espectadores sentados tras la esfera de las estrellas fijas, continuamente nos vigilaban, censuraban y aplaudían.

El humanismo occidental concede un peso excesivo a su propia tradición religiosa y cultural. Otros grupos étnicos y culturales tienen otros clásicos, otras creencias tradicionales y otras religiones. La llamada a la fidelidad cultural es una invitación a permanecer prisioneros en la caverna de la propia tradición, encadenados a una particular interpretación religiosa del mundo (tan arbitraria como las demás). Lo que necesitamos es liberarnos de nuestras cadenas intelectuales, y eso solo puede lograrse mediante una manera libre y universal de pensar, más en concordancia con nuestro mundo crecientemente globalizado y de la que la ciencia y la tecnología actuales son ejemplos.

Obviamente, no será renunciando a la principal fuente de información de que disponemos como podremos llegar a conocernos. A la ciencia hay que ordeñarla, no temerla. La épica historia de la Revolución Científica es bien conocida. Copérnico apartó la Tierra del centro del Universo, degradándola a la categoría de mero planeta del Sol. Bruno apartó al Sol del centro del Universo, degradándolo a la condición de una más entre millones de estrellas. Todavía en 1920 la mayoría de los astrónomos dudaban de que hubiese otras galaxias fuera de la Vía Láctea. Más recientemente nos hemos ido dando cuenta de que no solo nuestro Sol es una estrella más entre los cientos de miles de millones que componen nuestra galaxia, sino que nuestra galaxia misma es a su vez una galaxia más entre los miles de millones que pueblan el Universo observable. La isotropía inferida de la radiación cósmica de fondo constituye la más radical negación de cualquier forma de antropocentrismo. Ni el Universo tiene un centro ni la Tierra ocupa posición central alguna.

El principio antrópico

En este contexto es sorprendente que algunos autores hayan tratado de reabrir el debate sobre designio cósmico y antropocentrismo bajo el estandarte del llamado «principio antrópico». Las desenfocadas especulaciones «antrópicas» de algunos científicos y divulgadores han acabado en las manos de ciertos humanistas y teólogos como caricaturas de la ciencia actual. Siempre ha habido científicos que en algún momento se han dejado llevar por la especulación fantasiosa e incontrolada. Basta con pensar en las miles de horas y de páginas que el propio Newton dedicó a confusas elucubraciones alquímicas o teológicas. Lo que proporciona autoridad científica a una idea no es el hecho sociológico de que algún científico más o menos famoso la haya defendido, sino el hecho epistemológico de que esté contrastada y apoyada mediante una metodología sólida y fiable. Una filosofía aislada de la ciencia viva incurre con frecuencia en una ciega aceptación de cuanto dicen los científicos (cientifismo) o en un no menos ciego rechazo y hostilidad hacia todos los resultados de la ciencia, incluso los más sólidos y fiables (anticientifismo). Ambas actitudes son estériles y aburridas. Lo que necesitamos es una recepción abierta pero crítica de los resultados de la ciencia, un filtro epistemológico que nos ayude a separar el grano fiable y contrastado de la paja especulativa.

El llamado principio antrópico trata de explicar los valores de las constantes fundamentales de la física por el hecho de que nosotros, los humanos, existimos. Si esos valores hubieran sido muy distintos, nosotros no existiríamos. Desde luego que no, y tampoco existirían las cucarachas, ni las rocas calizas, ni las nubes, ni los mares. En el Universo existen las cosas que hay, porque la física es como es. Si la física fuese distinta, habría cosas diferentes. Es la física la que explica por qué puede haber cosas tales como humanos o cucarachas, y no al revés. Cualquier física aceptable tiene que ser compatible

con todos los datos empíricos, pero eso no tiene nada que ver con que las cucarachas o nosotros expliquemos la física o los valores de sus constantes fundamentales.

El principio antrópico se presenta en dos versiones, una débil y otra fuerte, como veremos con más detalle en el capítulo 13. La débil dice que las constantes de la física no pueden tener valores incompatibles con nuestra existencia (o la de otros seres vivos o la de átomos de carbono). En su versión débil, el principio antrópico es una tautología, un principio de inferencia trivial, una especialización de la regla lógica del *Modus ponens*: «si *B* es una condición necesaria de *A*, y ocurre *A*, entonces ocurre *B*», lo cual no es una explicación de *B*. Que haya oxígeno en el aire es una condición necesaria de que yo viva y que yo viva es una condición necesaria de que yo estornude, pero mi estornudo no es una explicación (aunque sí un síntoma) de que yo esté vivo, y mi vida no es una explicación del hecho de que haya oxígeno en la atmósfera. La explicación es direccional y las presuntas explicaciones antrópicas circulan en dirección contraria. Como el Sacro Imperio Romano, que ni era sacro, ni un imperio, ni romano, las explicaciones basadas en el principio antrópico no son explicaciones, no aplican ningún principio y no tienen nada de antrópicas (valen tanto para las piedras o los gusanos o cualesquiera otros objetos con elementos químicos pesados como para nosotros). Si el principio antrópico débil no explica nada, aún menos predice cosa alguna que no supiéramos ya de antemano.

En su versión fuerte, el principio antrópico dice que el Universo entero es una conspiración para producir seres humanos, es decir, que las leyes de la física son un esquema teleológico (y a veces incluso teológico) para fabricar humanos. Esta especulación alcanzó su punto álgido con la publicación en 1994 de *The Physics of Immortality*,⁵ en que su autor, Frank Tipler (coautor también, junto con Barrow, de *The Anthropic Cosmological Principle*, que popularizó esta confusa manera de pensar en 1986) pretende deducir de la relatividad general la tesis delirante de que el Universo entero se convertirá en un gigantesco computador programado por Dios para resucitar a los muertos. Otra variante laica de la versión fuerte del principio postula la existencia de una infinidad de Universos distintos (incomunicados con el nuestro y sin efecto alguno sobre él) en la cual todo tipo de físicas concebibles e inconcebibles y cualesquiera valores de las constantes fundamentales se realizarían en diversos Universos. Esta portentosa orgía anti-ockhamista explicaría (*sic*) cualquier combinación posible de valores de las constantes, incluida la combinación compatible con la vida que conocemos.

Cultura en general

A veces se recomienda una retirada táctica en el presunto conflicto entre la ciencia y las humanidades: las humanidades deberían abdicar de cualquier ambición de conocer el

mundo natural, al tiempo que reclamarían el derecho exclusivo al estudio de la cultura. Así, la antropología, por ejemplo, se dividiría en antropología física (concedida a la ciencia) y antropología cultural, el residuo humanista. Pero esta distinción no es tan tajante como suena.

¿Qué es la cultura? La cultura es información almacenada en el cerebro y adquirida por aprendizaje social. En efecto, disponemos de dos procesadores biológicos de información: el genoma y el cerebro. El genoma procesa lentamente la información a largo plazo, que es transmitida de padres a infantes por medios genéticos y constituye nuestra naturaleza. El cerebro procesa rápidamente la información a corto plazo, que se transmite de cerebro a cerebro por medios no genéticos (por aprendizaje social) y constituye esa red de información compartida a la que llamamos cultura. Cada uno de nosotros tiene su cultura, la información cultural almacenada en su cerebro. La cultura de un grupo social o étnico puede ser fácilmente definida en función de las culturas de sus miembros.⁶

La reciente e ingente acumulación cultural humana (facilitada por nuestra capacidad lingüística y complementada por los medios artificiales de almacenamiento de la información, como los libros, los discos o los servidores de Internet) es un fenómeno sin paralelo en el reino animal. Sin embargo, la cultura es frecuente entre los mamíferos y otros animales. Si un rasgo de conducta es natural o cultural no depende de la función del rasgo, sino solo del modo como ha sido adquirido. Así, el particular canto que constituye el reclamo de un tipo de ave es natural (innato) en algunas especies y cultural (adquirido) en otras.

En los últimos treinta años, varios investigadores de campo han dedicado mucho tiempo y energía al descubrimiento de las pautas culturales de diversas especies animales, sobre todo de primates. Por ejemplo, los etólogos japoneses han observado y registrado el surgimiento, desarrollo y eventual extinción de diferentes tradiciones culturales entre la población de macacos (*Macaca fuscata*) de la isla de Koshima. Cuando los investigadores arrojaban boniatos a la playa, se llenaban de arena y eran difíciles de consumir. A la joven hembra Imo se le ocurrió lavarlos en un arroyo cercano, haciéndolos así comestibles. Otros macacos empezaron pronto a imitarla, lavando y comiendo los boniatos. Un día a la sibarita y juguetona Imo se le ocurrió lavarlos en el agua salada del mar, encontrándolos así más sabrosos, conducta que también fue imitada por los demás. Dos años más tarde los etólogos empezaron a arrojar granos de trigo a la arena. Algunos macacos trataron de recogerlos uno por uno, pero el procedimiento era demasiado laborioso. De nuevo Imo (que ya tenía cuatro años) tuvo una idea genial: separar el trigo de la arena echando puñados de arena mezclada al agua; la arena se hundía y los granos flotaban, siendo así recogidos fácilmente. También esta innovación de Imo encontró amplia aceptación en el grupo, fue enseñada por las madres a las crías y

transmitida culturalmente.

El uso cultural de herramientas ha sido estudiado con especial cuidado entre los chimpancés, tan dados al juego y la exploración.⁷ Los chimpancés son claramente capaces de inventar, aprender y transmitir por imitación sus invenciones, creando notables tradiciones culturales. Gracias a las investigaciones de campo de Jane Goodall sabemos que los chimpancés de la reserva de Gombe (Tanzania) hacen uso abundante de los palos y ramas como látigos, porras y armas arrojadizas de combate o de juego. En las épocas de sequía emplean hojas masticadas como esponjas para sacar agua del interior de los árboles. Usan ramitas, cuidadosamente deshojadas y alisadas, para «pescar» termitas: las introducen en los agujeros de los termiteros hasta que las termitas pican y luego las sacan, comiéndose las termitas como en un pincho moruno. Incluso usan las mismas ramitas como ayudas olfativas, para comprobar si los termiteros están habitados o vacíos. Los chimpancés de diversas áreas africanas tienen tradiciones culturales distintas. Así, los de África occidental ignoran la técnica oriental de pesca de termitas con ramitas, pero han desarrollado la cultura del uso de las piedras como yunques y martillos con los que romper las duras cáscaras de las nueces, tal como Christophe Boesch ha documentado con todo detalle. Obviamente, una teoría general de la cultura no puede dejar de lado todas estas y muchas otras manifestaciones de cultura animal. Incluso en este tema paradigmáticamente humanístico de la cultura, el estudio puede ser convenientemente refrescado y ampliado por la mirada más allá de nuestros propios hombros y por la consideración abierta de la completa generalidad del fenómeno.

Ciencia y filosofía: un continuo

Ciencia y filosofía forman un continuo. La filosofía es la parte más global y reflexiva del continuo, el escenario de las discusiones que preceden y siguen a los avances científicos. La ciencia es la parte más especializada, rigurosa y bien contrastada, la que se incorpora a los modelos estándar, a los libros de texto y a las aplicaciones tecnológicas. Ciencia y filosofía se desarrollan dinámicamente, en constante interacción. Lo que ayer era especulación filosófica hoy es ciencia establecida. Y la ciencia de hoy sirve de punto de partida a la filosofía de mañana. La reflexión crítica y analítica de la filosofía detecta problemas conceptuales y metodológicos en la ciencia y la empuja hacia un mayor rigor. Y los nuevos resultados de la investigación científica echan por tierra viejas hipótesis especulativas, y estimulan a la filosofía a progresar.

En griego clásico las palabras “ciencia” (*epistémē*) y “filosofía” (*philosophía*) se empleaban como sinónimos. Ambas se referían al saber riguroso, y se contraponían a la mera opinión infundada (*dóxa*). Lo que nosotros llamamos ciencia se originó en el siglo XVII, con la pretensión de ser una filosofía más rigurosa y fecunda que la practicada hasta

entonces. A este surgimiento contribuyeron numerosas personalidades, entre las que destaca Isaac Newton, el fundador de la física moderna.

En febrero de 1672, Newton publicó su primer artículo, en el que exponía sus descubrimientos sobre la luz y el color. Al mes siguiente publicó un informe sobre el telescopio reflector que acababa de inventar. Esos dos artículos, junto con los otros quince que publicaría en los cuatro años siguientes, aparecieron en la primera revista científica del mundo, que todavía hoy sigue publicándose, las *Philosophical Transactions of the Royal Society* (*Actas filosóficas de la Royal Society*). La mecánica clásica nace con la publicación en 1687 de la obra capital de Newton, su *Philosophiae Naturalis Principia Mathematica* (*Principios matemáticos de la filosofía natural*).

La palabra “filosofía” no solo aparece en el título de la primera revista científica y en el de la obra fundacional de la física moderna, sino también en muchas otras obras importantes de otros campos de la ciencia. La química recibió su primera fundamentación atomista en el libro de Dalton *A New System of Chemical Philosophy* (*Un nuevo sistema de filosofía química*), publicado en 1808. Al año siguiente la primera (e insatisfactoria) versión de la teoría de la evolución biológica fue expuesta por Lamarck en su *Philosophie zoologique* (*Filosofía zoológica*). Todavía hoy quienes se doctoran en biología, física o matemáticas en Estados Unidos reciben el PhD o título de *Doctor of Philosophy*.

Sería difícil decir si Aristóteles, Descartes o Leibniz eran más filósofos o científicos. Aristóteles, por ejemplo, escribió más páginas de zoología que de metafísica, ética y lógica, juntas. Y las contribuciones de Descartes y Leibniz a la creación de la geometría analítica y del cálculo infinitesimal son bien conocidas. Incluso un filósofo tan presuntamente puro como Kant formuló la primera hipótesis coherente y compatible con la mecánica de Newton acerca de la formación de nuestro sistema solar, sugirió que la Vía Láctea es una galaxia entre otras y anticipó la idea correcta de que la fricción de las mareas frena la rotación terrestre.

A principios del siglo XIX se constituyó la nueva universidad alemana, dividida en compartimentos estancos, y donde, al amparo de la reacción romántica antimoderna, las cátedras de filosofía fueron ocupadas por filósofos idealistas como Fichte o Hegel, que solo habían estudiado teología y filología, e ignoraban por completo la ciencia de su tiempo. Con ellos se consumó un cisma que tuvo consecuencias lamentables de oscuridad, palabrería e irrelevancia, de las que la filosofía alemana todavía no se ha recuperado del todo. Sin embargo, la filosofía mundial del siglo XX ha estado dominada por las grandes figuras de los filósofos científicos y de los científicos filósofos, muchos de ellos de lengua alemana, desde Frege, Husserl, Wittgenstein y Popper hasta Hilbert, Gödel, Einstein, Bohr y Lorenz.

La ciencia actual ha progresado tanto que su transmisión y desarrollo serían

inconcebibles sin una extremada división del trabajo intelectual. El científico típico sabe cada vez más sobre cada vez menos. Eso es lo que le permite seguir avanzando. Sin embargo, el científico es también con frecuencia un ser humano dotado de una curiosidad sin límites, que se extiende más allá de las fronteras de su propia especialidad, y dotado de un agudo sentido crítico. Eso es lo que le permite seguir filosofando.

Todos los científicos de talla filosofan y especulan. Stephen Hawking ha llegado a decir que en nuestro tiempo solo los físicos se atreven a hacer filosofía. Gran parte de las teorías de vanguardia de la física actual son puramente especulativas, sin contacto alguno con la contrastación empírica. La teoría de supercuerdas, que ha ocupado a muchos de los mejores físicos teóricos en las últimas décadas, es de momento puramente especulativa, a pesar de su impresionante sofisticación matemática. Ello no excluye (ni implica) que algún día pueda encontrar puntos de contacto con la realidad y convertirse en ciencia empírica. También el atomismo fue una mera especulación filosófica durante casi 2500 años, antes de encontrar confirmación experimental y pasar a ser la base de la química. Por otro lado, el que los científicos especulen filosóficamente no implica tampoco que sus especulaciones sean siempre buenas. En el llamado principio antrópico ya vimos un ejemplo de mala filosofía.

Desde los orígenes del pensamiento racional, el ser humano, en momentos de lucidez, se ha planteado grandes preguntas: ¿de qué están hechas todas las cosas?, ¿cuál fue el origen y cuál será el fin del Universo?, ¿qué es la vida?, ¿de dónde venimos?, ¿a dónde vamos?, ¿qué sentido tiene nuestra vida?, ¿qué podemos conocer? Contestar a estas grandes preguntas es la motivación profunda de la empresa científica y filosófica. Cuando los filósofos se olvidan de ellas o cuando tratan de contestarlas ignorando los resultados de la ciencia, caen en el escolasticismo y la huera verborrea. Cuando los científicos se olvidan de ellas, quedan reducidos a un tecnicismo árido y desabrido. Por el interfaz entre ciencia y filosofía pasa el horizonte en expansión de la comprensión racional del mundo y el punto álgido del placer intelectual.

No hay ninguna oposición ni separación tajante entre ciencia y filosofía. La contraposición se da, más bien, entre la frivolidad, la superstición y la ignorancia, por un lado, y la tendencia al saber y el empeño esforzado y racional por comprender la realidad, por otro. Este esfuerzo se plasma en la curiosidad universal, el rigor, la claridad conceptual y la contrastación empírica de nuestras representaciones. En la medida en que estos ideales se realizan parcial y localmente, hablamos de ciencia. En la medida en que solo se dan como aspiración todavía no realizada, hablamos de filosofía. Pero solo en su conjunción alcanza la aventura intelectual humana su más jugosa plenitud.

Los delirios de la autoconciencia aislada

Platón escribió que nuestra alma es un espíritu que cayó del cielo, donde vivía antes de

nacer, precipitándose sobre el cuerpo que ahora lo aprisiona. Desde luego, es imposible saber hasta qué punto Platón se tomaba en serio sus propios mitos. Aristóteles pensaba que el cerebro es un refrigerador dedicado a enfriar la sangre que el corazón calienta en exceso. Descartes consideraba que el cuerpo y el alma son cosas completamente distintas e independientes. El alma sería puro pensamiento (*res cogitans*) y el cuerpo pura extensión (*res extensa*). Según Descartes, la glándula pineal (en realidad, la fábrica de melatonina que tenemos en medio del encéfalo y que induce el sueño cada 24 horas) es el lugar imposible donde un alma inespacial y etérea interacciona con un cuerpo burdamente mecánico. Su concepción del humano era totalmente falsa, tanto en su tendencia general como en sus detalles. La idea del humano introducida por Platón y Descartes no solo no representó progreso alguno respecto a las vulgares intuiciones previas, sino que más bien supuso un retroceso. Tenemos que admirar su noble ambición cognitiva, pero no podemos comulgar con sus doctrinas fallidas. El humanismo que necesitamos (*hélas!*) está aún por hacer. Nuestro cerebro tiene casi el mismo número de neuronas que estrellas tiene nuestra galaxia, y a través de sus innumerables conexiones circula la savia de la información mediante procesos apenas descifrados, pero percibidos por dentro como consciencia. Nuestro cerebro es el lugar de la autoconsciencia, el foco de las nuevas humanidades y el gran reto lanzado a la ciencia actual.

Los peligros de una filosofía que ignora la ciencia y da la espalda a la realidad pueden ejemplificarse en la recurrente idea filosófica de la ausencia de una naturaleza humana. Todas las otras especies animales tendrían una naturaleza (un genoma, un acervo génico), pero los humanos serían la excepción. La tesis de que los humanos constituyen la única especie animal carente de naturaleza definida, pues son pura plasticidad, aparece ya claramente expresada en el humanista Pico Della Mirandola. Desde Pico hasta los conductistas y existencialistas, pasando por los idealistas y marxistas, muchos han pensado que la especie humana carece de naturaleza. Nosotros seríamos pura libertad e indeterminación y vendríamos al mundo como *tabula rasa*. En realidad, cada una de nuestras células contiene la definición de nuestra naturaleza inscrita en el genoma. Nosotros somos repúblicas de células, a su vez originadas en remotos conflictos y alianzas de bacterias. Somos una de las yemas terminales del frondoso árbol de la vida.

Pico Della Mirandola (1463-1494) estaba convencido de la superioridad del humano sobre las demás criaturas:

Por eso Dios escogió al hombre como obra de naturaleza indefinida, y una vez lo hubo colocado en el centro del mundo, le habló así: No te he dado, oh Adán, ningún lugar determinado, ni una presentación propia ni ninguna prerrogativa exclusiva tuya; pero aquel lugar, aquella presentación, aquellas prerrogativas que tú desees, las obtendrás y conservarás según tus deseos y según tú lo entiendas. La naturaleza limitada de los demás está contenida en las leyes escritas por mí. Pero tú determinarás tu propia naturaleza sin ninguna barrera, según tu arbitrio, y al parecer de tu arbitrio la entrego. Te puse en medio del mundo para que desde allí pudieses darte mejor cuenta de todo lo que hay en el mundo. No te he hecho celeste ni terreno, mortal ni inmortal, para que por ti mismo, como libre y soberano artífice, te formes y te esculpas en la forma que hayas

escogido.⁸

Marx pensaba que la naturaleza humana es simplemente el resultado de las relaciones de producción, de tal modo que, alterando las relaciones de producción, podríamos transformar la naturaleza humana misma. Según Sartre, en los humanos la existencia como libertad precede a la esencia como naturaleza: los humanos son libres de elegir su propia naturaleza. El alma separada del cuerpo, la especie humana sin naturaleza... ¿Cómo podían haberse equivocado tanto estos pensadores? Un error no es menos erróneo por el hecho de repetirse muchas veces. Esta es una de las diferencias entre la crítica literaria y el análisis epistemológico, que no pueden confundirse. Que mucha gente sostenga una opinión basta para que esa opinión esté de moda, pero no basta para que sea verdad. La autoconciencia y la autoimagen proporcionadas en el pasado por una filosofía humanística basada en la especulación divorciada de la experiencia desembocaban con frecuencia en el autoengaño. Lejos de iluminar o precisar nuestra autoconciencia, contribuían a distorsionarla.

El anclaje de la autoconciencia en la conciencia cósmica

La tarea de las humanidades consiste (o debería consistir) en elevar nuestra autoconciencia como seres humanos. La búsqueda de la autoconciencia y la indagación de lo que somos siempre han sido una poderosa motivación subyacente a los empeños filosóficos y científicos. *Gno–thi seautón* («Conócete a ti mismo»), nos recomendaba el oráculo del dios Apolo en Delfos. Sigamos su consejo.

Dentro del género *Homo*, Linneo nos caracterizó como *sapiens* (los que saben). Cuanto más sabemos acerca de nosotros mismos, cuanto más lúcida y bien informada es nuestra autoconciencia, tanto más merecemos ostentar el orgulloso título de *Homo sapiens*. La autoconciencia bien informada no puede desarrollarse con independencia de los avances del conocimiento que nos proporciona la ciencia. Las diversas tradiciones étnicas y literarias ofrecen diferentes respuestas míticas a la cuestión del origen de la humanidad, pero solo la paleontología, la paleoantropología y el análisis genético comparativo nos proporcionan un conocimiento sólido y epistemológicamente aceptable al respecto. Las estériles y virulentas discusiones ideológicas sobre lo que es genéticamente heredado o, al contrario, adquirido por aprendizaje en la conducta humana no han llegado a ningún resultado, pero el progreso constante en el conocimiento del genoma humano ofrece por primera vez la esperanza de encontrar respuestas aceptables. ¿Cómo podríamos despreciar sin una gran dosis de mala fe los resultados de la ciencia que son de relevancia directa para la cuestión de lo que somos y de dónde venimos?

¿Quién soy yo? ¿Qué somos los humanos? ¿Qué posición ocupamos en el Universo? ¿De qué estamos hechos, con quién estamos emparentados, qué posibilidades y

limitaciones tenemos? Solo un humanismo amplio y profundo puede responder a estas preguntas. Los humanistas del Renacimiento no eran tan ambiciosos.

Los ecos del Big Bang retumban todavía en las partículas de las que estamos hechos. Nuestra composición química es más afín a la cósmica que a la terrestre. Por el hidrógeno que llevamos dentro (formado en el fogonazo que produjo la radiación cósmica de fondo, cuando el Universo se hizo transparente a los fotones) somos hijos de la luz. Por el carbono, el nitrógeno y el oxígeno (forjados en los hornos estelares y dispersados en explosiones agónicas de supernovas) somos polvo de estrellas. El microcosmos de nuestro cuerpo es el compendio de la historia del macrocosmos, como los clásicos no se cansaron de subrayar. Con frecuencia se ha usado esta metáfora del microcosmos (el humano) como recapitulación del macrocosmos (el Universo). Aunque exagerada, la metáfora encierra algo de verdad. Una mirada a nuestro interior revela muchas huellas de la historia del Universo. No somos ángeles ni máquinas: somos animales, emparentados con todos los seres vivos. Y nuestras múltiples semejanzas bioquímicas, genéticas y conductuales con el resto del reino animal documentan las diversas etapas de la historia de la vida. Precisamente una de las preguntas cruciales del humanismo amplio es la cuestión del origen y el desarrollo en el tiempo de la humanidad, sobre la que no sabíamos nada hasta hace un siglo y medio.

Somos sistemas físicos, partes del Universo, pero no partes cualesquiera: somos (o podemos llegar a ser) partes conscientes del Universo y, por tanto, partes de la conciencia cósmica. La conciencia cósmica es la conciencia distribuida del Universo (la «conciencia divina», si se quiere hablar metafóricamente). Cuando nuestro cerebro piensa, decimos que nosotros pensamos. Nuestro cerebro es parte nuestra, pero nosotros somos partes del Universo y, por tanto, nuestro cerebro es parte del Universo. Cuando pensamos en el Universo con nuestro cerebro, el Universo se piensa a sí mismo en nuestro cerebro. Nuestros pensamientos son chispas «divinas», chispas de la conciencia cósmica. Es posible que otras criaturas inteligentes piensen también en el Universo en algún otro lugar en la vasta inmensidad del espaciotiempo, pero no lo sabemos. Si existen, ellas son también partes de la conciencia cósmica distribuida, participantes, como nosotros, en la autoconciencia universal. No sabemos si existen. Por si acaso, desde aquí les envío un saludo.

Actualmente los humanos tenemos que encarar problemas y retos inéditos, sobre los cuales los clásicos no dijeron nada: el cambio climático, la explosión demográfica, la destrucción de la biodiversidad del planeta, el agotamiento o escasez de recursos naturales como el agua o el petróleo, nuevos métodos de control de nacimientos y muertes, posibilidades y riesgos de la ingeniería genética, globalización de los mercados y la economía, migraciones masivas, insuficiencia de los estados nacionales como marco de la vida política, una cultura universal basada en la difusión instantánea y mundial de la

información a través de los nuevos canales de comunicación. Solo desde la plataforma de una autoconciencia humana más profunda y mejor informada, enraizada en la conciencia cósmica, podemos esperar enfrentarnos con éxito a los problemas, oportunidades y dilemas que se avecinan. La filosofía debería actuar como un catalizador en esta tarea, convirtiéndose en un puente entre las ciencias y las humanidades. La verdad, la generalidad, la precisión, la autoconciencia y la honestidad intelectual han de ser reivindicados como valores de todo tipo de investigación, tanto científica como filosófica o humanística. El espejo roto de la investigación especializada ha de ser recompuesto en una imagen global unitaria, si es que ha de servir como marco en el que analizar y resolver nuestros problemas individuales y colectivos. La búsqueda de una cosmovisión global, por muy provisional que sea, es el fin último de toda investigación. Para ello necesitamos ciencia, pero también racionalidad y sabiduría. En definitiva, necesitamos un nuevo humanismo a la altura de nuestro tiempo, que haga uso de los tesoros de información que la ciencia nos proporciona y encare sin prejuicios los problemas y retos actuales.

Notas:

1. Brockman, J., *The Third Culture: Beyond the Scientific Revolution*, Simon & Schuster, 1995. Hay edición en español: *La tercera cultura*, Tusquets, 1996.
2. Aquí usamos el sustantivo “humán” (en plural, “humanes”) en el sentido de ser humano (hombre o mujer).
3. Terencio, *Heautontimorumenos*, (*El que se atormenta a sí mismo*), 77. Hay edición en español en Gredos.
4. Sokal, A. y Bricmont, J., *Fashionable Nonsense: Postmodern Intellectuals' Abuse of Science*, Picador, 1998. Hay traducción en español: *Imposturas intelectuales*. Paidós, Barcelona, 1999.
5. Tipler, F., *The Physics of Immortality: Modern Cosmology, God and the Resurrection of the Dead*, Doubleday, Nueva York, 1994. Hay traducción en español: *La física de la inmortalidad*. Alianza Universidad, Madrid, 1996.
6. Véase, por ejemplo, Mosterín, J., *La cultura humana*, Espasa, Madrid, págs. 181-184, 2009.
7. Véase, por ejemplo, Sabater Pi, J., *El chimpancé y los orígenes de la cultura* (2ª ed.), Anthropos, Barcelona, 1984; McGrew, W., *Chimpanzee Material Culture: Implications for Human Evolution*, Cambridge University Press, 1992; Wrangham, McGrew, R., de Waal y Heltne (ed.), *Chimpanzee Cultures*, Harvard University Press, 1994; Boesch, C., *Wild Cultures: A Comparison between Chimpanzee and Human Cultures*, Cambridge University Press, 2012.
8. Pico Della Mirandola, *Oratio de humanis dignitate, Discurso de la dignidad humana*. Hay ediciones en español en la Editora Nacional (Madrid, 1982) y la de la UNAM (México, 2003).

2

Grandeza y miseria de la filosofía analítica

El derrumbe de las ideologías

Si todo nos da igual, si no pretendemos ir a sitio alguno, tampoco tendremos necesidad de orientarnos. Pero si tratamos de vivir lo mejor posible, requeriremos una orientación global, una brújula que nos señale la buena vida que buscamos y un mapa del mundo cuyos caminos transitamos. Esta orientación vital solía ser proporcionada en el pasado por las religiones y (más recientemente) por las ideologías políticas, tanto en el caso de los grandes movimientos de masas, como el cristianismo, el islam, el nacionalismo o el comunismo, como en el de las pequeñas sectas y las facciones marginales.

La religión ha pretendido orientarnos acerca de cómo es la realidad en su conjunto y acerca de cómo vivir lo mejor posible, pero en la mayor parte de los casos sus orientaciones han sido formas de autoengaño. Como decía Karl Marx, la religión proporciona consuelos ilusorios a una vida infeliz. La sabiduría filosófica, por el contrario, consistiría en saber vivir realmente bien, de un modo lúcido y con los ojos abiertos. La filosofía podría compararse metafóricamente con un intento de religión racional, lo que incluye la búsqueda de una cosmovisión intelectualmente honesta, que tenga en cuenta y evalúe críticamente los resultados de la ciencia. La filosofía es un intento de buena vida basado en la verdad y en el conocimiento más objetivo posible de la realidad.

La situación cultural de nuestra época se caracteriza por el estrepitoso fracaso de todas las religiones e ideologías como guías de nuestra manera de pensar y de vivir. (El exacerbado fanatismo del islamismo yihadista, aunque crea un gran problema de seguridad, subraya, más que mitiga, el fracaso intelectual de las religiones.) El derrumbe de los viejos idearios nos ha dejado como náufragos intelectuales en un mar sin puntos de referencia. Nunca en el pasado los humanos habíamos sido tan libres, ni habíamos estado tan bien informados como ahora. Y, sin embargo, nuestro desasosiego y desorientación son obvios, así como nuestra carencia de respuestas claras y soluciones compartidas a los problemas de nuestro tiempo, tanto personales, como ecológicos y políticos.

El humano actual, radicalmente desorientado, dejado huérfano y a la intemperie por el descalabro de religiones e ideologías y enfrentado a retos inéditos y acuciantes, requiere una brújula intelectual, una cosmovisión, una filosofía a la altura de nuestro tiempo. La

busca, pero no la encuentra, pues la filosofía que necesitamos está aún por hacer.

La filosofía continental

Dos filosofías ideológicas con fuerte apoyo institucional (el tomismo, sostenido por la iglesia católica, y el marxismo, promovido por la Unión Soviética y los partidos comunistas) generaron un enorme volumen de publicaciones durante el siglo XX. Ambas alcanzaron también gran difusión en España y América Latina. Sin embargo, actualmente ambas están ya muertas y enterradas. La filosofía que hoy sigue haciéndose suele clasificarse (de modo hartamente confuso) en dos tipos: continental y analítica.

La denominación de “filosofía continental” la inventaron los ingleses para referirse a todas las filosofías que se hacían en el continente europeo, es decir, en Europa fuera de las Islas Británicas. En este cajón de sastre metían desde la fenomenología y el existencialismo hasta las filosofías de Ortega y Gasset, de Cassirer o de Habermas, pasando por todo tipo de resurrecciones (neotomismo, neokantismo, neomarxismo) y ensaladas intelectuales más o menos confusas, como el posmodernismo o el pensamiento débil, tendencias que apenas si tenían algo en común. En el ámbito «continental» solía ignorarse la lógica y la ciencia, no se valoraba la claridad lingüística y conceptual (aunque había excepciones, como Ortega y Gasset) y con frecuencia la oscuridad más farragosa era tomada como síntoma de profundidad e interpretada con el respeto acrítico típico de la hermenéutica de los textos sagrados. El desfallecimiento de este tipo de filosofía en los últimos decenios ha ido acompañado, tanto en Europa como en América, de una notable floración de estudios históricos y de ediciones críticas de textos filosóficos pretéritos. La llamada filosofía continental ha quedado, pues, prácticamente reducida a historia de la filosofía, como se refleja en los planes de estudio de muchas universidades europeas, donde la mayor parte de los profesores se limitan a leer y comentar los textos de los filósofos del pasado.

Muchos filósofos «continentales» nos informan sobre las soluciones que los pensadores de antaño dieron a sus problemas, pero no pretenden orientarnos en el laberinto de nuestro tiempo. Ya no hacen filosofía, sino solo historia de la filosofía, lo cual es una tarea importante, pero distinta. Los filósofos clásicos del pasado (como Aristóteles o Descartes o Hume o Kant) siempre consideraron la revisión histórica de las opiniones de sus predecesores como una mera introducción al tema, y nunca abdicaron de la confrontación directa con los problemas, que es la característica de la auténtica filosofía.

La filosofía analítica

La denominación de “filosofía analítica” empezó aplicándose solo a los pocos filósofos

de la primera mitad del siglo XX que defendían la tesis de que la solución (o disolución) de todos los problemas filosóficos vendría del análisis de las expresiones usadas en su formulación. Los filósofos analíticos (en este sentido estricto y temporalmente localizado) pensaban que todos los problemas filosóficos son problemas lingüísticos, es decir, problemas debidos a nuestra ignorancia de las complejidades del lenguaje en que los planteamos o a los defectos de dicho lenguaje. La solución de los problemas filosóficos se encontraría entonces en una mejor autoconciencia lingüística o en su traducción a un lenguaje artificial perfecto.

Un huraño profesor de la universidad de Jena, Gottlob Frege, fundó a finales del siglo XIX la lógica actual, la filosofía de la matemática, la filosofía del lenguaje y el análisis filosófico, pero nadie se enteró hasta bien entrado el siglo XX. Bertrand Russell, Ludwig Wittgenstein y Rudolf Carnap fueron de algún modo sus discípulos, y desarrollaron la filosofía analítica de forma espectacular. Como se ve, gran parte de los fundadores de la filosofía analítica fueron alemanes o austriacos (y, por tanto, continentales, no británicos). La crisis del análisis filosófico tuvo lugar en los primeros años cincuenta, y su primer detonante fue la publicación por Willard Quine en 1951 de su famoso artículo «Two Dogmas of Empiricism» («Dos dogmas del empirismo»), reimpreso en *From a Logical Point of View* en 1953, el mismo año en que aparecieron póstumamente las *Philosophische Untersuchungen (Investigaciones filosóficas)* de Wittgenstein.

Cuanto más años pasan, más claro resulta que la filosofía analítica ha sido la mejor filosofía que se ha hecho en la primera mitad del siglo XX, y que sus creadores se cuentan entre los más grandes filósofos de todos los tiempos. El rigor diamantino de Frege, el lúcido desparpajo de Russell, la incandescente intensidad de Wittgenstein, la vigorosa audacia del Círculo de Viena, su común pasión por la exactitud y su implacable honestidad intelectual marcaron una época dorada de la historia de la filosofía. Pero conforme ha crecido su estatura como clásicos indiscutibles del pensamiento, han resultado también más evidentes las limitaciones e ingenuidades que frecuentemente acompañaban a sus concepciones más centrales.

Posteriormente, el uso del adjetivo *analítico* ha ido ampliándose, hasta servir ahora para referirse, por una parte, a casi toda la filosofía que se hace en los países anglosajones (Estados Unidos, Gran Bretaña, Canadá, Australia, etcétera) y, por otra, a casi toda la filosofía (se haga donde se haga) que valora la claridad y la precisión del discurso, y no desprecia la lógica ni la ciencia. En este sentido, Aristóteles era un filósofo analítico y muchos pensadores actuales lo son, y no solo en los países anglosajones. En Finlandia, por ejemplo, todos los filósofos conocidos (Stenius, Von Wright, Hintikka, Tuomela, Niiniluoto) pueden considerarse como analíticos.

En este sentido lato, ser un filósofo analítico ya no implica aceptación de tesis alguna, y desde luego no implica pensar que todos los problemas filosóficos son lingüísticos, o que

su solución se base en el análisis lógico o gramatical. Solo implica un cierto estilo y unas mínimas normas de urbanidad intelectual. Así, en la presentación oficial de la European Society for Analytical Philosophy leemos: «La filosofía analítica se caracteriza sobre todo por el objetivo de la claridad, la insistencia en la argumentación explícita y la exigencia de someter cualquier propuesta a los rigores de la evaluación crítica y la discusión». La filosofía analítica (en sentido estricto) ha muerto. ¡Viva la filosofía analítica! En su testamento nos ha dejado un legado impresionante de adquisiciones irrenunciables y de nuevas disciplinas, como la lógica actual, la filosofía de la ciencia y la filosofía del lenguaje.

Algunos de los filósofos del Círculo de Viena (activo entre 1922 y 1933) se llamaron a sí mismos “positivistas lógicos”, aunque pronto abandonaron tan confundente denominación, que recordaba a Comte, con quien no tenían nada que ver. Pero, así como muchos pensadores actuales reivindican para sí la denominación de analíticos, e incluso siguen fundándose sociedades de filosofía analítica (como la española, de 1995), el nombre de *positivista* hace tiempo que solo se emplea para insultar. Hace cincuenta años que todo el mundo ataca a los invisibles y mudos molinos de viento positivistas. Cada vez menos, es verdad, pues la falta de respuesta apaga la pasión. Lo que sí ocurre a veces (empezando por la otrora famosa polémica entre Habermas y Popper) es que dos filósofos se acusen mutuamente de positivistas. Pero nadie confiesa ser positivista y nadie defiende el positivismo.

La filosofía analítica (sobre todo en su variedad positivista vienesa) estuvo íntimamente relacionada con la ciencia de su tiempo, que a su vez atravesaba una etapa gloriosa. Ernst Mach influyó decisivamente en Einstein, que a su vez sirvió de inspiración a los empiristas lógicos, que por su parte influyeron en los creadores de la mecánica cuántica. Esta estrecha atención a la ciencia viva se ha mantenido y ha acabado reventando el estrecho cascarón de la filosofía analítica original. No hay un lenguaje unificado de la ciencia. No hay un único método de la ciencia. En realidad no sabemos muy bien lo que la ciencia es, y cada día descubrimos nuevas complejidades en su entramado. Lo que está claro es que la ciencia no es un conjunto de enunciados verificables acerca de nuestras impresiones sensibles. Pero, aunque el positivismo ha desaparecido, la filosofía de la ciencia a que dio lugar lo ha sobrevivido y goza de excelente salud.

La escolástica analítica

Frege, Russell, Wittgenstein y los neopositivistas sometieron la filosofía a una catarsis vigorosa y saludable. Posteriormente la tradición intelectual analítica perdió su vigor y su tono, volviendo la espalda a los problemas de su tiempo y decayendo en escolástica reiteración de las mismas cuestiones, rumiadas hasta la saciedad. ¿Quién defiende todavía la existencia de un lenguaje privado, para merecer tan repetidas refutaciones? La

filosofía analítica reciente ha producido una cascada de artículos sobre otros artículos y de comentarios a otros comentarios, sin apenas contacto con el mundo real, que recuerdan al escolasticismo medieval de Europa y la India.

A pesar de todo, la filosofía analítica (en sentido amplio) sigue siendo la corriente más viva de la filosofía actual. En su seno se han realizado notables progresos en el análisis conceptual de muchas nociones clave. Nunca se había hecho tanta filosofía, ni tan buena, sutil y sofisticada, como en la filosofía analítica actual, pero solo en torno a las cuestiones preliminares metodológicas y semánticas, mientras que nunca se llega a los grandes temas de la cosmovisión y la buena vida.

La decepción que produce la filosofía analítica se debe a que se ha quedado empantanada en los preparativos. En la primera mitad del siglo XX los fundadores del análisis se rebelaron contra la oscuridad, la arbitrariedad, el dogmatismo y la palabrería de gran parte de la filosofía tradicional, sobre todo la que provenía del idealismo alemán. Insistieron en la importancia de evitar las trampas que nos tiende el lenguaje, introdujeron estándares de rigor metodológico comparables a los de la ciencia y despejaron el terreno de la basura acumulada por la historia. Después de este magnífico acto de limpieza sus sucesores podían ponerse manos a la obra y hacer una gran filosofía, pero no lo hicieron.

La filosofía analítica empezó afilando y bruñendo sus armas, pero luego se olvidó de entrar en combate, y degeneró en una peculiar escolástica, que se manifiesta en el análisis repetitivo de temas minúsculos y sutiles. Así produjo miles de artículos sobre la calvicie del rey de Francia (que plantea el problema de la referencia de las descripciones impropias) y docenas de tesis doctorales sobre los hipotéticos cerebros en una bañera (que plantean la cuestión del establecimiento de la referencia).⁹ Es cierto que hay que analizar los conceptos que usamos en nuestra cosmovisión, y que hemos de evitar caer en las trampas que nos tiende el lenguaje. Pero la filosofía no se limita al análisis conceptual ni al lingüístico. Aunque ascender al Everest requiere buenas botas, la obsesión por las botas no debe hacernos olvidar la ascensión a la cumbre. Como un equipo de fútbol magnífico en su entrenamiento y preparación gimnástica, pero que no acude a jugar el partido; como un ejército ducho en táctica y bien ejercitado en puntería, pero que nunca llega a entrar en combate; así también los sutiles y competentes filósofos analíticos actuales con frecuencia desertan de su tarea principal.

Dimensión humana y especialidad académica

Los humanos se diferencian o clasifican, entre otras cosas, por su oficio o profesión. Unos son agricultores; otros, pilotos de aviación. Sin embargo, todos comparten ciertas dimensiones vitales, como la curiosidad, el erotismo, la gastronomía o la economía doméstica. Estas dimensiones humanas pueden estar más o menos desarrolladas en cada

individuo, pero (al menos potencialmente y en algún grado) están presentes en todos nosotros.

La filosofía se puede considerar desde dos puntos de vista: como una profesión o especialidad académica (al mismo nivel que el derecho contencioso-administrativo, la arqueología sumeria o la física de plasmas), o bien como una dimensión humana, asunto de todos. Este segundo sentido es el fundamental. La filosofía como especialidad académica y profesional solo tiene sentido y justificación en la medida en que contribuya a la filosofía como dimensión humana.

La ciencia de nuestro tiempo se ha ramificado tanto y ha llegado tan lejos, que su progreso requiere una enorme especialización de sus practicantes. El especialista cada vez tiene que especializarse más, con lo que sabe cada vez más sobre cada vez menos, hasta que llega a saberlo casi todo sobre casi nada. Esta evolución es necesaria, pero obviamente conduce en una dirección contraria a la de la filosofía, pues —en palabras de Platón— «el filósofo es el que tiene la visión de conjunto (*synoptikós*)».¹⁰ Aunque no puede haber bosque sin árboles, ni cosmovisión racional sin previos resultados científicos particulares, aquí también con frecuencia los árboles nos impiden ver el bosque, y la ardua asimilación de los resultados concretos de la investigación nos hace olvidar la meta de la visión filosófica de conjunto.

Los resultados de la investigación especializada no suelen interesar más allá del estrecho círculo de los investigadores de esa especialidad. Son importantes para quienes están haciendo tesis doctorales o trabajando en el mismo tema, pero no son relevantes para la mayoría de los humanos, ni siquiera de los cultos e intelectualmente despiertos, ni siquiera de los científicamente próximos. Incluso los matemáticos eminentes no suelen entender lo que hacen otros matemáticos alejados de su especialidad.

El científico especializado hace su carrera académica dentro de su profesión o comunidad científica. Busca el reconocimiento de sus colegas, hace su currículum mediante sus publicaciones referenciadas y contribuye con su granito de arena al progreso de su especialidad. Y nada más. No pretende (salvo excepciones) decir nada a la humanidad.

También la filosofía académica se ha especializado y profesionalizado. Los filósofos son especialistas en historia de la filosofía antigua, o en Kant, o en Wittgenstein, o en hermenéutica, o en Habermas, o en mundos posibles, o en la relación mente-cuerpo, o en la teoría de la referencia. Son profesionales que dan sus clases a alumnos de su facultad, escriben sus artículos en revistas de escasa tirada que solo reciben las bibliotecas universitarias, asisten a congresos de su gremio y se abren camino en el mundo académico de igual modo que cualesquiera otros especialistas. Sus resultados son alabados o criticados por los colegas, pero no interesan ni pretenden interesar a la humanidad en general.

A principios del siglo pasado, horrorizados por la oscuridad, la confusión y el dogmatismo en que había caído gran parte del discurso filosófico, algunos de los mejores filósofos pretendieron que la filosofía llegara a ser una especialidad científica como las demás. Y, al menos a efectos sociales, lo han conseguido. Pero, ¿a qué precio? Los filósofos profesionales se ganan la vida y el aprecio de sus colegas; sin embargo, aportan bien poco a la solución de la gran crisis cultural que vive la humanidad, apenas proporcionan orientación vital a los individuos ni proyectos novedosos a la sociedad y ni siquiera contribuyen a la construcción de una cosmovisión a la altura de nuestro tiempo. No nos orientan sobre cómo vivir y morir, no nos definen la buena vida. Ni siquiera nos dan un ejemplo brillante o especialmente atractivo de *bíos* (de vida, en sentido biográfico).

Aunque no todos los humanos tienen que descifrar inscripciones mayas, o construir programas en LISP, o hacer análisis electroforéticos, sin embargo todos los humanos tienen —tenemos— que vivir. La destreza en el vivir nos interesa a todos. La orientación última, la cosmovisión, la elucidación de la buena vida no son temas para especialistas. Son los temas de la filosofía. Y la filosofía es asunto de todos.

Actualmente hay unos 12 000 filósofos profesionales (es decir, docentes de filosofía) en los *colleges* y universidades de los países anglosajones. (En los de lengua española el número no es muy diferente, aunque el nivel deja bastante que desear.) Los filósofos anglosajones publican unos 250 libros al año y multitud de artículos en las 200 revistas de filosofía a su disposición. En total, publican unas 130 000 páginas al año, es decir, unas 11 páginas por filósofo y año. De este inmenso caudal de textos, más de la mitad corresponde a la filosofía analítica (en sentido amplio).

A pesar de su gran número, los filósofos estadounidenses no tienen ninguna influencia en la sociedad en que viven, no aparecen en los medios de comunicación y no contribuyen en nada a la formación de la opinión pública. Su influencia es ahora menor que a principios del siglo XX, cuando filósofos como William James, John Dewey y George Santayana provocaban debates públicos con sus escritos. Es sorprendente que en un país donde se discute desde el creacionismo hasta lo políticamente correcto, y desde la posesión de armas hasta el futuro de la carrera espacial y el papel del Estado, los filósofos tengan tan poco que decir. Hasta 1977 el Anuario de la *Encyclopaedia Britannica* incluía cada año, junto a otras dedicadas a la música, la política, la salud y las ciencias, una sección de filosofía, que ese año fue suprimida, y ya no ha vuelto a aparecer. La revista *Time*, el diario *The New York Times* y otros medios de comunicación han lamentado en sus editoriales la irrelevancia de la filosofía contemporánea para los problemas de nuestro tiempo y han criticado la absorción narcisista de los filósofos en minúsculas cuestiones técnicas o lógico-lingüísticas que hacen a su disciplina irrelevante para los problemas e intereses de los no especialistas.¹¹

En resumen, los filósofos profesionales, y en especial los analíticos, aunque numerosos y bien formados, están ensimismados en su estrecho mundo académico, son especialistas como los demás y contribuyen poco a la filosofía como dimensión humana.

Cosmovisión

Antes de decidir adónde y por dónde queremos ir, necesitamos representarnos de alguna manera el lugar en que nos encontramos. Antes de elegir cómo vivir, precisamos tener cierta idea acerca de cómo es el mundo donde vamos a vivir nuestra vida. La cosmovisión es el marco de referencia teórico para nuestras consideraciones prácticas. Por eso, una cosmovisión errónea puede desorientarnos gravemente e inducirnos a vivir peor de lo que podríamos. Los nobles aztecas que constantemente se punzaban y sangraban su lengua, orejas y pene, o las monjas católicas que se colocaban cilicios bajo el hábito, actuaban de modo contraproducente para su bienestar, impulsados por creencias falsas (acerca de la influencia de la sangre en la conservación del Sol, en un caso; y acerca de la vida tras la muerte y la compra de placer ultramundano con dolor terrenal, en el otro). Si realmente queremos vivir bien, lo primero que requerimos es un mapa correcto de la realidad. La sabiduría filosófica se basa en la lucidez y pasa por la búsqueda de la verdad y por la construcción (provisional y revisable) de una cosmovisión a la altura de la mejor información disponible en nuestro tiempo.

Platón¹² pensaba que la contemplación de la inmutabilidad y el orden de los cielos tendría un efecto calmante en nuestro espíritu, haciéndolo inmutable como ellos. Pero hoy sabemos que el Universo entero es una explosión (por eso decimos que está en expansión) y que es un continuo cataclismo, no solo en los albores del Big Bang, sino también en todo tipo de fenómenos que hemos ido descubriendo recientemente, desde el hundimiento agónico de estrellas masivas en agujeros negros insaciables hasta la canibalización de unas galaxias por otras. Obviamente, la cosmovisión de Platón ya no nos sirve. Ni la de Aristóteles, o la de Descartes, o la de Kant. Al menos ellos tenían una. Nosotros aún hemos de construir la nuestra.

La construcción responsable de una cosmovisión filosófica requiere una evaluación epistemológica de los presuntos datos de la ciencia observacional y de los componentes conceptuales y matemáticos de la ciencia teórica. Una cosmovisión dogmática no es filosofía. Los científicos, en especial los cosmólogos, son aficionados a especular, y no todo lo que sale de sus bocas tiene el mismo grado de fiabilidad. La física actual contiene tanto resultados solidísimos como teorías dudosas y cogidas con alfileres. Por eso necesitamos la epistemología, pero la necesitamos porque queremos construir una cosmovisión.

Los clásicos de la tradición analítica no olvidaron que el Universo es un tema central de

la filosofía. Incluso G. E. Moore, el paladín del análisis, pensaba que la filosofía, además de analizar conceptos, tiene también como tarea «ofrecer una descripción general del *todo* del Universo». ¹³ Bertrand Russell pensaba que la contemplación del cosmos ayuda al filósofo a liberarse de preocupaciones estrechas y ataduras tribales.

La contemplación no solo amplía el alcance de nuestro pensamiento, sino también el de nuestras acciones y nuestros afectos: nos hace ciudadanos del Universo, y no solo de una ciudad amurallada en guerra con las demás. En esta ciudadanía del Universo consiste la verdadera libertad del humano, y su liberación de la servidumbre de las esperanzas y los temores estrechos. ¹⁴

Karl Popper escribía:

Creo que hay al menos *un* problema filosófico que interesa a todos los humanos reflexivos: el problema de la cosmología, el problema de entender el mundo —incluidos nosotros mismos, que formamos parte de este mundo, y nuestro saber—. Pienso que toda ciencia es cosmología en este sentido; y para mí la filosofía, como la ciencia natural, solo es interesante por su contribución a la cosmología. Si dejaran de ver en ello su misión, la filosofía y la ciencia natural perderían todo su atractivo, al menos para mí. ¹⁵

A pesar de todo, la mayoría de los filósofos carecen de ambición cosmovisiva, dejando el campo libre a las especulaciones metafísicas audaces (aunque a veces ingenuas) de los científicos. A la pregunta de un periodista que se extrañaba de sus reflexiones filosóficas, Stephen Hawking contestó que, puesto que los filósofos habían dejado de hacer filosofía, los físicos se veían obligados a tomar el relevo. Quizá lo dijo como *boutade*, pero no por ello dejó de poner el dedo en la llaga.

La buena vida

¿Cómo vivir? Lo mejor posible. Si el problema fundamental de la filosofía teórica es el de la cosmovisión, el problema fundamental de la filosofía práctica es el de la buena vida. El sabio es el que ya sabe en qué consiste la buena vida, y fácilmente y sin esfuerzo la vive. El filósofo es el aprendiz de sabio, el aspirante a sabio. El sabio es el filósofo que ya ha alcanzado su meta, el filósofo exitoso.

Un famoso libro de Albert Camus comienza con estas palabras: «No hay más que un problema filosófico realmente serio: el del suicidio». ¹⁶ Esto es una exageración, pero nos sitúa de lleno en el terreno de la filosofía práctica. El gran problema es el de cómo vivir, que incluye el de cómo morir, y, por tanto, el de si suicidarse o no, y cuándo y bajo qué circunstancias. En nuestro tiempo, los progresos de la medicina y de la técnica, la explosión demográfica de los países más pobres, la crisis ecológica, el creciente anacronismo de los Estados nacionales y muchos otros retos presentes, nos plantean acuciantes cuestiones acerca de cómo nacer, cómo vivir, cómo morir, y cómo interaccionar como especie humana con las otras especies de nuestra biosfera. Pero las

recientes éticas neocontractualistas en boga (como las de Rawls o Habermas) no dan respuesta a ninguna de estas preguntas. No es este el lugar para criticarlas; pero, si lo fuera, la principal crítica no consistiría en discrepar de sus soluciones, sino en constatar la ausencia de soluciones.

Ya Ortega y Gasset había señalado que la propia vida (en sentido biográfico) es para cada uno de nosotros la realidad radical. Cada uno tendría que vivir su mejor vida posible, su buena vida (a la que Ortega llamaba vocación), pero antes de vivirla tendría que descubrirla o inventarla, lo cual sería un ejercicio de filosofía como dimensión humana. Sorprende que la filosofía actual no sea particularmente explícita ni orientativa respecto al tema de la buena vida. En esto se compara con desventaja con otras filosofías del pasado, como la aristotélica o la de la India clásica. Naturalmente, no se trata de retornar a la vieja sabiduría aristotélica o hindú, pero hay que reconocer que la filosofía contemporánea no nos ofrece una concepción de la buena vida de vigor y audacia comparables.

La palabra “liberación” se ha asociado a veces en Latinoamérica con la violencia, la guerrilla o la insurrección social. Pero en todas las épocas algunos individuos han tratado de autoliberarse —la única forma posible de liberación, según Buda— mediante la reflexión filosófica y la conciencia cósmica. ¿De qué nos libera la liberación filosófica? Nos libera de la ignorancia y los prejuicios, de las preocupaciones minúsculas, de los temores infundados, de los afanes vacíos, de las actitudes y ataduras mentales que nos impiden alcanzar la plenitud posible de nuestra vida y la unión intelectual con el Universo. La *moksha* (la liberación espiritual, según el pensamiento indio) es la guinda del pastel de la buena vida, la culminación de la vida plena, la actualización de nuestra potencialidad de sintonizar con el Universo, de sentir el fervor y el arrobo lúcido de la unión intencional con el Universo. Según Bertrand Russell, «hay que estudiar filosofía... sobre todo porque, a través de la grandeza del Universo que la filosofía contempla, la mente también se engrandece y se vuelve capaz de aquella unión con el Universo en que consiste su máximo bien».¹⁷

Cada vez que pensamos en el Universo y nos unimos mentalmente con él, nuestro cerebro se convierte en el lugar geométrico en que el Universo se piensa a sí mismo. Como decía Ortega y Gasset, «el filosofar es una forma de vivir. [...] ¿Qué es, como vida, el filosofar? Ya hemos visto vagamente que es un desvivir —un desvivirse por cuanto hay o el Universo—, un hacer de sí lugar y hueco donde el Universo se conozca y reconozca».¹⁸ No parece que la consciencia cósmica sea precisamente uno de los temas favoritos de la filosofía analítica, ni siquiera de la filosofía contemporánea *tout court*. Puesto que los filósofos han abdicado de esa función, otros —cosmólogos, físicos, biólogos, economistas, ecologistas, periodistas y charlatanes de la *New Age*— se han lanzado a asumirla con entusiasmo e ingenuidad. El problema es que sus contribuciones

no se agregan en una cosmovisión integrada, coherente y fiable. Una filosofía satisfactoria nos proporcionaría una cosmovisión global científicamente aceptable, nos señalaría el camino de la buena vida posible y nos ayudaría a sintonizar con la realidad última del Universo. Pero esa filosofía todavía está por hacer.

Notas:

[9.](#) Véase el capítulo 1 («Brains in a vat») de Hilary Putnam. *Reason, Truth and History*, Cambridge University Press, 1981.

[10.](#) Platón: *Politeía*, VII, 537 c 7. Hay edición en español: *La República*, Gredos, Madrid, 1986.

[11.](#) Para la situación de la filosofía en Estados Unidos, véase Rescher, N., *American Philosophy Today*, Rowman & Littlefield Publ., 1994.

[12.](#) Platón, *Tímaios*, 47 b. Hay edición en español: *Timeo*, Gredos, Madrid, 1992.

[13.](#) Moore, G.E., *Some Main Problems of Philosophy*, pág. 1. Londres, 1953. (Conferencias dadas en 1910 y 1911.)

[14.](#) Russell, B., *The Problems of Philosophy*, capítulo 15: «The value of philosophy», 1912.

[15.](#) Popper K., «Prólogo a la edición inglesa» (*The Logic of Scientific Discovery*, 1958) de *Logik der Forschung*. Hay edición en español: *La lógica de la investigación científica*, Tecnos, Madrid, 1962.

[16.](#) Camus, A., *Le Mythe de Sisyphe. Essai sur l'Absurde*, Gallimard, París, 1942. (Hay edición en español: *El mito de Sísifo*, en Losada, Buenos Aires y Alianza, Madrid).

[17.](#) Russell, B. *The Problems of Philosophy*, capítulo 15: «The Value of Philosophy», 1915.

[18.](#) Ortega y Gasset, J., *¿Qué es filosofía?*, Lección XI, 1957.

3

Naturaleza humana y emociones morales

Naturaleza y genoma

¿Hay una naturaleza humana? Ya vimos en el capítulo 1 que el renacentista Pico Della Mirandola lo negó. Frente a las demás criaturas, que tendrían una manera propia de ser y que estarían sometidas a las leyes de la naturaleza, el humán, no sometido a constreñimiento alguno, sería pura libertad y plasticidad. Lo mismo han defendido otros antinaturalistas posteriores, como los idealistas, los marxistas y los existencialistas. De todos modos, aquí no vamos a entrar en la refutación de esa tesis extravagante. Simplemente, vamos a dar por sentado que todas las bioespecies tienen una naturaleza, plasmada en su genoma, y que la especie humana no es una excepción. También vamos a aceptar que los humanos somos cosas, sustancias o entidades (lo que Aristóteles llamaba *prótai ousíai*), y no relaciones ni accidentes; que somos sistemas físicos, compuestos de átomos y sometidos a las mismas leyes físicas que el resto del Universo; y que entre los sistemas físicos, somos seres vivos, animales y primates.

Según ha señalado Sydney Brenner, los seres vivos somos las únicas entidades del Universo que llevamos dentro de nosotros mismos una descripción de lo que somos, codificada en nuestro genoma.¹⁹ El genoma humano no describe los detalles cambiantes de nuestra biografía personal, sino los rasgos permanentes y compartidos que constituyen nuestra naturaleza; no incluye la lengua concreta que hablemos, pero sí la capacidad lingüística genérica. Aunque infantes humanos y cachorros caninos oigan las mismas frases en su entorno, los primeros se sueltan a hablar a los dos años; los segundos, no. Lo que les falta a los perros no es el entorno ni la escuela, sino los genes de la capacidad lingüística. Hace más de una década que hemos deletreado el genoma humano y ahora estamos aprendiendo a entenderlo. Aunque con un par de milenios de retraso, finalmente estamos siguiendo el consejo del dios Apolo: «Conócete a ti mismo».

Estratos en la naturaleza humana

Los seres vivos somos termodinámicamente improbables. Si a pesar de todo existimos, ello se debe a que hemos heredado los trucos acumulados por millones de generaciones de supervivientes que nos han precedido. Por eso podemos distinguir en la naturaleza humana actual estratos correspondientes a las etapas del turbulento pasado de nuestro

linaje. Si ahora respiramos, es porque en cierto momento nos hicimos aerobios. Poseemos un sistema nervioso porque cuando éramos medusas desarrollamos las neuronas. Tenemos columna vertebral porque somos vertebrados. Adquirimos las mandíbulas y la capacidad de masticar cuando nos hicimos gnatóstomos. Salimos del mar con los tetrápodos. Desarrollamos nuestra visión estereoscópica con los primates. Bajamos de los árboles con los homínidos. Somos lo que fuimos. Nuestro genoma refleja nuestra filogenia.

Los estratos de nuestra naturaleza corresponden a los hitos de nuestra evolución. Fuimos procariotes que se asociaron con otras bacterias en la célula eucariota. Ahora somos eucariotes, aerobios, sexuales, animales, bilaterales, deuteróstomos, cordados, gnatóstomos, tetrápodos, amniotas, mamíferos, primates, homínidos, homínidos y homínidos. Aquí nos saltaremos todas estas etapas y solo diremos algo sobre la última. Una vez que ya éramos homínidos (como los gorilas y chimpancés), ¿qué ocurrió para que nos transformásemos en homínidos? Por lo pronto, tuvimos que bajar de las copas de los árboles.

Marcha bípeda

A finales del Mioceno, hace unos seis millones de años, una larga época de calor iba tocando a su fin. El frío provocó en África un considerable incremento de la aridez. Las selvas retrocedían y aumentaban los claros, las estepas y las sabanas. Los bosques se fragmentaban y los bosquecillos residuales quedaban aislados unos de otros. Los homínidos, hasta entonces arborícolas, tenían dificultades para llegar de un bosquecillo a otro a través de la sabana. Algunos grupos de homínidos desaparecieron, pero otros respondieron al reto del cambio climático poniéndose en pie y empezando a caminar sobre las dos patas traseras. Así, en el tránsito del Mioceno al Plioceno, nuestros ancestros, hasta entonces cuadrúpedos arborícolas, bajaron de los árboles y se convirtieron en bípedos terrestres. Los homínidos (*Hominini*) somos los descendientes de aquellos homínidos que bajaron de los árboles y adoptaron la postura erguida y la marcha bípeda que todavía nos caracterizan.

Ya en el Plioceno, hace unos 4 millones de años, nos topamos con el primer género bien conocido de homínidos, los australopitecos. En 1974, el equipo de Donald Johanson descubrió en Hadar (Etiopía) el relativamente bien conservado esqueleto de «Lucy», una hembra jovencita de *Australopithecus afarensis* de hace 3,2 millones de años. Su pelvis y su fémur ya estaban claramente adaptados a la marcha bípeda. Por si quedase alguna duda, en 1976 Mary Leakey descubrió en Laetoli (Tanzania) las huellas de los pies de dos *Australopithecus afarensis*, uno adulto y otro juvenil, que caminaban juntos hace 3,6 millones de años. Un cercano volcán acababa de lanzar una nube de ceniza fina, que la lluvia había convertido en una especie de cemento húmedo, en el que los pasos de

estos dos individuos dejaron sus huellas como las dejan los bañistas en la arena húmeda de la playa. Sus huellas son asombrosamente parecidas a las nuestras y muy distintas de las que dejan los homínidos cuadrúpedos. Poco después, el volcán volvió a lanzar ceniza, que cubrió las huellas y las preservó.

No cabe duda de que los australopitecos eran bípedos. Por lo demás, se parecían más a un chimpancé que a un humano actual. Su cara se proyectaba hacia delante en forma de hocico y su cerebro era de solo unos 400 cm³, parecido al del chimpancé. No usaban herramientas líticas.

La marcha bípeda tuvo diversas consecuencias, incorporadas a la naturaleza humana actual, que en parte facilitan y en parte complican nuestra vida. En primer lugar, indujo cambios en la anatomía de nuestros huesos y músculos, con lo que nuestra marcha se hizo estable, resistente y eficiente. Podemos andar más y mejor que los chimpancés, consumiendo menos energía. Además, sutiles cambios en la anatomía del género *Homo* nos han convertido no solo en andadores, sino también en corredores de resistencia.²⁰ De hecho, somos los únicos corredores entre los primates. Andamos a 1,2 metros por segundo; pero a partir de 2,4 metros por segundo, corremos. Somos capaces de correr varios kilómetros seguidos, cosa que pocos animales (los ungulados y los carnívoros) son capaces de hacer. Los mejores velocistas humanos son capaces de correr hasta a 10 metros por segundo, pero a ese ritmo solo aguantan unos pocos segundos. Nuestro fuerte no es la carrera de velocidad, sino la de resistencia.

Además de ventajas, estos cambios en nuestra anatomía también nos han traído inconvenientes, como los dolores de espalda, las hernias discales, las luxaciones de rodilla y los esguinces de tobillo. Lo que más ha cambiado ha sido la pelvis (la cadera), sometida a grandes tensiones por la posición erguida. Por otro lado, el crecimiento extraordinario del cerebro y, por tanto, del cráneo del *Homo*, al que (por constreñimientos locomotores) no podía acompañar un ensanchamiento paralelo de la pelvis, condujo a un parto difícil.

Pinza de precisión

Desde que salimos del agua, somos tetrápodos. Y desde que bajamos de los árboles, somos bípedos. Si asombrosa ha sido la adaptación de nuestras patas traseras a la marcha bípeda y a la carrera, tan decisiva o más ha resultado la adaptación de nuestras patas delanteras hasta dar lugar a esos versátiles instrumentos de precisión que son nuestras manos. Los primates nos caracterizamos por nuestras manos prensiles, capaces no solo de sujetarse a las ramas, sino también de agarrar objetos. Además, al final de cada uno de nuestros cinco dedos tenemos uñas en vez de garras o pezuñas, y por la parte de atrás tenemos yemas sensibles o pulpejos.

Los orangutanes, gorilas, chimpancés y bonobos tienen pulgares oponibles, que apoyan

contra la falange del dedo índice, lo que les permite agarrar objetos pequeños e incluso palos y piedras, aunque con poca fuerza y precisión. Lo que no pueden hacer es la pinza de precisión, un agarre que combina fuerza y delicadeza, y que exige poder apoyar la yema del pulgar contra las yemas de los otros dedos. La pinza de precisión humana requiere un pulgar largo en relación a la mano, capaz de llegar hasta los pulpejos de esos dedos, lo cual se ha conseguido no alargando el pulgar, sino transformando las proporciones, acortando los dedos no pulgares, permitiendo así el contacto de la yema del pulgar con la yema de cualquier otro dedo. Por eso, la mano humana es mucho más corta que la de los otros homínidos.

La locomoción suele ser más importante para la supervivencia que la manipulación. Nuestros pies siguen sometidos a las presiones de la locomoción, de las que nunca han podido liberarse, pues seguimos usándolos para andar. Las manos, por el contrario, hace unos cinco millones de años que se liberaron de esas presiones, lo que les permitió modificar su anatomía y convertirse en el fabuloso instrumento de precisión que ahora son. La mano acortada y perfeccionada fue aprovechada por los *Homo* para el desarrollo de las primeras industrias líticas. Tanto el adjetivo «hábil» en *Homo habilis* como el «artesano» o *ergaster* en *Homo ergaster* se refieren a la habilidad o artesanía de producir instrumentos líticos. Para poder tallar piedras a mano alzada se necesita: 1) una visión estereoscópica, que permita calcular bien los golpes; 2) una mano con pulgar oponible capaz de moverse en todas las direcciones y de efectuar la pinza de precisión y 3) un cerebro idóneo para coordinar los datos de la vista con los movimientos de la mano y con el plan del artífice.

Los humanos efectuamos constantemente la pinza de precisión para agarrar todo tipo de objetos; incluso utilizamos la pinza de tres dedos para escribir con bolígrafo, pintar con pincel, manejar el destornillador o comer con palillos. El papel de la mano es ubicuo en nuestra vida: para lavarnos, para vestarnos, para comer, para acariciar, para «meter mano», para levantar y mover todo tipo de objetos, para escribir a mano o en el teclado de la computadora, para manejar aparatos, máquinas y herramientas, para pintar, esculpir o coser, para tocar el piano o la guitarra. Incluso la mano puede asumir el papel lingüístico de la boca, como ocurre en los sordomudos. En nuestro cerebro, el córtex motor primario, situado en la circunvolución precentral del lóbulo frontal, que mapea las diversas zonas del cuerpo, dedica el máximo espacio a la mano y a la boca. Los circuitos que codifican la sintaxis y la semántica pueden desembocar tanto en la boca como en las manos; los sordomudos «hablan» con las manos con la misma facilidad y complejidad con que nosotros lo hacemos por la boca. Los sordomudos que hablan con las manos activan las mismas zonas del cerebro que los hablantes bucales. De hecho, no está claro si el origen de la capacidad recursiva sintáctica propia del lenguaje humano está en las voces de la boca o en los gestos de las manos. En cualquier caso, los otros homínidos se

comunican mucho más por gestos que por sonidos.

Género humano y cerebro

El origen del género humano (*Homo*) se sitúa en África, hace unos 2,5 millones de años, al comienzo del Pleistoceno, y su evolución abarca todo este largo periodo de glaciaciones recurrentes que ha durado casi hasta nuestros días.

Hace 7 millones de años, los ancestros de los actuales chimpancés y humanos eran los mismos. Sin embargo, ahora chimpancés y humanos somos diferentes. ¿Cómo se forjó esa diferencia? Lo primero que cambió, según acabamos de ver, fue la posición erguida y la bipedación, que nos hizo homínidos. Lo segundo que cambió, como consecuencia de lo anterior, fue la destreza de la mano, la pinza de precisión, que requiere un pulgar largo en relación a la mano. Una mano tan hábil es capaz de hacer cosas y tareas complicadas, cuya coordinación y control exige más cerebro. En tercer lugar, en el género *Homo*, el tamaño del cerebro se hizo cada vez más grande. El aumento de la capacidad craneal queda ya claro en las primeras especies de *Homo*, que tenían el mismo tamaño corporal que los australopitecos, pero un cerebro un 50% mayor. Esta conjunción de postura erguida, mano habilidosa y cerebro grande condujo al desarrollo de diversas técnicas, transmitidas culturalmente, que permitían la fabricación y el uso de instrumentos de madera, fibra, hueso, asta y piedra cada vez más eficientes.

La selección natural actúa sobre algunas de las mutaciones que de vez en cuando se producen al azar en el genoma. Es posible que una tal mutación en el gen de la miosina MYH16 desempeñase un papel decisivo en el origen del género humano. Las miosinas son unas proteínas contráctiles, que forman parte de las fibras musculares. Precisamente es la contracción de las miosinas de un músculo lo que hace que el músculo entero se contraiga. La miosina MYH16, codificada en el gen del mismo nombre, produce la contracción de los músculos masticatorios o mandibulares en los primates. Los homínidos no humanos tienen poderosos músculos masticatorios, anclados en la cresta superior del cráneo, lo que limita la capacidad de crecimiento del cráneo y, por tanto, la del cerebro. Los *Homo*, sin embargo, poseemos débiles músculos masticatorios, engarzados en los huesos temporales, lo que deja libres de musculatura las fisuras por las que el cráneo puede crecer.

Hansell Stedman y otros,²¹ descubrieron que el gen MYH16, situado en el cromosoma humano 7, sufrió una mutación hace aproximadamente 2,4 millones de años en el linaje homínido que dio lugar al género *Homo*. Esta mutación, que impide que el gen se exprese adecuadamente, está presente en todas las poblaciones humanas, pero no se encuentra en ninguna otra especie de primates estudiada. El consiguiente «defecto» muscular permite al cráneo (y al cerebro que hay dentro) crecer sin impedimentos. En efecto, poco

después de producirse la mutación, las mandíbulas de sus portadores empezaron a reducirse y sus cráneos a crecer, provocando el proceso de encefalización característico del género *Homo*. De hecho, los *Homo* tenemos un cráneo mayor y unas mandíbulas menores que nuestros parientes, los homínidos no humanos.

Especie humana y lenguaje

Hace 40 000 años, diversas especies del género humano habitaban simultáneamente el planeta Tierra: neandertales (*Homo neanderthalensis*), humanos (*Homo sapiens*), floresiensis (*Homo floresiensis*), denisovanos (en Siberia), gente de la cueva del ciervo rojo (en Yunnan, China), etcétera. Suponemos que los humanos ya entonces hablarían, pero no podemos estar seguros; y menos aún de las otras especies citadas. En cualquier caso, actualmente, la más notable diferencia entre los humanos y el resto de los homínidos vivientes estriba en el lenguaje recursivo, que permite formar una infinidad potencial de mensajes distintos y que solo nosotros poseemos.

Una capacidad humana tan específica, compleja y universal como el lenguaje necesariamente tiene que estar codificada en nuestro genoma. El primer éxito en la búsqueda de los genes del lenguaje consistió en la detección del gen FOXP2. Hace tiempo que se había observado el carácter hereditario de algunas deficiencias lingüísticas. Catorce de los 29 miembros (en varias generaciones) de una familia londinense presentaban un desorden del lenguaje que les dificultaba el dominio de la gramática y les impedía articular correctamente las palabras y entender adecuadamente el discurso, aunque por lo demás eran personas de inteligencia normal. Mediante el análisis genético, Anthony Monaco y su equipo lograron determinar que ese desorden dependía de un solo gen y que ese gen estaba localizado en el cromosoma 7. Luego se encontró un joven que no pertenecía a esa familia, pero que padecía el mismo defecto lingüístico, lo que en 2001 facilitó la identificación y localización del gen responsable, el gen FOXP2. Todos los pacientes con ese defecto tienen un raro alelo dominante de ese gen.

En 2002, Wolfgang Enard y Svante Pääbo analizaron el gen FOXP2 en otras especies, como el ratón, el macaco Rhesus (*Macaca mulatta*), el gorila y el chimpancé. El gen FOXP2 codifica una proteína de 715 aminoácidos, un factor de transcripción que regula la activación de otros genes. Las proteínas FOXP2 del macaco, el gorila y el chimpancé son idénticas entre sí; se diferencian de la del ratón en un aminoácido y de la humana en dos aminoácidos. La proteína humana se diferencia de la del ratón en tres aminoácidos. Las dos diferencias con la proteína de los otros homínidos se produjeron por mutaciones posteriores a la separación del linaje humano del de los chimpancés. Una vez producidas las mutaciones, estas fueron seleccionadas por la evolución (probablemente porque facilitaban el lenguaje) y se fijaron en el genoma humano en algún momento de los últimos 250 000 años, quizá coincidiendo con el surgimiento o la expansión de la especie

Homo sapiens.

Algunos infantes presentan dificultades insólitas para aprender a hablar, a pesar de tener un desarrollo normal en otras áreas y de disfrutar de un entorno familiar adecuado. Se dice que tienen un defecto específico del lenguaje o SLI (*Specific Language Impairment*). Esta denominación incluye una variedad de problemas distintos, aunque todos en gran medida hereditarios. Ahora se está tratando de averiguar las causas auditivas, neurales y, en último término, genéticas y ambientales de tales defectos, así como sus posibles relaciones con la dislexia, la sordera, el tartamudeo y el autismo. Se espera encontrar pronto nuevos genes implicados en estos defectos lingüísticos. Si cierto alelo raro de un gen produce un tal defecto, el alelo común del mismo gen es necesario para un buen funcionamiento de la facultad lingüística.

Placer y dolor

La naturaleza humana incluye un cerebro plástico y complejo, cuyo córtex prefrontal coordina y controla la conducta del individuo en función de la información que recibe del entorno, orientándose tanto por sus propias emociones y preferencias congénitas como por las normas culturales adquiridas y por sus eventuales razonamientos. Todos estos factores acotan, pero no prefijan en todos sus detalles, lo que vayamos a hacer. Siempre queda un margen de maniobra, que acabamos de cerrar con nuestras deliberaciones y decisiones en el córtex prefrontal. A esta parcial indeterminación dan algunos el pomposo nombre de “libre albedrío”. Lejos de ser un principio separado u opuesto a nuestros genes, son precisamente nuestros genes los que determinan la construcción de un cerebro plástico genéticamente programado para cierto margen de indeterminación. De todos modos, la indeterminación parcial de nuestra conducta tiene un precio, que es el dolor.

Muchos sistemas naturales y artificiales están sometidos a procesos nocivos o a agresiones del entorno, que los dañan, deterioran o lesionan, aunque solo en algunos animales tiene ese daño un componente o reflejo afectivo, el dolor o, más generalmente, el sufrimiento. Las máquinas no sufren cuando se estropean, ni las lechugas cuando las cortan, pero los animales sufrimos cuando somos heridos o maltratados. El dolor no se desprende sin más del daño: el dolor existe porque ha sido implementado genéticamente, porque ha sido programado para existir, porque ha sido seleccionado. El dolor, cuando es muy intenso, se impone al animal y eclipsa cualquier otro sentimiento. El dolor surgió en el curso de la evolución biológica como una señal de alarma, que nos advierte de los daños potenciales que nos amenazan. El dolor ha sido retenido por la selección natural como medio de evitar el peligro y de restaurar los déficits orgánicos. La capacidad de sufrir es ventajosa para la supervivencia y la eficacia biológica.

En los mamíferos las respuestas del sistema nervioso se han hecho más flexibles e indeterminadas, de tal modo que el animal tiene la posibilidad de decidir por sí mismo lo

que hacer en función no solo de su programación genética y de los estímulos presentes, sino también de su propia experiencia de la vida y de su propio aprendizaje pasado. Estos animales, capaces de aprender, recordar y decidir, podemos responder de un modo más eficiente a los retos del entorno cambiante. Por eso la conducta flexible ha sido seleccionada por la evolución.

La flexibilización de la conducta que supone el abandono de los esquemas fijos de respuesta encierra, sin embargo, serios peligros: podríamos lanzarnos en cualquier dirección y hacer cualquier cosa, poniendo en peligro nuestra propia supervivencia y reproducción. Por eso tiene ventajas el disponer de un mecanismo de orientación vital, que, sin determinar rígidamente nuestra conducta, nos incentiva a hacer lo que nos conviene y a evitar lo que nos perjudica. En efecto, un sistema tal ha sido implementado en el curso de la evolución: es el sistema del placer y el dolor. El sistema no es perfecto, sino chapucero y con efectos laterales lamentables, como todos los productos de la evolución, pero, a pesar de ello, funciona lo suficientemente bien como para que sus portadores hayamos sobrevivido y nos hayamos multiplicado. El mecanismo del placer y el dolor orienta, pero no obliga. En circunstancias excepcionales, evaluadas individualmente, podemos decidir sobreponernos al impulso congénito y hacer lo que pensamos que nos conviene, aunque nos duela. En circunstancias normales, nos basta con seguir nuestros impulsos y huir de las experiencias dolorosas. La capacidad de sufrir y gozar es el correlato y el correctivo de la libertad y la plasticidad nerviosa que, en ausencia de cauce alguno, podrían lanzarnos en direcciones letales. Y la tendencia a minimizar el dolor forma también parte de la naturaleza humana.

Emociones morales

Además de gozar y sufrir, también podemos sentir otras emociones, incluyendo las llamadas “emociones morales”. Según David Hume, las dos emociones morales básicas son el amor a uno mismo (*self-love*) y la compasión por los demás.

El amor a uno mismo se manifiesta como egoísmo y como racionalidad individual. La racionalidad es la estrategia para maximizar la consecución de nuestras metas y la satisfacción de nuestros intereses. Constituye la base de la teoría económica. Cuando delibero sobre lo que hacer, lo primero que tengo en cuenta es cómo mi acción me afectará a mí mismo, a mis valores, metas e intereses. La preocupación por mi propia salud, bienestar, seguridad, trayectoria profesional y desarrollo intelectual entra en este nivel, que forma parte de la noción misma de cordura. Si me olvido continuamente de mí mismo, actuaré de un modo irracional, como un loco, un borracho o un héroe fanático, pero no como un agente reflexivo con una conciencia moral despierta y equilibrada. Y, desde luego, ninguna regla de oro del estilo «ama a los demás como a ti mismo» es atractiva en boca de quien no empieza por amarse a sí mismo. En cualquier caso, el

amor a uno mismo corresponde a un poderoso impulso biológico hacia la supervivencia. Los animales que mueren jóvenes no transmiten sus genes, solo lo hacen los supervivientes. Nosotros descendemos de un largo linaje de supervivientes.

El amor a los parientes y la preocupación por la propia familia es una extensión del amor a uno mismo. Tiene que ver con el amor a los propios genes, de los que también son portadores los parientes cercanos, sobre todo los hijos. Los progenitores asumen notables sacrificios de tiempo, energía y dinero para criar y educar a sus hijos, sin esperanza alguna de reciprocidad. Con frecuencia actúan en interés de sus hijos y, aunque en menor medida, también en el de hermanos, primos y sobrinos. Esta conducta tiene una obvia base biológica, enraizada en la selección de parentesco. El amor a nuestros parientes a veces entra en conflicto con nuestros propios intereses o con nuestro sentido de la justicia y la imparcialidad en las relaciones sociales. Muchos sistemas políticos han tenido que adoptar disposiciones específicas para tratar de limitar el nepotismo en la esfera pública.

También el altruismo recíproco y (hasta cierto punto) el sentido de la justicia aparecen en nuestra conciencia moral como sentimientos anclados en la biología. Incluso los infantes tienen algún sentido de la justicia, de la imparcialidad, del juego limpio y del mutuo beneficio, como se comprueba en sus juegos e intercambios. Diversas observaciones y experimentos muestran que ya otros primates reaccionan como si tuvieran algo parecido a ese sentido, aunque carecen de lenguaje. Por ejemplo, en un juego diseñado al efecto, en el que obtienen recompensas en función de sus resultados, los monos capuchinos (*Cebus apella*) se indignan si reciben recompensas desiguales por las mismas acciones, como si tuvieran aversión a la injusticia. Si ven que otros reciben más que ellos por la misma acción, se niegan a seguir participando en el experimento y renuncian a su recompensa.²² De todos modos, no podemos estar seguros de esta interpretación y hay que seguir investigando. En cualquier caso, el tejido entero de nuestra sociedad y nuestra economía está basado en una inmensa red de relaciones de reciprocidad. Los ciudadanos respetan la vida y propiedad de los demás, a condición de que los demás respeten la suya. El cocinero del restaurante prepara la comida para mí, suponiendo que luego yo le voy a pagar la cuenta. En general, las transacciones basadas en la división social del trabajo constituyen una tupida red tejida con hilos de interés mutuo y reciprocidad.

Compasión

La otra emoción moral señalada por Hume es la compasión. La compasión (en griego, *sympátheia*, simpatía) es la emoción desagradable que sentimos cuando nos ponemos imaginativamente en el lugar de otro que padece y padecemos con él, lo compadecemos.

Esta capacidad puede afinarse con el ejercicio o, al contrario, embotarse por falta de uso.

Los pensadores de la Ilustración, desde Adam Smith hasta Jeremy Bentham, pusieron la compasión en el centro de sus preocupaciones. Como ya indicamos, Hume pensaba que la compasión es la emoción moral fundamental (junto al amor por uno mismo). Charles Darwin consideraba la compasión la más noble de nuestras virtudes. Opuesto a la esclavitud y horrorizado por la crueldad de los fueguinos de la Patagonia con los extraños, introdujo su idea del “círculo en expansión” de la compasión para explicar el progreso moral de la humanidad. Los hombres más primitivos solo se compadecían de sus amigos y parientes; luego este sentimiento se iría extendiendo a otros grupos, naciones, razas y especies. Darwin pensaba que el círculo de la compasión seguirá extendiéndose hasta que llegue a su lógica conclusión, es decir, hasta que abarque a todas las criaturas capaces de sufrir. Los animales no humanos quedan a veces fuera del paraguas de la protección jurídica, pero son objeto de compasión, pues es obvio que pueden sufrir. Como señala Francis Crick, los únicos autores que dudan del dolor de los perros son los que no tienen perro.

Neuronas espejo

Aunque nuestras emociones en general, y en especial nuestra capacidad de empatía y compasión, forman parte de la naturaleza humana, todavía no entendemos bien los mecanismos neurales subyacentes. Un descubrimiento relevante y controvertido es el de las neuronas espejo, efectuado por Giacomo Rizzolatti y sus colegas de la universidad de Parma hacia 1990 en el curso de su estudio de las capacidades motoras de los macacos. Las neuronas espejo se encontraron en la parte inferior de los lóbulos frontal y parietal del cerebro de los macacos.

Posteriormente se ha comprobado la presencia de las neuronas espejo en otros primates, incluidos los humanos. Las neuronas espejo se disparan en nuestro cerebro tanto cuando hacemos ciertas cosas como cuando vemos que otro las hace. La exploración mediante imagen por resonancia magnética funcional del cerebro humano ha permitido detectar en el córtex prefrontal inferior y en el lóbulo parietal superior grupos de neuronas que se activan cuando realizamos una acción y también cuando vemos a otra persona realizar esa acción, lo cual es típico de las neuronas espejo. Diversos neurólogos han resaltado el papel de estas neuronas en la explicación de la empatía y la compasión.²³ En efecto, las neuronas espejo de la ínsula (situada en lo profundo del surco lateral o cisura de Silvio, entre los lóbulos frontal, temporal y parietal) se disparan y producen en nosotros una sensación penosa cuando vemos a otro sufriendo. Incluso podría ser que la mayor compasión promedia (por ejemplo, frente al dolor de los niños o de los animales no humanos) que parecen exhibir las mujeres tuviera que ver con la

mayor resonancia motora promedio de las neuronas espejo de las mujeres participantes en ciertos experimentos respecto a los hombres.

Reflexión y generosidad

A veces se piensa que nuestros instintos congénitos son egoístas, mientras que la reflexión racional lleva a la cooperación y la generosidad. Sin embargo, en los experimentos económicos controlados llevados a cabo con grupos de sujetos participantes se han obtenido resultados opuestos a los esperados. En un artículo titulado «Spontaneous giving and calculated greed» («Generosidad espontánea y egoísmo calculado»), publicado en *Nature* en 2012, David G. Rand y otros investigadores de Harvard describen sus experimentos, en los cuales todos los sujetos reciben una cantidad fija de dinero. Pueden hacer contribuciones a una caja común, que luego es doblada por la organización y repartida entre todos.

Encontramos que, a través de un abanico de diseños experimentales, los sujetos que toman sus decisiones más rápidamente son los más cooperativos. Además, si forzamos a los sujetos a decidir rápidamente, se incrementan sus contribuciones, mientras que si les ordenamos que reflexionen y que se tomen su tiempo para decidir, sus contribuciones disminuyen. Finalmente, una preparación que anima a los sujetos a fiarse de sus intuiciones incrementa sus contribuciones en comparación con otra que promueve la reflexión.²⁴

En resumen, parece que, al menos en los casos analizados, la deliberación pausada más bien conduce al egoísmo racional, mientras que la espontaneidad irreflexiva tiende más a la generosidad y la cooperación.

Muchos de los problemas prácticos, sociales, éticos, políticos y ecológicos tienen que ver tanto con nuestras tendencias y emociones, que en gran parte dependen de nuestros genes y, por tanto, de la naturaleza, como con las convenciones vigentes en nuestro entorno, que dependen de la cultura. En este capítulo hemos analizado los aspectos naturales y emocionales. En el próximo enfocaremos los factores culturales y las convenciones.

Notas:

¹⁹. Sydney Brenner, Premio Nobel de Fisiología o Medicina en 2002, es uno de los creadores de la genética molecular. Sahotra Sarkar y Paul Griffiths han criticado el uso de la jerga informacional (información, descripción, código, mensaje, transcripción, traducción, etcétera) en la genética molecular contemporánea, pero hay que reconocer que este uso facilita considerablemente la intuición en un campo que, de otro modo, sería árido y opaco. Véase la cuidada traducción en español de ambos artículos en el libro editado por Roberto Torretti, *Conceptos de gen*, Santiago de Chile, págs. 65-92 y págs. 93-122, 2009.

²⁰. Bramble, D. y Lieberman, D., «Endurance running and the evolution of *Homo*». *Nature*, vol. 432, págs. 345-352, 2004.

²¹. Stedman, H., *et al.*, «Myosin gene mutation correlates with anatomical changes in the human lineage». *Nature*, vol. 428, págs. 415-418, 2004.

²². Brosnan, S. y De Waal, F., «Monkeys reject unequal pay», *Nature*, vol. 425, págs. 297-299, 2003.

- [23.](#) Rizzolatti, G. y Craighero, L., «Mirror neuron: a neurological approach to empathy», en Changeux *et al.*, *Neurobiology of Human Values*, Springer-Verlag, 2005.
- [24.](#) Rand, D.G. *et al.*, «Spontaneous giving and calculated greed», *Nature*, vol. 489, págs. 427-430 (20 de septiembre de 2012).

4

Convenciones y normas

Phýsis y nómos

En el capítulo anterior hemos tratado de la naturaleza humana, del genoma, del cerebro, de las emociones y de otros aspectos de la realidad, de lo que los griegos clásicos llamaban la *phýsis* (de donde procede la palabra “física”). Aquí diremos algo acerca de lo convencional, de los acuerdos, las normas y las leyes. La pubertad es un cambio real, natural: se llega a ella cuando se llega; punto. La mayoría de edad es algo convencional: se alcanza cuando así lo decide el Parlamento.

La reflexión filosófica y científica fue en sus orígenes una reflexión sobre la naturaleza, una *physiología*. La naturaleza, en el sentido de *phýsis*, abarca todos aquellos objetos (astros, vientos, peces...) y aspectos del Universo que no dependen de nuestra voluntad o nuestro acuerdo, objetos y aspectos que nos es dado describir, pero sobre los que no tenemos nada que decidir o convenir, pues son lo que son de por sí y con independencia de nuestras convenciones. Los pensadores griegos de la segunda mitad del siglo -v se dieron cuenta de que nuestra vida no solo se ve afectada por la naturaleza, sino también por las convenciones (*nómoi*) de la sociedad en que vivimos. Las convenciones dependen de nuestra voluntad y del acuerdo de los demás; carecen de existencia propia o natural.

La contraposición entre *phýsis* (naturaleza) y *nómos* (convención) se convirtió en la base de la primera Ilustración que registra la historia de la filosofía occidental. Las discusiones giraban en torno a la cuestión de qué aspectos de la vida social son lo que decimos que son por naturaleza (*phýsei*) y cuáles otros lo son por convención (*nómo-i*). En estas discusiones Platón adoptaba una posición anticonvencionalista, mientras que los sofistas tendían al convencionalismo.

Las propiedades de un objeto pueden ser naturales o convencionales. Una vaca sagrada es vaca por naturaleza y sagrada por convención. Las relaciones entre objetos pueden ser también naturales o convencionales. Las cordilleras, como los Andes, son algo real, natural, independiente de nuestros acuerdos y tratados. Las fronteras políticas, como la que separa Chile de Argentina o de Perú, son meras convenciones.

Las modalidades (necesidades, posibilidades e imposibilidades) pueden también ser tanto naturales como convencionales. Por naturaleza es imposible que una mujer tenga más de 800 hijos, pues en sus ovarios apenas llegan a madurar 400 óvulos en toda su

vida, mientras que es posible que un hombre los tenga, pues cada día produce cien millones de espermatozoides. Por naturaleza es imposible ser a la vez cóndor e hipopótamo, mientras que es posible ser simultáneamente mamífero e hipopótamo. Por convención no es posible tener a la vez la nacionalidad española y la francesa, aunque sí es posible tener simultáneamente la española y la chilena. Entre las muchas necesidades a las que uno está sometido se encuentran la necesidad natural de respirar mientras se vive y la necesidad convencional de pagar los impuestos. Las leyes de la ciencia registran necesidades naturales; en cambio, las leyes del Estado establecen necesidades convencionales. Las necesidades naturales son universales, mientras las convencionales son de alcance local. En todas partes hay que respirar, pero solo en algunos sitios es obligatorio votar en las elecciones, cerrar la tienda el domingo o hacer el servicio militar.

Una obligación es una necesidad convencional. Una permisión es una posibilidad convencional. Una prohibición es una imposibilidad convencional. Todas esas modalidades convencionales constituyen las normas. Una norma es una obligación o una permisión o una prohibición. Por tanto, toda norma es convencional.

Normas y códigos normativos

Las normas no aparecen aisladas. Por lo pronto, toda norma implica ya otras normas. Así, la norma de que es obligatorio hacer algo implica la norma de que está permitido hacerlo. Y una norma puede también contradecir otras normas. Así, la norma de que está permitido hacer algo contradice la norma de que está prohibido hacerlo. Precisamente las relaciones de implicación y contradicción entre normas constituyen el tema de la lógica deóntica, que es una rama de la lógica modal: la lógica de las modalidades convencionales. Las normas están integradas en códigos normativos. Lo mínimo que se puede exigir de un código normativo es que sea coherente, es decir, que no implique normas que se contradigan entre sí. Pero la exigencia de coherencia no determina el contenido del código. Este contenido se articula en las normas que lo componen.

Las normas no son válidas o inválidas en sí mismas, sino solo respecto a un código normativo determinado. Según el código de circulación inglés, es obligatorio circular por la izquierda. Según el francés, es obligatorio hacerlo por la derecha. Los enunciados que expresan normas, los enunciados normativos, no son verdaderos o falsos en sí mismos, sino solo con referencia a un código normativo dado. Por eso las preguntas normativas carecen de sentido, a no ser que estén relativizadas o referidas a un determinado código, juego o institución.

¿Está permitido tocar el balón con la mano? Depende. En el baloncesto, sí; pero en el fútbol, no. ¿Está permitido tocar el balón con el pie? Depende. En el fútbol está permitido, pero en el baloncesto está prohibido. ¿Con cuántas mujeres tengo derecho a casarme, con cuántas mujeres me está permitido casarme? Con ninguna, según el austero

código normativo de los cátaros. Con una o con ninguna, según los códigos matrimoniales de tradición cristiana occidental. Obligatoriamente con una, según las normas dictadas por Octavio Augusto en Roma a principios de nuestra era. Con tantas como pueda alimentar, hasta cuatro, según el código islámico. Con un número de mujeres proporcional al de mis vacas, según el código de los masáis (en África Oriental).

Algunos juegos o instituciones incluyen posiciones convencionales de autoridad, que permiten a quien las ocupa promulgar normas o dar órdenes: el árbitro en el fútbol, el policía de tráfico en la circulación, el juez en el derecho procesal, el presidente elegido en la democracia, el Papa en la iglesia católica, el padre en la familia patriarcal, el hermano mayor en ciertas formas de familia. Muchos juegos o instituciones incluyen también sanciones para los jugadores o miembros que infrinjan ciertas normas. En el fútbol, el penalti (del inglés, *penalty*, castigo) sanciona ciertas faltas contra las reglas del juego. Y las instituciones legales del Estado incluyen multas o penas pecuniarias, castigos de cárcel y a veces incluso la pena de muerte para quien infrinja sus normas.

De todos modos, hay que distinguir claramente entre las sanciones internas al juego, que libremente acepta quien voluntariamente decide tomar parte en él, y la posible presión exterior (presión normativa) que se ejerce sobre la gente para obligarla a jugar a ese juego, aunque no quiera. Desde este segundo punto de vista podemos distinguir entre instituciones voluntarias y forzosas. Un club privado es una institución voluntaria. Si me hago socio del club, estoy obligado a pagar la cuota, y si no la pago, puedo recibir la sanción correspondiente (por ejemplo, el recargo o la expulsión). Pero nadie me obliga a hacerme socio del club. Si soy socio, es porque quiero. El Estado, por el contrario, es una institución forzosa. Si soy súbdito del Estado, estoy obligado a pagar impuestos y, si no lo hago, puedo recibir la sanción correspondiente de multa o cárcel. Así como nadie me forzaba a ser socio del club, ahora soy súbdito del Estado porque me fuerzan a serlo. El Estado es un club forzoso y su aparato policial y judicial ejerce sobre mí una presión normativa violenta e ineludible. También hay casos intermedios, como los de los códigos morales, las tradiciones sociales, las modas o las normas de etiqueta y buenas maneras. Estos códigos no son forzosos, no son impuestos por un aparato represivo organizado. Pero tampoco son completamente voluntarios, pues quien no juegue a ellos acaba sometido a la marginación y la reprobación del resto de su comunidad.

El sentido de un código o institución consiste en su función, en la misión, fin o meta que le asignemos. Un código o institución es un instrumento convencional, pero al fin y al cabo un instrumento y, por tanto, instrumento para algo: su fin, misión o función. El examen crítico de un código o institución requiere la formulación explícita previa tanto de las normas y posiciones que lo componen como del fin que se pretende conseguir con él. Solo entonces es posible indagar si (y hasta qué punto) ese código o institución cumple la función asignada.

La naturaleza es como es y eso no requiere justificación, aunque sí explicación. Pero una institución o convención cualquiera, además de admitir una explicación histórica y social de cómo surgió, requiere también una justificación racional de por qué hemos de aceptarla, de por qué nos conviene jugar al juego por ella definido. Una institución es susceptible de justificación instrumental, como instrumento eficaz para alcanzar la meta o cumplir la misión que le encomendamos. Desde luego, esta justificación es relativa a dicha meta o misión y solo resulta convincente para quienes persigan esa meta o asuman esa misión.

Falacia naturalista y falacia moralista

En el calor de la discusión sobre temas prácticos, políticos o morales, a veces se olvida uno de la distinción entre realidad natural y convención social, entre cómo las cosas son de hecho y cómo quisiéramos que fueran de derecho. Cuando esto ocurre, fácilmente incurrimos en contradicciones y falacias, como la falacia naturalista y la falacia moralista.

George E. Moore introdujo en 1903 la denominación “falacia naturalista” para referirse a una argumentación que pretende inferir un imperativo (o un enunciado deóntico o valorativo) a partir de premisas meramente fácticas o descriptivas. La falacia naturalista consiste en inferir «debe» de «es». Tal argumentación es falaz, pues de un indicativo nunca se sigue un imperativo. Por eso Moore argüía contra Herbert Spencer que del hecho de que algo haya evolucionado o haya sido retenido por la selección natural no se sigue que sea bueno o que deba hacerse.

La falacia moralista, simétrica a la falacia naturalista, consiste en pretender inferir un hecho a partir de un deseo, valor, imperativo o enunciado moral o deóntico. La falacia moralista consiste en inferir «es» de «debe». Deducir los hechos a partir de los valores y la biología a partir de la moral es poner el carro delante de los bueyes. Cuando cierto tipo de igualitaristas ingenuos pretenden inferir la igual capacidad (por ejemplo, para la matemática o para la música) de todos los individuos y la ausencia de diferencias promedias entre grupos o sexos basándose en los ideales igualitarios que sustentan, están cayendo en la falacia moralista. Si tal igualdad se da o no, es una cuestión de hecho que solo puede investigarse empíricamente. Así como el Barón de Münchhausen, tratando de salir de la ciénaga tirándose de su propia coleta, se hundía cada vez más en ella, así también los que pretenden deducir trascendentalmente la realidad fáctica como condición de posibilidad de la realización de sus propios valores se hunden sin remedio en la falacia moralista.

Libertad y libre albedrío

El problema de la libertad y el pseudoproblema del libre albedrío tienen poco que ver

entre sí. Sin embargo, con frecuencia se enredan y confunden en el discurso descuidado, sobre todo cuando se usa el mismo término para referirse a ambas cosas.

El sustantivo “libertad” es un calco del latín *libertas*, que a su vez procede del adjetivo *liber* (libre), que inicialmente se oponía a *servus* (esclavo). En su sentido originario, la libertad es la condición social de quien puede decidir por sí mismo, sin estar sometido a la voluntad de otro. Esta condición se heredaba. Como dice Cicerón, «libre es el que nace de madre libre». También podía adquirirse, si el amo renunciaba a su dominio y liberaba a su esclavo, que pasaba a ser un liberto, es decir, adquiría la libertad.

Hoy en día ya no existe la esclavitud legal, pero la capacidad del individuo para tomar sus propias decisiones se ve con frecuencia interferida y restringida por los demás, tanto por los sistemas políticos autoritarios, como por otras instancias religiosas y sociales, incluidas la pandilla, la familia e incluso la propia pareja. La falta de libertad provoca frustración e infelicidad, cohibe la iniciativa y la creatividad, frena el progreso y disminuye la eficiencia; todo ello constituye un problema: el problema de la libertad, que es el problema práctico de cómo conseguirla e incrementarla.

La democracia (hacer lo que quiera la mayoría de los demás) no es lo mismo que la libertad (hacer lo que yo quiera), aunque la moderna democracia liberal trata de combinar ambas ideas. La democracia puede ser totalitaria, como en la antigua Grecia, en la Alemania de Hitler o en la Venezuela de Chávez, pero también puede garantizar en su constitución y en su práctica una amplia panoplia de libertades. Fuera de la política hay otros modelos más atractivos de libertad, como la ciencia o Internet, pero de momento, cualquier solución política al problema de la libertad pasa por alguna versión de la democracia liberal.

El determinismo metafísico es la tesis global y a priori de que todo está estrictamente predeterminado. Tiene dos versiones, una teológica (Dios es omnipotente y todo ocurre tal y como Dios quiere) y otra física (las leyes del Universo son como las de la mecánica clásica y excluyen el azar). No veo razón alguna para aceptar el determinismo metafísico. Desde una perspectiva científicamente razonable, el estudio de la determinación ha de ser encarado de modo local y a posteriori, averiguando empíricamente en cada caso si está determinado (como el próximo eclipse de Luna) o no (como la desintegración de este isótopo individual de carbono-14). Esto se aplica también a nuestra voluntad, de la que de todos modos conocemos muy poco y de la que nuestras experiencias conscientes volitivas son la mera punta visible del iceberg inconsciente. ¿Qué pasa en mi cerebro cuando decido ir al cine esta tarde? Nadie lo sabe.

Soy libre en la medida en que pueda hacer lo que yo quiera, en que los demás no me impidan hacerlo. Esto no tiene nada que ver con la cuestión teórica de hasta qué punto esté determinada mi voluntad y de qué factores dependa. El pseudoproblema del libre albedrío fue introducido en el contexto de la teodicea cristiana y musulmana: ¿cómo

combinar la omnipotencia divina con la responsabilidad moral humana? Si todos, incluso los pecadores, hacemos lo que Dios quiere, ¿cómo es que Dios nos castiga por nuestros pecados, cuando en definitiva él mismo ha decidido que los cometamos? La solución estaría en el libre albedrío, que Dios nos habría dado para poder castigarnos. Dios suspendería su determinación universal en el caso de las acciones humanas, a fin de luego poder premiarlas o castigarlas.

Algunos han secularizado este pseudoproblema teológico y se preguntan: ¿cómo puede el hombre ser libre, si todo en el Universo está predeterminado? En primer lugar, no parece que todo esté predeterminado. Lo que sí está en parte predeterminado (por las leyes de la física, por nuestros genes, por nuestros circuitos neurales, por nuestra cultura, por los estímulos que recibimos del entorno, por nuestras reflexiones previas conscientes y por mil factores inconscientes) es lo que queremos. Incluso ahora sabemos que cierto tipo de actividad inconsciente en nuestro córtex prefrontal precede a nuestra toma consciente de decisiones; cuando pensamos estar tomando una decisión, la decisión ya estaba tomada medio segundo antes en nuestro cerebro.

Las vías de formación de nuestros deseos no tienen nada que ver con el problema de la libertad. Da igual cómo se formen nuestros deseos y lo determinados que estén: mientras nos dejen hacer lo que queramos, seremos libres. Desde luego, no somos ruletas y, si lo fuésemos, no seríamos más libres; actuaríamos como locos y ya estaríamos muertos. Tampoco somos computadoras, unívocamente determinadas. Somos animales complejos y plásticos, capaces de hablar consigo mismos para convencerse de hacer lo que consideren más conveniente, aunque no siempre lo logren. Nuestra conducta es una función de muchas variables; nuestros razonamientos y reflexiones son algunas de ellas, pero no las únicas.

Lo que uno haga depende de diversos factores. Cuando alguien mata al vecino de un tiro, ello depende de sus genes, de sus hormonas (niveles de testosterona y adrenalina en sangre) y neurotransmisores, de sus sentimientos y emociones (ira, venganza), de sus normas y principios, de las leyes vigentes y su implementación, de los ejemplos observados, de sus interacciones previas, de eventuales razonamientos prudenciales e incluso de factores materiales esenciales como el disponer de un arma de fuego y munición. La abundancia de armas de fuego en ciertos países contribuye a explicar la frecuencia de los tiroteos.

Los factores citados se integran en el cerebro, sobre todo en el córtex prefrontal, donde se consolidan las decisiones y se inician los cursos de acción. Alguien podría identificar el córtex prefrontal con el libre albedrío, pero sería una propuesta extraña, pues la mayor parte de la actividad del córtex prefrontal es inconsciente, mientras que la noción de libre albedrío se asocia a la consciencia. En cualquier caso, se trata de una noción tan confusa, que ni siquiera Albert Einstein lograba entenderla:

No creo, en el sentido filosófico del término, en la libertad [el libre albedrío] del hombre. Cada uno obra no solo por una coacción exterior, sino también por una necesidad interior. La frase de Schopenhauer, «el humano puede hacer lo que quiera, pero no puede querer lo que quiera», ha sido una fuente de inspiración para mí desde mi juventud, un consuelo continuo y un manantial inagotable de paciencia frente a las adversidades de la vida.²⁵

Moral y ética

Si nuestra conducta estuviera siempre completamente determinada, de tal modo que nunca tuviéramos que elegir ni tomar decisión consciente alguna, la reflexión sobre lo que hacer sería superflua y la conciencia moral no existiría. Sin embargo, muchas veces podemos hacer una cosa u otra y vacilamos sobre cuál hacer. En algunas ocasiones reflexionamos sobre el curso que queramos dar a nuestra acción, teniendo en cuenta tanto la información circunstancial de la que disponemos como nuestros propios valores, metas, principios, inclinaciones y sentimientos. Estas reflexiones constituyen nuestra conciencia moral.

Con frecuencia tenemos que elegir, que tomar decisiones. Sería muy fatigoso reflexionar desde cero en cada caso concreto. Por eso adoptamos reglas morales (o “máximas”, en jerga kantiana) que guíen nuestra acción en multitud de casos parecidos. En vez de plantearnos, cada vez que vamos al restaurante, el dilema de si pagar la cuenta o marcharnos sin pagar, podemos adoptar de una vez por todas la regla de pagar siempre la cuenta. En este caso, especialmente sencillo, coinciden nuestras intuiciones morales, nuestras tendencias congénitas a la reciprocidad y el código mercantil vigente. Estas normas o reglas de conducta que nos damos a nosotros mismos constituyen nuestra moral. Por lo tanto, cada uno tiene su propia moral. Y una moral es un conjunto de normas.

Las normas morales que uno tiene en cierto momento son convenciones que uno ha adoptado hasta ese momento, procedentes de fuentes diversas. Algunas normas nos las damos a nosotros mismos tras un proceso de reflexión, análisis y elección racional; otras las recibimos culturalmente de las modas, propagandas y predicaciones presentes en nuestro entorno; otras, finalmente, las absorbemos a través de la educación, el adoctrinamiento y el lavado de cerebro a que somos sometidos durante la infancia, aprovechando que en esa etapa nuestro cerebro es especialmente plástico e incorpora fácilmente, como nuevos circuitos neurales, las normas transmitidas.

La sociedad necesita regular las múltiples transacciones e interacciones humanas de un modo más objetivo, impersonal y estable que la mera confrontación de las morales individuales. Esta regulación es el Derecho, a veces basado en la intersección de las morales individuales, pero en cualquier caso expresión convencional de la voluntad del legislador. La moral solo puede ser individual o particular, pero el Derecho es universal, al menos dentro del pequeño universo de su ámbito jurídico.

La ética (en el sentido en el que aquí usamos la palabra) es algo distinto de la moral. La ética es el intento filosófico de iluminar racionalmente el proceso de deliberación moral. Por tanto, la ética es algo así como la meta-moral, la teoría de la moral, el análisis crítico de los contenidos o reglas morales y la elaboración de criterios racionales para elegir entre morales alternativas. Hay morales religiosas, pero no existe (sería un oxímoron, o expresión contradictoria) una ética religiosa. La ética introduce en nuestra reflexión moral valores de segundo orden, tales como la consistencia entre las máximas y la universalización relevante. Si dos de nuestras reglas morales se contradicen, hemos de renunciar al menos a una de ellas, o a las dos. La aceptación de normas contradictorias solo conduce a la parálisis práctica. Si aceptamos una norma en ciertos casos, hemos de extenderla a todos los casos relevantemente similares. Por eso la ética es incompatible con cualquier forma de grupismo (nacionalismo excluyente, fanatismo religioso, mafia, racismo, sexismo, especismo) que restrinja la consideración moral a los miembros del propio grupo y deje en la intemperie normativa a los demás. Lo que nunca constituye justificación ética de una regla o costumbre es su carácter tradicional. La tradición puede explicar sociológicamente la existencia de ciertas normas o costumbres (*mores*) en un grupo social determinado, pero la tradición tiene valor nulo como justificación ética de nada. Las salvajadas más execrables son tradicionales allí donde se practican.

Teorías éticas

Las teorías éticas más ambiciosas pretenden formular criterios generales y uniformes para justificar todo tipo de reglas morales en situaciones de cualquier índole, aunque es dudoso que lo consigan. Entre las teorías éticas en boga en los círculos académicos se encuentran el utilitarismo, el kantismo y el contractualismo. A continuación examinaremos muy brevemente estas concepciones.

Parece obvio que en el enjuiciamiento de nuestras reglas prácticas hay que tener en cuenta sus consecuencias. Una norma que produzca consecuencias malas o indeseables será una norma mala o indeseable; y a la inversa. Las éticas que incorporan este punto de vista se llaman “éticas consecuencialistas”. Entre ellas habría que incluir la teoría de la decisión racional, que culmina en la regla de Bayes: «Actúa de tal manera que maximices tu utilidad esperada». La utilidad de algo para un agente es la contribución de ese algo a la satisfacción de los deseos del agente. La utilidad esperada de una situación para un agente es la utilidad que tendría para el agente si se produjera, ponderada (es decir, multiplicada) por la probabilidad subjetiva de que se produzca.

En un ámbito más estrechamente filosófico, la tradición consecuencialista más famosa es la de la ética utilitarista. Casi todos tenemos en cuenta, en alguna medida, las consecuencias que para nosotros mismos tendrían nuestras posibles acciones alternativas. La teoría de la decisión de Bayes es compatible con el egoísmo y la racionalidad. El

utilitarismo, por el contrario, es una doctrina para santos; nos invita a considerar no solo cómo las alternativas nos afectarían a nosotros, sino también cómo afectarían a cualquier otra criatura capaz de ser afectada. Además, en un alarde de altruismo heroico, el utilitarismo exige que demos la misma importancia y peso a las consecuencias que tendría la acción o la regla para cualquier ser humano e incluso para cualquier criatura capaz de sufrir que a las consecuencias que tenga para nosotros mismos y para nuestros hijos. Si ponemos todas las utilidades que produciría una acción (o el seguimiento de una regla) en el mismo plano y las sumamos, obtenemos la utilidad agregada de esa acción o regla. El principio de utilidad del utilitarismo dice: «Actúa de tal manera que maximices la utilidad agregada, es decir, actúa de tal manera que tu acción incrementalmente lo más posible la felicidad que hay en el mundo (o minimice el dolor y la aflicción)».

A pesar de su atractivo inicial, el utilitarismo tropieza con serios problemas, empezando por la dificultad o imposibilidad de definir de un modo matemáticamente aceptable su noción central, la de utilidad. Es cierto que a partir de un sistema individual de preferencias binarias suficientemente idealizado se puede obtener una función métrica de utilidad ordinal, es decir, una función que asigne números mayores a los estados de cosas preferidos por el agente. Sin embargo, no se puede obtener de modo alguno (sin presupuestos arbitrarios) una función supraindividual, y no digamos ya supraespecífica, de utilidad. Si ni siquiera está definida la función de utilidad, no se entiende lo que significa el principio de maximizarla. Además, los éticos poco proclives al utilitarismo han imaginado circunstancias hipotéticas en las que el principio de máxima utilidad podría conducir a decisiones contrarias a nuestras intuiciones y sentimientos morales (como sacrificar a un ciudadano sano para trasplantar sus diversos órganos a otros individuos enfermos que los necesitan).

Kant propuso un esquema abstracto de justificación ética, el imperativo categórico. Este imperativo incorpora la idea de universalización de las reglas morales (o “máximas”, en su terminología): «Elige como máximas de tu acción principios que sean universalizables, que puedas desear que sean adoptados como leyes universales». Sin embargo, la fundamentación kantiana infradetermina la moral y no ofrece respuestas ni soluciones a nuestras preguntas y dilemas morales. Es un formalismo incapaz de dar de sí más de lo que nosotros previamente introduzcamos en él de contrabando. Kant es el principal adalid de una ética formalista, una ética tan pura y formal que ni siquiera está hecha para los seres humanos, sino para todo «ser racional». El kantismo ético es un formalismo tautológico. Los seres racionales en sentido kantiano hacen lo que dice Kant, por definición; si no lo hacen, no son (o no se comportan como) seres racionales. Sus «seres racionales» actúan exclusivamente por respeto a la ley moral y constituyen un reino espiritual de fines. El problema es que tales seres y tal reino no existen. En Kant hay una separación tajante entre el mundo sensible y el mundo inteligible, entre el mundo

de la naturaleza y el mundo del espíritu, cuya compatibilidad con una visión científica del mundo es sumamente dudosa.

Yo no recuerdo haber actuado nunca por respeto a la ley moral o por consideración de un deber absoluto. Quizá haya hecho alguna cosa buena en mi vida y haya ayudado a algunos congéneres y otros animales, pero habré estado más motivado por el cariño y la compasión que por el respeto a la ley moral.

El imperativo categórico kantiano, en cualquiera de sus versiones, es tan vacío y formal que cada «ser racional» debe añadirle todos sus prejuicios para poder deducir a partir de él reglas morales concretas. Esta legislación no será nunca universal, en contra de lo que Kant pretendía. De los principios vacíos, solo se deducirá lo que cada uno haya añadido como premisas tácitas. A la hora de deducir reglas morales en la *Metaphysik der Sitten*, el mismo Kant se limita a deducir la moral cristiana tradicional. Así, en el capítulo dedicado al suicidio, «deduce» el resultado sorprendente (para una moral de la autonomía) de que el suicidio está moralmente prohibido y es un crimen.²⁶ Los griegos clásicos habrían llegado a una conclusión distinta a partir del mismo principio, y no porque fueran menos racionales, sino porque no eran cristianos. El capítulo siguiente está dedicado a la lujuria (el placer sexual que no conduce a la procreación), que según Kant también sería algo moralmente prohibido. «Un tal uso (o más bien abuso) contra natura de la sexualidad es una violación del deber para consigo mismo que se opone en máximo grado a la moralidad...» La razón de ello consiste en que «el humano renuncia a su personalidad (y la arroja), usando de sí mismo como de un mero medio para la satisfacción de sus instintos animales». Aquí de nuevo Kant, bajo la pretensión de una deducción abstracta, se limita a repetir la moral cristiana pietista que había asimilado de niño. ¡Para ese viaje no hacían falta estas alforjas! El utilitarismo conduciría en estos casos (el del suicidio y el placer sexual no reproductor) a conclusiones morales más razonables. También a la hora de enfocar la problemática de nuestras relaciones con los animales no humanos y con el resto de la biosfera, el utilitarismo funciona mejor que el kantismo, aunque esté lejos de ser una panacea.

La misma dificultad reaparece en el contractualismo de John Rawls. Rawls nos propone como fórmula de justificación de las normas políticas el considerar lo que acordarían individuos racionales (en el sentido de la teoría de la decisión, es decir, que tratan de maximizar su utilidad esperada) pero timoratos (adeptos a la regla del MAXIMIN en situaciones de incertidumbre, por lo que actúan siempre como si fuera a ocurrir lo peor), sometidos al velo de la ignorancia sobre la posición que luego van a ocupar en la sociedad para la que legislan. De nuevo aquí nos encontramos con que este planteamiento formal dará lugar a legislaciones muy distintas, según sea el abanico de posibles situaciones futuras que se admitan.

Por ejemplo, si los agentes no saben si van a ser blancos, negros o amarillos, se

inclinarán por dar las mismas oportunidades a todas las razas. Pero, igualmente, si no saben si van a ser estadounidenses o mexicanos, españoles o marroquíes, acordarán una legislación muy distinta que si ya saben de antemano que van a ser ciudadanos de un determinado Estado nacional. Si están seguros de que van a ser humanos, concederán menos derechos a los otros animales que si piensan —como los pitagóricos, los budistas o los hindúes— que pueden encarnarse en cualquier especie animal. En definitiva, el abanico de posibilidades que se consideren puede abrirse más o menos y en direcciones distintas. Y según cuánto (y en qué sentido) se abra, los agentes racionales en la situación originaria llegarán a legislaciones muy diferentes. Así como del principio moral de Kant salía casi cualquier cosa, de la situación originaria bajo el velo de la ignorancia sale casi cualquier legislación, según el alcance y el sesgo que elijamos atribuir a esa ignorancia inicial.

Teorías y sentimientos

A los filósofos nos gustan los principios simples, que dan cuenta de todo con el mismo criterio y desde el mismo punto de vista. Pero la realidad es compleja, y diferentes enfoques son a veces requeridos para analizar sus diversos aspectos. Nuestra conciencia moral ha de tener en cuenta la diversidad de nuestros problemas morales, y ha de ser lo suficientemente flexible como para adoptar diferentes perspectivas para tratar de problemas distintos. Por ejemplo, la ética kantiana enfatiza el efecto de nuestras acciones en los demás humanos, pero se olvida de sus efectos en nosotros mismos o en la biosfera. Los enfoques contractualistas sirven para analizar el cumplimiento de las promesas o el pago de las deudas, pero fracasan cuando se aplican a nuestras relaciones con los infantes o con los otros animales. El utilitarismo analiza bien algunas de estas cuestiones, pero no proporciona una plataforma fiable para asegurar las libertades individuales. Ninguna teoría ética simple es la panacea de todos los problemas morales.

La física ha avanzado más que la ética, pero ni siquiera en la física hemos logrado la teoría unificada. En física echamos mano de teorías distintas en dominios diferentes: en cosmología usamos la teoría general de la relatividad, pero en física de partículas aplicamos la teoría cuántica de campos. El enjuiciar las actuaciones humanas no es más sencillo que el describirlas. No hay teoría social ni fórmula simple que nos permita resumir y predecir la conducta humana en todos sus detalles. Todavía menos hay una fórmula simple que resuma la ética. ¡Ojalá hubiera tal fórmula mágica, tal máquina conceptual de justificar decisiones morales! Nos ahorraría muchos dilemas y quebraderos de cabeza. Mientras no se encuentre, tendremos que seguir reconstruyendo inacabablemente nuestra propia moral, como en la metáfora del barco de Neurath, que se va reconstruyendo mientras navega. Tendremos que seguir avanzando a tientas en la oscuridad, por ensayo y error, echando mano en nuestras deliberaciones de todos los

heteróclitos recursos de los que disponemos, desde nuestras inclinaciones congénitas hasta nuestras teorías filosóficas, desde los datos científicos objetivos hasta nuestra subjetiva experiencia de la vida, desde el cálculo hasta la compasión. Ojalá fuera todo más sencillo, pero no lo es.

Nuestras intuiciones, emociones y sentimientos morales, en parte anclados en nuestro genoma, son la piedra de toque de las teorías éticas. Las emociones morales desempeñan (hasta cierto punto) un papel en la ética comparable al de las observaciones empíricas en la física. Por muy plausible que resulte una teoría física, si contradice nuestras observaciones, tanto peor para la teoría física. Y por muy elocuente que sea una teoría ética, si a partir de ella resultan conclusiones contrarias a nuestras intuiciones y sentimientos morales, tanto peor para la teoría ética. (En ambos casos se pueden dar excepciones, claro.)

En nuestra reflexión moral se da un proceso continuo en el que nuestras emociones guían a nuestras teorías y nuestras teorías educan a nuestras emociones. El poner nuestras emociones morales encima de la mesa no constituye ninguna panacea ética. Pero con frecuencia nuestros sentimientos responden a un procesamiento de la información más minucioso y profundo, y no por inconsciente menos sofisticado que las ideologías y teorías conscientemente articuladas. Muchos de los mayores crímenes de nuestro tiempo se han debido a la desactivación de nuestros sentimientos de compasión y empatía, así como a la aplicación implacable de ideologías aprendidas en los libros. En cualquier caso, el ser una buena persona tiene más que ver con los sentimientos, las emociones y las actitudes (y, por tanto, con los genes y las hormonas y la experiencia de la vida) que con el conocimiento de alguna abstrusa teoría ética.

Derechos

El discurso moral de cada época se expresa en categorías distintas. En la Antigüedad se hablaba de bienes, en la Edad Media de pecados, posteriormente de deberes y ahora está en boga la jerga de los derechos. Sin embargo, la noción de los derechos no deja de ser vidriosa y de prestarse a todo tipo de malentendidos.

Los derechos no son algo que exista ya dado en la naturaleza y que nosotros nos limitemos a descubrir. Los derechos no existen de por sí; por eso tiene sentido tratar de crearlos mediante convenciones legislativas. Los derechos son convenciones que nosotros establecemos mediante nuestro acuerdo. La cuestión de los derechos que tengamos se plantea solo en el seno de una sociedad organizada políticamente y provista de un ordenamiento jurídico. Así que la pregunta relevante no es ¿qué derechos tienen estos o aquellos?, sino ¿qué derechos queremos que tengan? La fuente de los derechos es el Derecho (la legislación), y no hay más Derecho que el positivo, el Derecho natural no existe. Por tanto, qué derechos tengamos los hombres o las mujeres, los payos o los

gitanos, los mamíferos o las aves, depende exclusivamente de la legislación vigente en el momento y lugar en que se plantea la pregunta. Los derechos no los revela la ciencia ni la autopsia, sino la ley del país.

Aparte del Derecho o legislación (lo que los juristas llaman el “derecho objetivo”), se habla de derechos (“subjetivos”, en jerga jurídica) como capacidades convencionales, establecidas y reconocidas por la legislación, que el individuo puede tener o no tener. Siguiendo a Hans Kelsen, crear un derecho para alguien significa establecer una obligación (o prohibición) para los demás. Que alguien tenga ciertos derechos significa que los demás tienen determinadas obligaciones respecto a él. Por eso los niños o los animales pueden tener derechos sin tener obligaciones. El derecho de los niños a ser alimentados y educados es la obligación que tienen sus padres de darles de comer y llevarlos a la escuela. La libertad de prensa es la prohibición de la censura. El derecho de las vacas suecas a salir de paseo una vez al día es la obligación de los ganaderos de sacarlas del establo.

Los derechos naturales, independientes de nuestras convenciones, no existen. Las declaraciones universales de los derechos humanos (o de los derechos de los animales) son declaraciones de buenas intenciones, en las que se propugna la promulgación de leyes positivas que impongan ciertas obligaciones y prohibiciones. En este y otros casos, usamos la jerga de los derechos para referirnos a algo que todavía no es un derecho legal, pero que nosotros pretendemos o exigimos que se convierta en un derecho legal. A veces protestamos porque la legislación de nuestro país no reconoce ciertos derechos. Eso es una manera oblicua de decir que no estamos de acuerdo con la legislación vigente y que propugnamos su cambio en el sentido de incorporar ciertas garantías hasta ahora no reconocidas jurídicamente. Los derechos y valores intrínsecos son meras ficciones y solo está justificado hablar de ellos en contextos retóricos, donde el buen fin quizá justifique el mal medio de un uso confuso y mitológico del lenguaje. Nada tiene valor intrínseco. El valor es un efecto de la valoración. Algo tiene valor en la medida en que lo valoremos, y no a la inversa. El valor económico de un bien o servicio es la resultante de las valoraciones que los agentes que actúan en el mercado hacen de ese bien. Si nadie lo valora, el bien carece de valor. Lo mismo ocurre con el valor estético y el moral. Tendríamos, en resumen, tres tipos de derechos: los derechos como capacidades legales, los derechos como pretensiones y los inexistentes derechos naturales, además, claro está, del Derecho o legislación positiva.

Naturaleza humana, libertad y dignidad

Varios filósofos de épocas pasadas han señalado una presunta dualidad en la naturaleza humana: por un lado somos organismos, sometidos a las leyes de la naturaleza; por otro seríamos seres espirituales, incorpóreos e inmortales como los dioses y los ángeles.

Descartes contraponía el alma inextensa y espiritual al cuerpo extenso y maquinal, aunque luego acababa proponiendo una imposible interacción entre ambos a través de la glándula pineal. Kant definía el ser racional sin referencia alguna a su cuerpo. El sujeto transcendental kantiano no forma parte del mundo empírico, aunque hasta cierto punto pueda conocerlo. Algunos pensadores de tradición idealista consideran que la idea kantiana del ser racional, como completamente autónomo e independiente de las leyes de la naturaleza, proporciona la base filosófica de la noción de libre albedrío, a su vez fundamento de los valores del liberalismo, y de la noción de responsabilidad. Obviamente hay otras maneras más realistas de enfocar estos temas y muchos liberales no son kantianos.

Tanto Francis Fukuyama como Jürgen Habermas temen que los avances de la biología y la biotecnología puedan poner en peligro la moral y la sociedad liberal democrática. En efecto, esos avances cuestionarían varias ideas tradicionales: que los humanos somos muy distintos de los otros animales, que tenemos un libre albedrío absoluto, que poseemos una dignidad igual y que nos consideramos unos a otros como sujetos morales. Piensan que estas ideas no solo pertenecen a la tradición religiosa occidental, sino que también constituyen la base ideológica del liberalismo (y del capitalismo, según Fukuyama). La conclusión que sacan de estos opacos razonamientos es que hay que frenar el progreso científico y prohibir los desarrollos tecnológicos que contribuyan a poner en manos de los padres (en lugar de las del azar) la selección de ciertos rasgos hereditarios de sus hijos. Hay mucha exageración en todas estas alarmas. El día que sea posible inmunizar al hijo contra una enfermedad introduciendo un nuevo segmento de DNA en los cromosomas del cigoto, no estaremos haciendo algo muy distinto de lo que hacemos ahora vacunándolo.

La investigación de la naturaleza humana es una cuestión tan fáctica como la medida del perihelio de Mercurio. Resulta epistemológicamente insostenible la posición de quienes postulan una naturaleza humana de cierto tipo con independencia de cualquier información fáctica sobre la misma y meramente como condición trascendental de la posibilidad de la moralidad, de la responsabilidad, de la sociedad igualitaria o de la «dignidad» humana. La historia nos enseña que tanto la moral como la ciencia van cambiando a lo largo del tiempo. Pretender frenar el progreso de la ciencia y la tecnología para impedir el cambio de la moral es hacer un flaco servicio a la ciencia y a la moral. Una moral basada en la congelación de nuestros prejuicios y aislada de la ciencia viva tendría los pies de barro y sería incapaz de dar respuestas razonables a los retos inéditos que nos deparará el futuro. Lo que necesitamos es una racionalidad teórica y práctica abierta y flexible, atenta a los peligros y oportunidades y dispuesta a renovarse a sí misma cuantas veces haga falta. Esta plasticidad de nuestra manera de pensar también forma parte de la naturaleza humana, está anclada en nuestro genoma y afortunadamente

no va a desaparecer por los temores exagerados de algunos intelectuales alarmistas.

Notas:

[25](#). Einstein, A., «Mein Glaubensbekenntnis», 1932.

[26](#). Kant I., *Metaphysik der Sitten*, segunda parte, I., Ethische Elementarlehre, § 6, „Von der Selbstentleibung“.
(Hay traducción en español: *La metafísica de las costumbres*, Tecnos, Madrid, 1989.)

5

Teoría de la racionalidad

Sentidos de “racionalidad”

La palabra “racionalidad” se emplea en al menos cinco sentidos distintos:

- Racionalidad como capacidad lingüística. En este sentido —el más débil— un ser racional es un ser capaz de comunicarse mediante el lenguaje. Aristóteles había caracterizado al humano como el animal que tiene lenguaje (*lógon ékhei*), expresión que luego fue (mal) traducida como «animal racional». [27](#)
- Racionalidad como razonabilidad. En este sentido, alguien es racional si aduce (o está dispuesto a dar) razones para decir o hacer lo que dice o hace. Y toda persona razonable y bien educada es racional.
- Racionalidad como ética. Kant identificó la racionalidad práctica con la ética. En este sentido es racional quien respeta a los demás y los trata como fines, no solo como medios.
- Racionalidad como racionalismo, como confianza ilimitada en la razón, en la intuición o la evidencia. Descartes y el resto de los racionalistas del siglo XVII solían adoptar esta postura, que por lo demás no tiene nada que ver con la racionalidad científica actual.
- Racionalidad como estrategia de optimización en la consecución de nuestros objetivos. Este sentido moderno o económico de la racionalidad presupone la capacidad lingüística y la razonabilidad, pero va más allá, incluyendo típicamente procesos de evaluación y optimización. La teoría de la decisión, la teoría de juegos y la teoría económica, en general, usan esta noción de racionalidad, que casi es la única empleada fuera de contextos filosóficos.

Aunque todos estos sentidos de la palabra son dignos de atención, aquí y a partir de ahora nos limitaremos a considerar el último. Por tanto, siempre que hablemos de racionalidad, estaremos hablando de una estrategia para optimizar la consecución de nuestros fines.

Situaciones en que se plantean cuestiones

de racionalidad

Si nuestra conducta estuviera preprogramada de un modo unívoco y de una vez por todas, nuestra vida resultaría más sencilla, y no se nos plantearían problemas de elección, decisión y racionalidad. Una estrategia evolutiva de ese tipo podría haber sido exitosa en especies adaptadas a un entorno estable, pero la historia de nuestro linaje parece estar inextricablemente unida a frecuentes cambios climáticos y ecológicos en África Oriental, que favorecieron la plasticidad cerebral y la flexibilidad de las respuestas como la manera más adecuada de enfrentarse a un entorno cambiante. Aunque venimos al mundo con un cerebro preprogramado genéticamente para perseguir ciertas metas siguiendo ciertos procedimientos, esta programación solo es parcial y deja amplios resquicios para que improvisemos por nuestra cuenta, añadiendo nuevos objetivos y métodos inéditos. Somos, pues, un sistema a la vez muy flexible y fuertemente constreñido, un cóctel de predeterminación y libertad mezclado en la proporción fijada por la evolución como la más favorable para la supervivencia de nuestros genes.

La flexibilidad intrínseca de nuestro cerebro es a la vez potenciada y restringida por la cultura que asimilamos. Algunas culturas han sido tan rígidas y monolíticas como para imponer pautas unívocas de conducta a sus portadores, determinando casi por completo el rumbo de sus vidas. Con ello la cultura les ha quitado la libertad que la naturaleza les había dado, y les ha librado de los dilemas y desasosiegos asociados con la posibilidad de elección. Sin embargo, ese tipo de culturas cerradas está en franca regresión, y una cultura global, pluralista y abierta, de raíz lejanamente occidental, se ha extendido como una mancha de aceite por la mayor parte del planeta. En cualquier caso, nuestra cultura nos permite un gran margen de maniobra.

Mi naturaleza me constriñe de diversos modos. No puedo evitar desear comer, orinar o dormir, después de cierto tiempo sin hacer tales cosas. Basta con que quiera andar, y ando. Pero no basta con que quiera volar para que vuele. Mi cultura me constriñe también. El hecho de que sepa hablar alemán y andar en bicicleta, pero no sea capaz de hablar ruso ni de tocar el violín, me abre ciertas puertas y me cierra otras. A pesar de todo, mi experiencia personal me indica que mi conducta está lejos de estar unívocamente determinada. Con frecuencia me he visto enfrentado a encrucijadas prácticas, en las que realmente tenía varios caminos abiertos ante mí y tenía que elegir cuál de ellos tomar. A veces se trataba de cuestiones triviales; otras, de decisiones cruciales, llamadas a tener consecuencias importantes. Nunca he tenido la sensación de ser un mero juguete de fuerzas exteriores. Muchas veces he tenido la experiencia (a veces agobiante) de la libertad.

Los problemas de racionalidad (o de decisión racional) solo se plantean en situaciones con alguna indeterminación, en las que el agente tiene cierto margen de maniobra, en las que puede elegir entre cursos de acción alternativos. En situaciones deterministas, cuando

no hay nada que decidir o elegir, no se plantean problemas de racionalidad.

Por muy libres que seamos, si no tenemos metas, objetivos o preferencias, si todo nos da igual, tampoco se nos plantearán problemas prácticos. Podemos seguir, cual veletas, la dirección de cualquier viento que sople, sin esforzarnos por evaluarla o cambiarla. La indiferencia nos libra también de los problemas de decisión racional. La indiferencia absoluta es un mito, pues nuestro cerebro ya está provisto de preferencias innatas. Pero muchas actitudes de pasotismo, fatalismo o frivolidad limitan considerablemente el campo de nuestras preferencias. Mi experiencia consiste en que a veces las alternativas me dan igual, pero con frecuencia no me dan igual en absoluto, sino que tengo muy marcadas preferencias y objetivos. En general, me gustaría vivir lo mejor posible. Y, además, me gustaría contribuir a la consecución de ciertos objetivos que me trascienden, como la salvaguarda de la biosfera y su diversidad biológica, la paz en el mundo o el progreso del conocimiento humano. Por eso me intereso por la racionalidad.

Si salgo a pasear sin rumbo fijo, cualquier camino que siga es tan bueno como cualquier otro y no hay nada que decidir racionalmente. Sin embargo, tan pronto como tenga un objetivo (quiero ir a la catedral) o una preferencia (prefiero pasear por calles tranquilas y sin tráfico que por otras ruidosas y congestionadas), se plantea la cuestión racional de cómo llegar a la catedral o de cómo evitar las calles ruidosas. Normalmente tenemos varios fines en nuestras acciones y varios parámetros que optimizar. Si viajamos a un lugar, preferimos la ruta más corta, pero también la tarifa más barata y el medio de transporte más seguro y confortable.

En resumen, solo tiene sentido plantear cuestiones de racionalidad y problemas de decisión racional en situaciones que reúnan estas dos condiciones:

- Que el agente se encuentre ante diversas alternativas entre las que pueda elegir; que la salida de la situación no esté unívocamente determinada.
- Que no todo le dé igual al agente; que prefiera unas salidas de la situación a otras.

Cuando decidimos qué ideas aceptar, hablamos de racionalidad teórica. Cuando decidimos qué cosas hacer, hablamos de racionalidad práctica. Tanto sobre la racionalidad teórica como sobre la práctica se han desarrollado una teoría formal (de carácter básicamente matemático y respecto a la cual hay un amplio consenso) y una teoría material (que trata de reducir la infradeterminación de las ideas y acciones por la teoría formal mediante un cierto anclaje en la realidad y una cierta conexión con nuestra naturaleza, y respecto a la cual hay menos consenso).

Teoría de la decisión racional

Supongamos que un agente ha de elegir entre varias acciones o cursos de acción alternativos. Si el agente sabe (o cree saber) cuál será el resultado de cada una de esas

acciones posibles, decimos que actúa bajo condiciones de certeza. Si el agente desconoce ese resultado, pero se atreve a estimarlo en términos de probabilidad, decimos que actúa bajo condiciones de riesgo. Si ni conoce los resultados de los diversos cursos de acción entre los que tiene que elegir, y ni siquiera se atreve a asignarles probabilidades subjetivas, decimos que actúa bajo condiciones de incertidumbre, es decir, a oscuras. La teoría de la decisión o teoría formal de la racionalidad práctica considera por separado estos tres tipos de situaciones:

1. **Decisión bajo condiciones de certeza.** Se trata de maximizar o minimizar un parámetro, bajo ciertos constreñimientos. Los constreñimientos o restricciones son también fines del agente. Si el agente, además de racional, es moral, incorpora sus máximas morales (que suelen ser negativas) en forma de restricciones de sus fines. El ejemplo típico es el de la confección de un menú que trate de minimizar el coste de la comida, bajo constreñimientos dietéticos sobre calorías, proteínas, grasas, hidratos de carbono, minerales y vitaminas. La técnica formal para resolver este tipo de problemas es la programación lineal.
2. **Decisión bajo condiciones de riesgo.** El agente tiene que decidir entre un conjunto de acciones alternativas, de cuyas consecuencias no está seguro, aunque se atreve a asignarles probabilidades subjetivas. También suponemos que el sujeto puede asignar utilidades a las diversas consecuencias posibles. (Para ello basta con que el agente tenga una relación binaria de preferencia entre consecuencias que satisfaga ciertas condiciones obviamente razonables, como la transitividad; entonces se pueden definir escalas ordinales de utilidad compatibles con esa relación de preferencia.) Se trata del tipo de situación más estudiado. La solución de este tipo de problemas viene dada por la regla de Bayes: *actúa de tal modo que maximices tu utilidad esperada*. La utilidad esperada de una acción posible es la suma ponderada por la probabilidad de las utilidades de sus diversas consecuencias posibles. Si llamamos $c_1^a, \dots, c_n^a$ a las consecuencias posibles de una determinada acción a , llamamos u a la función numérica de utilidad y p a la de probabilidad, entonces la utilidad esperada de esa acción a será

$$\sum_{i=1}^n u(c_i^a) \cdot p(c_i^a)$$

3. **Decisión bajo condiciones de incertidumbre.** El agente está tan inseguro respecto a las consecuencias que pueda tener cada curso de acción alternativo, que ni siquiera se atreve a asignarles probabilidades subjetivas. De todos modos, les puede asignar utilidades. En este tipo de situaciones (al contrario de lo que ocurría en las anteriores) no hay ninguna regla unívoca y comúnmente aceptada para resolver el problema. Lo

único que hay es una pluralidad de reglas incompatibles, que corresponden a otros tantos temperamentos o actitudes distintos. Dos reglas famosas y extremas son:

- MAXIMIN: actúa de tal manera que maximices la mínima utilidad. Equivalentemente, actúa de tal manera que minimices el máximo riesgo, actúa suponiendo que vas a perder, actúa pensando que va a ocurrir lo peor posible.
- MAXIMAX: actúa de tal manera que maximices la máxima utilidad. Equivalentemente, actúa suponiendo que vas a ganar, actúa teniendo en cuenta solo el mejor caso posible.

La primera es una regla de prudencia especialmente atractiva para temperamentos timoratos, conservadores, pesimistas, que van a lo seguro. La segunda es una regla de audacia, atractiva para los temperamentos aventureros, optimistas, arriesgados y deseosos de jugar fuerte.

John Rawls, en su famoso libro *A Theory of Justice*, dedujo sus dos principios de justicia, que determinan lo que él considera una sociedad justa, suponiendo que son los que elegiría un agente racional bajo el «velo de la ignorancia», es decir, sin conocer la posición que él va a ocupar en la sociedad para la que legisla. De todos modos, Rawls define la racionalidad del agente por su aplicación de la regla del MAXIMIN, con lo cual identifica al racional con el timorato, lo cual es muy discutible.²⁸ Supongamos que nos ofrecen de regalo un boleto de lotería, a elegir entre dos loterías, la *A* y la *B*. En la lotería *A*, si ganas, recibes un millón de dólares; si pierdes, no recibes nada. En la lotería *B*, si ganas, recibes un dólar; si pierdes, recibes también un dólar. Casi todos elegiríamos *A*, pero si aplicásemos el MAXIMIN, tendríamos que elegir *B*.

La teoría formal de la racionalidad práctica supone que el sujeto sabe lo que quiere (o lo que prefiere) en todas las circunstancias. Eso es una idealización poco realista. Aunque la regla de Bayes es difícilmente atacable, no siempre es aplicable, pues a veces el sujeto no sabe exactamente lo que quiere. La programación lineal y la regla de Bayes formalizan nuestra intuición de la consistencia práctica. Allí donde son aplicables, es imposible entenderlas y no estar de acuerdo con ellas, sin contradecirse en sentido práctico, es decir, sin reconocer que no queremos aquello que decíamos querer.

Teoría material de la racionalidad práctica

Con frecuencia no está nada claro qué es lo que quiero, ni siquiera para mí. El yo es una construcción hipotética a partir de múltiples episodios dispersos de consciencia. En cualquier caso, es la punta apenas entrevista de un iceberg cerebral, la mayor parte de cuyo procesamiento de la información es inconsciente. Nuestro cerebro, a su vez, es el

resultado chapucero de la yuxtaposición de sistemas distintos de procesamiento de la información, sistemas surgidos en épocas diferentes para resolver problemas dispares. A veces parece una empresa mal avenida, en la que distintos comités toman decisiones opuestas, lo que puede conducir a la parálisis práctica. El yo con planes y voluntad propia no es algo dado, sino algo construido o por construir.

Cuando nuestros yos descoyuntados llegan a un compromiso, no siempre el resultado es lo que llamaríamos racional. La racionalidad práctica bayesiana o formal se reduce a la consistencia, y es compatible con cualquier conducta y sistema coherente de fines, por lunático que este sea. (Si la automortificación es uno de mis fines últimos, será formalmente racional que busque cilicios cada vez más lacerantes; lo cual no es óbice para que tanto el fin como el medio sean irracionales en un sentido intuitivo no formal, sino biológico.) Para que nuestro sistema de fines merezca ser llamado racional en un sentido material hay que atarlo a algo no formal, hay que anclarlo en alguna realidad material. Una atadura, la más sólida, es la que lo liga a nuestro sistema de fines y necesidades biológicamente dados, heredado genéticamente y plasmado en nuestros diversos sistemas encefálicos. De hecho, nuestro cerebro es como un utensilio fundamentalmente adaptado a satisfacer nuestras necesidades biológicas.

El desarrollo de la teoría material de la racionalidad práctica pasa por el conocimiento de nuestras necesidades e intereses, que deben ser incorporados en un plan de vida racional, lo que a su vez presupone la exploración de lo que somos (de nuestro genoma, nuestro cerebro y nuestras relaciones y circunstancias). La salud, por ejemplo, es asumida como un fin importante por cualquier agente racional. La conducta nociva para la propia salud es síntoma inequívoco de irracionalidad práctica. A un nivel elemental y provisional, nuestra capacidad congénita de sentir placer y dolor constituye un sistema cibernético que nos informa sobre nuestros aciertos y errores prácticos: en general (pero no siempre), lo que nos conviene nos da placer, y lo que nos perjudica nos duele. En último término, la racionalidad formal se reduce a la consistencia, y su estudio es una parte de las matemáticas, mientras que la racionalidad material hunde sus raíces en nuestras estructuras biológicas y su estudio está íntimamente ligado al de la biología.

Racionalidad parcial y global

Con frecuencia observamos que algunas personas son racionales en ciertas áreas restringidas de sus creencias o de su conducta, pero irracionales en otras. Por ejemplo, el físico Michael Faraday era tan racional en sus investigaciones científicas como irracional en sus creencias religiosas, que lo llevaron a afiliarse a una oscura secta que lo atemorizaba y maltrataba.

La racionalidad limitada a ciertos campos o situaciones, con exclusión de los demás, constituye el objeto típico de estudio de la teoría formal de la racionalidad, que en

realidad es una teoría de la racionalidad parcial. La racionalidad práctica parcial, restringida a un ámbito, presupone la racionalidad teórica, al menos en relación a ese ámbito. Para aplicar la programación lineal o la regla de Bayes tenemos que indagar previamente las funciones implicadas y asignar probabilidades. Incluso la determinación de utilidades depende de nuestra información acerca del mundo. En efecto, la función de utilidad mide lo mucho o poco deseable que algo es para nosotros. Pero, según lo que pensemos sobre el mundo, desearémos más unas cosas u otras. La información de que una determinada persona tiene el sida disminuirá drásticamente nuestro deseo de copular con ella. El inversionista o el agente de bolsa, si se comportan racionalmente en sentido práctico, tratarán de obtener la mejor información disponible acerca de las empresas cuyas acciones pretendan adquirir. El enfermo, si quiere curarse, deberá informarse bien al menos sobre su propia enfermedad y su posible terapia.

Si extendemos la racionalidad a la vida entera, entonces apuntamos hacia la racionalidad global, lo que es una empresa tan ambiciosa que ya desborda el ámbito matemático de la teoría de la decisión y se acerca a las sabidurías clásicas y orientales. La racionalidad práctica global es la estrategia de maximización de la felicidad a lo largo de toda nuestra vida, lo que a su vez presupone la completa racionalidad teórica. Solo en función de un sistema de creencias fiable y de gran alcance acerca del Universo y de nuestra posición en él podemos orientar la nave de nuestra vida de un modo satisfactorio (a pesar de lo cual podemos equivocarnos, claro está, pero al menos habremos intentado acertar).

¿Por qué ocuparnos de la racionalidad? De hecho, tenemos cierto margen de libertad, y con frecuencia hemos de elegir entre alternativas. Y no todo nos da igual, tenemos preferencias, por lo que nos importa elegir bien y acertar. Somos flor de un día, y la brevedad de la vida (en sentido biográfico) confiere dramatismo y urgencia a nuestras decisiones. Como a los habitantes de Macondo, según Gabriel García Márquez, tampoco a nosotros nos será dada una segunda oportunidad.

Teoría formal de la racionalidad teórica

Una de las cosas que podemos desear es el conocimiento de la realidad, en su conjunto o en alguna parcela que nos afecte o que despierte nuestra curiosidad. La racionalidad teórica es la estrategia racional para alcanzar esta meta en la mayor medida posible, para maximizar la veracidad y el alcance de nuestra representación mental del mundo (o de la parcela del mundo que nos interese). La racionalidad teórica es una especialización más de la racionalidad y, además, es el presupuesto de la búsqueda racional de las otras metas prácticas.

Hay que distinguir entre creer y aceptar una idea o hipótesis. La creencia involuntaria, humeana, inevitable (por ejemplo, de que ahora está lloviendo), es algo que no elegimos,

es algo que nos encontramos creyendo y, por tanto, no es objeto de la racionalidad como método. En la ciencia lo importante es la aceptación de una hipótesis o una teoría. La aceptación es una apuesta voluntaria, cartesiana. Podemos decidir si aceptar o no la hipótesis propuesta. Yo no puedo elegir si creer o no que estoy vivo o que hace calor, pero puedo aceptar o rechazar que el vacío tiene cierto nivel de energía, que una etapa inflacionaria siguió al Big Bang, que los dinosaurios se extinguieron por el impacto de un gran meteorito o que los primeros pobladores de América entraron por el estrecho de Bering. (Una vez establecida la distinción, a veces la relajaremos en contextos informales y hablaremos de creencias para referirnos a aceptaciones, como es habitual en el uso común).

La teoría formal de la racionalidad teórica indaga las condiciones formales que tiene que satisfacer el conjunto de todas las ideas que acepta un agente dado x para que digamos que x es racional en sus creencias. Puesto que las aceptaciones varían con el tiempo, las condiciones han de ser relativizadas a un instante determinado t . Las condiciones formales de la racionalidad teórica del agente x en el instante t son las siguientes:

1. *Coherencia*: el conjunto de todas las tesis que x acepta en t ha de ser consistente.
2. *Clausura*: el conjunto de todas las tesis que x acepta en t ha de estar clausurado respecto a la relación de implicación, es decir, si x acepta que p , y p implica q , entonces x ha de aceptar que q . En otras palabras, x ha de aceptar todas las consecuencias de sus creencias.
3. *Probabilidad*: si x asigna probabilidades subjetivas a las tesis que acepta, lo ha de hacer de un modo compatible con la teoría de la probabilidad. Por ejemplo, si x asigna la probabilidad $1/3$ a p , entonces tiene que asignar $2/3$ a $\text{no } p$.

La condición 1 es la primordial. Lo primero que prohíbe la racionalidad teórica es que nos contradigamos en nuestras creencias, que aceptemos a la vez una cosa y su contraria, p y $\text{no } p$. A pesar de todo, tal y como está formulada, resulta quizá demasiado fuerte, pues basta con que algunas tesis aceptadas impliquen una contradicción para que el conjunto de todas ellas sea inconsistente, aunque esa implicación sea poco obvia e incluso resulte muy difícil de descubrir. Por ello esa condición es a veces sustituida por algo más débil, pero más realista: x está dispuesto a revisar su sistema de creencias, siempre que detecte en él alguna contradicción. La condición 2 es también irrealista. De hecho, nadie conoce todas las consecuencias de sus creencias. Por ello puede ser sustituida por algo así: x está dispuesto a aceptar cualquier consecuencia de sus ideas previamente aceptadas. La condición 3 solo tiene aplicación si el agente asigna probabilidades. En ese caso, también resulta excesivamente fuerte y puede ser sustituida por: x está dispuesto a revisar su distribución de probabilidades subjetivas, siempre que

detecte alguna incompatibilidad con la teoría de la probabilidad.

Teoría material de la racionalidad teórica

La noción formal de racionalidad teórica se reduce a la de consistencia lógica, y es compatible con cualesquiera contenidos de creencia, por muy lunáticos que estos puedan ser. La consistencia puede acompañar a la falsedad más obvia. (Si creo que soy Napoleón y que Napoleón nació en Córcega, tengo que creer —por racionalidad formal— que yo nací en Córcega; pero, de hecho, ni soy Napoleón ni nací en Córcega). Los constreñimientos formales (incluso en sus versiones iniciales y más fuertes) son demasiado débiles por sí mismos para caracterizar completamente la racionalidad teórica. De algún modo debemos tocar tierra, de algún modo tenemos que atar ese globo consistente de creencias a la realidad.

Los animales necesitamos información sobre el entorno para sobrevivir. Un conjunto inconsistente de creencias contiene información cero acerca del entorno. Pero no todo conjunto consistente de sentencias contiene información realista. La descripción de una ciudad ficticia puede ser tan consistente como la de nuestra ciudad real. Dos ataduras materiales que podemos exigir del conjunto de creencias de un agente racional son la atadura a la percepción individual y la atadura a la ciencia (es decir, el encaje con la racionalidad teórica colectiva).

El realismo pragmático de la percepción sensible está garantizado por su éxito evolutivo. Nuestras sensaciones nos suministran información veraz sobre la realidad del mundo, aunque no nos suministren toda la información objetivamente presente, sino solo aquella que es (o ha sido) relevante para nuestra supervivencia. (La distinción entre información objetiva presente e información subjetivamente detectada y codificada es comparable a la distinción termodinámica entre energía total y energía libre, es decir, aprovechable.) Las raras ilusiones perceptivas, como las ilusiones ópticas, no cambian nada en el hecho de la fiabilidad básica de nuestro aparato sensorial. La desconfianza retórica de algunos filósofos respecto a los sentidos no deja de ser bastante teatral. De hecho, estoy más seguro de la existencia de mi camisa que de la existencia de mi yo, aunque no sea más que porque puedo ver y tocar la camisa, mientras que el yo es invisible e intangible, un constructo conceptual problemático y elusivo.

De todos modos, nuestro lenguaje, nuestro pensamiento y nuestras creencias van mucho más allá del mundo relativamente limitado de las percepciones. Por eso la atadura a la percepción no basta. Se requieren otras ataduras, sobre todo el anclaje en la ciencia. Si el agente tiene suficiente tiempo, habilidad e interés por un tema, puede analizarlo a fondo y examinar por su cuenta la evidencia matemática y empírica correspondiente, lo cual siempre es deseable, aunque no siempre es posible, dada la brevedad de la vida. Si el agente no puede enfrentarse directamente al tema y ha de apoyarse en opiniones de

tercera mano, lo mejor que puede hacer es aceptar la opinión consensuada de la comunidad científica pertinente, expresada en el correspondiente modelo estándar. No se trata de aceptar acríticamente autoridad alguna, sino de, puestos a apostar, apostar por el mejor caballo.

El primer requisito de la racionalidad teórica formal exige que nuestras creencias no se contradigan entre sí. Y el primer requisito de la racionalidad teórica material exige que aceptemos lo que percibimos. Por tanto, solo podemos aceptar ideas de otro tipo que no contradigan nuestras creencias perceptivas. En general (y salvo casos muy especiales), nuestras percepciones directas tienen prioridad como fuente de creencia racional. Un sistema materialmente racional de creencias debe ser al menos compatible con las percepciones del sujeto, y en el mejor de los casos debe dar cuenta de ellas.

Notas:

[27.](#) Aristóteles, *Politiká*, 1253^a. Hay traducciones en español, por ejemplo: *Política*, Gredos, Madrid, 1988.

[28.](#) Rawls, J., *A Theory of Justice*, 1972, apartado 26, pág. 152. Hay traducción en español: *Una teoría de la justicia*, Fondo de Cultura Económica, México, 2006.

6

La racionalidad científica

Racionalidad científica *versus* racionalismo

La racionalidad teórica individual, tal y como la entendemos aquí, tiene uno de sus anclajes en la racionalidad teórica colectiva, es decir, en la ciencia.²⁹ Los filósofos racionalistas, como Descartes y Leibniz, hicieron importantes contribuciones a las matemáticas, pero no a la ciencia empírica. En lo sucesivo usamos la palabra “ciencia” en el sentido de ciencia empírica madura (la física desde Newton, la química desde Lavoisier, la biología desde Darwin, etcétera). La racionalidad científica de la que hablamos es la racionalidad de la ciencia empírica. Esto nos permite subrayar la diferencia, e incluso la oposición, entre racionalidad científica y racionalismo.

El racionalismo es la confianza exagerada, ilimitada, en la infalibilidad de la razón, o de la intuición, o de las ideas claras y distintas. La palabra “razón” es sumamente polisémica. Hereda los múltiples significados de los vocablos griegos *noûs*, *diánoia* y *lógos* (traducido al latín por *ratio*). Además, cada uno de esos significados connota una presunta facultad psicológica de dudosa realidad.

La racionalidad científica involucra siempre una cierta desconfianza en la razón. La historia de la ciencia es un cementerio de ideas plausibles y evidentes para sus autores que luego resultaron no corresponder a la realidad. Desde luego, la desconfianza en la autoridad es aún mayor. No hay que confiar en nada ni en nadie. Todo ha de ser comprobado y contrastado. Cualquier idea científica debe tener efectos detectables, antes de ser incorporada al modelo estándar. Incluso las ideas de los más grandes científicos (como Einstein o Dirac), cuando no han logrado contrastación empírica, no han sido aceptadas por la comunidad científica.

En ciencia, el hombre propone y la realidad (a través de la experiencia) dispone. En último término, solo la realidad nos informa acerca de la realidad. Todo lo que hacen nuestra mente, nuestros cálculos y nuestras computadoras es elaborar y procesar la información que el Universo nos envía en forma de señales de todo tipo, sobre todo en forma de radiación electromagnética. Por muy evidente que parezca una idea, por muy clara y distinta que sea, por muy elegante y matemáticamente refinada que resulte, mientras no reciba el espaldarazo de la realidad a través de la observación o el experimento, no será aceptada en el modelo estándar. A lo sumo, será considerada como

una especulación prometedora. La realidad siempre tiene la última palabra en la ciencia y con frecuencia desbarata nuestras expectativas más queridas y consensuadas.

Todos los grupos étnicos, ideológicos o tradicionales han tenido algún tipo de ideas y conocimientos acerca de su entorno y del mundo en general. Pero la ciencia y la racionalidad científica son algo nuevo. Así como en la evolución biológica de vez en cuando se producen novedades (surge la vida o la fotosíntesis o los dinosaurios), lo mismo ocurre en la evolución cultural. Esta gran empresa de racionalidad teórica colectiva que es la ciencia se distingue claramente de las ideologías e idearios tradicionales por ciertas características propias, como la consistencia, la objetividad, la provisionalidad, el progreso y la universalidad.

Consistencia

Los idearios tradicionales suelen incluir relatos alternativos e incompatibles de los mismos hechos, que se aceptan sin mayor reparo. Cada grupo tiene una mitología distinta de los demás e, incluso dentro de la misma cultura, las inconsistencias se toleran de modo relajado. Por ejemplo, el primer libro de la Biblia, el *Génesis* o *Bereshit*, empieza con dos historias sucesivas y contradictorias de la creación del hombre por Dios: la de la creación por la palabra y la de la creación mediante el modelado de una estatua de barro. En la primera historia, Elohim crea desde el principio hombres y mujeres: «Creó, pues, Elohim al ser humano a imagen suya, a imagen suya lo creó, macho y hembra los creó». En la segunda, Yahvé inicialmente se limita a crear al hombre, y solo más tarde le saca una costilla y a partir de ella crea la mujer: «Así, pues, Yahvé Elohim infundió un sopor sobre el hombre, que se durmió; entonces le tomó una de las costillas, cerrando con carne su espacio. Luego Yahvé transformó en mujer la costilla que había tomado del hombre...». No había escrúpulo en colocar historias contradictorias una a continuación de la otra. Lo mismo ocurría en las antiguas culturas de Mesopotamia y Egipto, o entre los mayas y aztecas, que nos ofrecen múltiples e incompatibles narraciones y explicaciones del origen del mundo y de las cosas.

La racionalidad científica, por el contrario, tiene en la consistencia su característica, exigencia y valor primordial. Lo peor que le puede pasar a una teoría científica es que se descubra en ella alguna contradicción. Incluso cuando diversas teorías y datos se solapan en un cierto ámbito, han de obtenerse resultados compatibles y consistentes respecto a ese ámbito. Si no, todo el área científica entra en crisis grave. A mediados del siglo XIX William Whewell llamó *consilience* (consiliencia o convergencia) a la coincidencia de los resultados de argumentos, inducciones, mediciones y observaciones procedentes de dominios distintos y usando métodos diferentes. En 1998 Edward Wilson volvió a poner en circulación esa noción con su libro³⁰ del mismo nombre. Whewell y Wilson han

subrayado que esa coincidencia aporta una mayor fiabilidad y solidez al resultado en cuestión. Si, por ejemplo, medimos la distancia a un cuerpo celeste usando métodos distintos (paralaje, espectrometría, variables cefeidas) y obtenemos siempre aproximadamente el mismo resultado, podemos estar más seguros de haber dado en el clavo que si dependemos de un solo método de medición. La convergencia o consiliencia es un requisito de coherencia y un síntoma de acierto. La divergencia o incompatibilidad de los resultados es inaceptable. Esa inaceptabilidad y ese rechazo de la contradicción son típicas y peculiares de la racionalidad científica.

En los dos últimos siglos se han propuesto repetidamente estimaciones incompatibles entre sí de la edad de la Tierra, del Sol, del Universo y de la vida, pero nunca han sido aceptadas, sino que han dado lugar a otras tantas crisis, superadas cada vez mediante la obtención de mejores datos y el descubrimiento de nuevos factores. Eso ocurrió, por ejemplo, en el siglo XIX cuando los físicos William Thomson (Lord Kelvin) y Hermann Von Helmholtz calcularon una edad del Sol y de la Tierra de menos de 30 millones de años, en contradicción flagrante con las estimaciones de los geólogos y biólogos, que necesitaban cientos o miles de millones de años para dar cuenta de los procesos geológicos y de la evolución de la vida. Esta discrepancia produjo gran desasosiego y fue finalmente superada mediante la inclusión de factores previamente desconocidos en los cálculos, como veremos con más detalle en el capítulo 10.

Otra crisis parecida tuvo lugar en los años treinta. La constante de Hubble indica la velocidad de recesión de las galaxias en función de su distancia, expresada en kilómetros por segundo de velocidad por cada megaparsec de distancia, donde un megaparsec (Mpc) equivale a unos $3 \times 10^{22} \text{ m} \approx 3,26$ millones de años luz. En 1929, Hubble había estimado el valor de su constante H_0 en unos 500 km/s/Mpc; en 1931, en 558; en 1936, en 526. Todos estos valores son superiores en un orden de magnitud a la estimación actual (unos 68). En especial, implican un tiempo de Hubble claramente inferior a 2000 millones de años. Teniendo en cuenta que la edad del Universo solo es igual al tiempo de Hubble en el caso de un Universo vacío (de densidad nula), la edad del Universo no vacío en el que vivimos tiene que ser menor. Por ejemplo, en un Universo de Einstein-de Sitter (1932), plano y en expansión, la edad del Universo es $2T/3$, donde T es el tiempo de Hubble. Por tanto, la edad del Universo sería de solo unos 1200 millones de años, lo que se contradice con la muy superior edad de la Tierra, estimada por entonces en más de 3000 millones de años en base a las mediciones de la radioactividad y de la vida media del torio y el uranio. Esto dio lugar al *time scale problem* de los años treinta, sentido como agobiante por la comunidad científica y frente al que se propusieron diversos modelos y soluciones más o menos ingeniosos o desesperados. Además, el problema era exacerbado por la exagerada estimación de la edad de las galaxias por James Jeans. Finalmente, el problema se disolvió cuando nuevas observaciones permitieron acotar

mejor la constante de Hubble, que resultó ser ocho veces menor de lo inicialmente estimado, y nuevas teorías permitieron una mejor comprensión de los procesos de evolución galáctica.

En los años noventa volvió a surgir el problema de la edad del Universo por incompatibilidad entre ciertas medidas demasiado altas de la constante de Hubble y la edad atribuida a los cúmulos globulares de nuestra galaxia por la dinámica estelar estándar, lo que fue unánimemente considerado como inaceptable. También aquí nuevas mediciones y teorías han permitido salir de la contradicción, al menos de momento.

Objetividad

A diferencia del mito o del arte, la ciencia no solo aspira a una representación subjetivamente satisfactoria del mundo, sino que exige que la representación sea además objetivamente correcta, que (dadas las reglas del juego) corresponda a la realidad, que sea realista o verdadera. Si el primer valor de la ciencia es la consistencia, el segundo es sin duda la verdad. De hecho, las ideas que barajan los científicos tienen muy diverso grado de fiabilidad, desde las especulaciones más aventuradas e incluso descabelladas hasta los resultados más sólidos y bien comprobados. Si buscamos la objetividad, no podemos aceptar una teoría simplemente porque sea hermosa o atractiva, necesitamos alguna respuesta de la realidad misma que nos confirme que así son las cosas. Por eso las ideas científicas, por muy elegantes que sean, no pueden ser incorporadas al modelo estándar mientras no sean contrastadas empíricamente.

Provisionalidad

Frente al carácter definitivo de las religiones, ideologías y demás idearios dogmáticos, la ciencia es provisional: solo afirma sus tesis hasta nueva orden, es decir, hasta que nuevos datos o mediciones pongan en duda su objetividad y nos obliguen a abandonarlas o revisarlas. La disposición a revisar las hipótesis y teorías siempre que haga falta en función de los nuevos datos es una de las características más obvias de la racionalidad científica, especialmente subrayada por Karl Popper.

Progreso

El método científico busca, valora y consigue el progreso de un modo que es ajeno a los idearios tradicionales, que más bien valoran la estabilidad, la fidelidad al origen y la ortodoxia. En la ciencia podemos distinguir la historia (los datos) y la teoría (los esquemas formales o generales que los explican u organizan). El progreso acumulativo en la historia parece claro. Los datos que vamos recibiendo de la exploración espacial de los

planetas o de la excavación arqueológica de los yacimientos paleontológicos se van acumulando.

El progreso también se da en la teoría, aunque aquí es más agitado y sincopado. De todos modos, en la ciencia avanzada cada nueva teoría que pretenda desplazar a otra teoría anterior bien comprobada en un ámbito determinado debe ser conservadora respecto a ella en el sentido de que debe conservar sus aplicaciones exitosas. Las revoluciones científicas actuales son revoluciones conservadoras y satisfacen el requisito de conservación del conocimiento acumulado. En especial, toda nueva teoría tiene que conservar los resultados de la anterior en su ámbito comprobado al menos como buena aproximación. La relatividad especial es conservadora respecto a la mecánica newtoniana. Las aplicaciones exitosas de la mecánica newtoniana se dan a velocidades pequeñas (en comparación con la velocidad de la luz c). A esas velocidades pequeñas, las transformaciones de Lorentz convergen asintóticamente con las transformaciones de Galileo, por lo que las diferencias entre las predicciones clásicas y las relativistas especiales están por debajo del límite de la discriminación observacional. La relatividad general es a su vez conservadora respecto a la relatividad especial. Precisamente esta exigencia fue una de las ideas directrices que guiaron a Einstein en su desarrollo. Conforme el campo gravitatorio (la curvatura del espaciotiempo) tiende a cero, asintóticamente podemos introducir un sistema inercial global con métrica de Minkowski en el que se cumple exactamente la teoría especial de la relatividad. Además, se mantiene la exigencia de que en un sistema inercial local las leyes de la física deben tener forma relativista especial. En el límite de campos gravitatorios débiles y de velocidades y presiones bajas, la teoría general de la relatividad se reduce a la teoría de la gravitación de Newton. En el futuro es casi seguro que otras teorías reemplazarán a las actuales. Pero las nuevas teorías deberán ser conservadoras respecto a las actuales y mantener, al menos como aproximaciones, el inmenso caudal de aplicaciones exitosas del actual modelo estándar de la física de partículas y de la relatividad general.

Modelo estándar y nube de hipótesis especulativas

En cada área de la física, la situación teórica actual está caracterizada por la interacción entre el modelo estándar y la nube de hipótesis especulativas que lo rodea. El modelo estándar está constituido por una serie de teorías bien establecidas y consistentes entre sí y una serie de herramientas formales, hipótesis y valores de parámetros que, en su conjunto, permiten explicar gran parte de los datos observacionales conocidos, así como predecir nuevos resultados empíricos antes no detectados. Por otro lado, ningún dato conocido contradice las consecuencias del modelo estándar. El modelo estándar subyace a la enseñanza universitaria, a la investigación científica y a las aplicaciones tecnológicas. Un modelo es una máquina para generar respuestas a las preguntas que nos hacemos. El

modelo estándar determina las respuestas que da la ciencia a esas preguntas en un momento dado. Fuera del modelo estándar, los científicos imaginativos proponen y desarrollan nuevas teorías especulativas, hipótesis audaces e ideas prometedoras, pero ayunas de contrastación y con frecuencia incompatibles entre sí. Cada una de estas teorías especulativas está promovida por una serie de físicos, que la aceptan provisionalmente y tratan de desarrollarla y de sacarle jugo contrastable, en forma de predicciones o aplicaciones novedosas. Si tienen éxito, la teoría pasa a incorporarse al modelo estándar, que sufre los reajustes necesarios y genera los correspondientes cambios en los libros de texto. Cada vez que tal cosa ocurre, decimos que la ciencia ha progresado, pues la revisión del modelo estándar suele constituir una revolución conservadora en el sentido antes descrito. Por tanto, las especulaciones desempeñan un papel positivo y necesario en la dinámica científica, como locomotoras posibles del progreso. No hay que despreciarlas, pero tampoco hay que confundirlas con los resultados bien establecidos que constituyen el modelo estándar y que son los únicos que merecen ser incorporados en la visión del mundo del agente racional.

Actualmente el modelo estándar de la física de partículas incluye dos teorías cuánticas de campos: la teoría electrodébil, que da cuenta de las interacciones electromagnéticas y de las nucleares débiles, y la cromodinámica cuántica, que describe las interacciones nucleares fuertes. También incorpora un catálogo de 61 partículas elementales: 36 quarks [(6 sabores, como *up* y *down*, + 6 antisabores) x 3 colores] y 12 leptones [es decir, 6 leptones propiamente dichos, como electrones y neutrinos, + 6 antileptones], así como 13 bosones [12 bosones gauge mensajeros (partículas elementales con espín 1 que actúan de mediadores o transmisores de las fuerzas o interacciones fundamentales): el fotón (que transmite la fuerza electromagnética), los bosones W^+ , W^- y Z (que transmiten la fuerza electrodébil) y los 8 gluones (que transmiten la fuerza nuclear fuerte), además del bosón de Higgs, que confiere masa a las otras partículas que la tienen]. Todas estas partículas han sido detectadas. En 1994 fue detectado en el Fermilab (junto a Chicago) el último quark que quedaba por descubrir, el quark *top*. El modelo estándar está asociado al campo de Higgs, encargado de proporcionar su masa a las partículas masivas, cuyo bosón gauge, el Higgs, no fue encontrado hasta 2012, año en que sus huellas fueron detectadas entre los restos de las colisiones de protones provocadas en el gran colisionador de hadrones LHC (junto a Ginebra), perteneciente al CERN. Por tanto, puede decirse que en 2012 el bosón de Higgs ha sido aceptado en el modelo estándar de la física de partículas, que queda así completado y contrastado.

Ya claramente fuera del modelo estándar se encuentran varias teorías especulativas y matemáticamente sofisticadas sobre las que llevan más de veinte años trabajando gran parte de los físicos teóricos más brillantes: teorías de gran unificación, teorías de supersimetría, teorías de supercuerdas, etcétera. El problema es que ninguna de estas

teorías ha logrado hacer predicciones contrastables diferentes de las del modelo estándar, por lo que no han logrado salir del limbo de la nube especulativa.

También en la cosmología hay un modelo estándar y una nube de especulaciones. El modelo estándar del Big Bang incluye la teoría general de la relatividad, la física nuclear y la historia térmica del Universo, que abarca la nucleosíntesis primordial (la explicación de la formación de los elementos ligeros: hidrógeno, deuterio, helio y litio, así como la del carbono, nitrógeno e hidrógeno). Este modelo estándar da cuenta de los grandes hechos observacionalmente contrastados acerca del Universo, tales como la expansión cósmica (las galaxias se alejan de nosotros a velocidades proporcionales a su distancia), la abundancia de elementos químicos en el Universo visible y la radiación cósmica de fondo de microondas a una temperatura de 2,7 K. El modelo cosmológico estándar está rodeado por una nube de hipótesis especulativas sumamente interesantes, pero carentes de comprobación empírica independiente, tales como los modelos inflacionarios y los asociados con la gravedad cuántica o la teoría de supercuerdas. De todos modos, el modelo estándar del Big Bang es incompleto, ya que no da cuenta de ciertos movimientos de las galaxias ni de la aceleración de la expansión cósmica, que se atribuyen respectivamente a la «materia oscura» y la «energía oscura», que por ahora no son más que nombres que damos a nuestra ignorancia.

Sin duda, muchas de las especulaciones actualmente de moda serán olvidadas en el futuro, mientras que otras lograrán entrar en contacto con la realidad empírica y merecerán integrarse en el modelo estándar. El modelo estándar (tanto el de la física de partículas como el cosmológico) explica tantas cosas tan bien y tiene tan buen apoyo observacional que cualquier revisión o ampliación o revolución que sufra en el futuro tendrá que conservar lo ya adquirido al menos como teoría efectiva o aproximación en el ámbito en que se ha comprobado. Fuera de ese ámbito, no sabemos lo que pasará. El futuro de la ciencia es en gran parte imprevisible. Suponemos que continuará el progreso científico, pero no sabemos qué dirección tomará.

No hay un único método científico

La pregunta por la universalidad de la racionalidad científica puede entenderse en, al menos, dos sentidos distintos: por un lado, podemos preguntarnos si hay un único método científico; y por otro, cabe preguntar si la racionalidad científica es invariante o dependiente respecto a grupos étnicos o culturales.

¿Hay un método científico único y universal, aplicable y válido en todas las áreas de la ciencia? No. Nuestra curiosidad se dispara en direcciones distintas, dada la variedad de cosas que queremos saber. La mejor manera de averiguar algunas de ellas (por ejemplo, cómo se aparean los gorilas en la selva africana) no coincide con la mejor manera de averiguar otras (por ejemplo, cómo hacer compatible la electrodinámica cuántica con la

relatividad especial sin que surjan cocientes infinitos). La racionalidad científica nos anima a elegir en cada caso la metodología más prometedora, e incluso a probar metodologías distintas en el mismo caso, para sopesar lo que dan de sí. Por eso la ciencia se articula en muchas ciencias y subciencias, disciplinas, especialidades y enfoques. Los métodos y habilidades de la física experimental apenas se solapan con los de la física teórica, y los de la genómica apenas se parecen a los de la ecología de campo.

Hay muchos tipos distintos de investigación científica. No es lo mismo tratar de detectar las ondas gravitacionales que buscar una vacuna contra el sida o que probar la conjetura de Goldbach. Los filólogos colacionan los distintos manuscritos conservados de un texto clásico para hacer una edición crítica que se aproxime al original. Esto no se hace de cualquier manera, sino siguiendo una metodología estricta y bien establecida. Los conservadores de los museos de historia natural buscan y reúnen los huesos fósiles de cierta especie de dinosaurio de hace cien millones de años y reconstruyen su aspecto esculpiendo una estatua en la que los huesos encajan. Con frecuencia, tras el hallazgo de nuevos fósiles, se ven obligados a construir una nueva escultura, que los refleje adecuadamente. Las metodologías son diferentes en todos estos casos, y la racionalidad científica no las determina unívocamente, aunque sí las constriñe mediante ciertas orientaciones marco. Por ejemplo, en todos los campos hay que intentar precisar nuestros conceptos y tesis. La contradicción siempre es intolerable y la consistencia es una exigencia inexcusable. Las hipótesis han de ser contrastables con la realidad, aunque sea de un modo indirecto, y hay que tratar de ponerlas a prueba. Es inaceptable falsificar los datos. Los hechos mandan, y siempre hemos de estar dispuestos a revisar nuestras hipótesis y teorías (y nuestras ediciones críticas y nuestras esculturas de dinosaurios) en función del descubrimiento de nuevos hechos (o de nuevos manuscritos o de nuevos fósiles).

En definitiva, la racionalidad científica constriñe la metodología, pero no la determina. La experiencia muestra que los métodos más eficaces en ciertas áreas son inaplicables o ineficientes en otras. A lo que la racionalidad nos anima es a no ser dogmáticos, a proceder por ensayo y error, a buscar la metodología que mejor funcione en cada caso. En efecto, esa es la estrategia que optimiza nuestra probabilidad de avanzar y acertar. Por tanto, no es posible ni deseable definir el método científico con una sola frase o con un solo criterio. «El» método científico universal no existe. La racionalidad científica es algo más general, que nos guía en la búsqueda de métodos científicos adecuados a cada área del conocimiento y, desde luego, excluye rotundamente las prácticas condenadas de antemano al fracaso epistémico.

La invariancia de la racionalidad científica

¿Está la racionalidad científica ligada a un específico ámbito geográfico o étnico, o es

invariante respecto a tales circunstancias? Como es bien sabido, muchas discusiones estériles se basan en no distinguir los diversos usos que se hacen de las mismas palabras. La palabra “ciencia”, en latín *scientia*, procede del verbo *scire*, que significa saber. Si alguien quiere, puede emplear “ciencia” en un sentido débil, para referirse a todo lo que sabemos. En este sentido débil se podría decir que todos los humanos son científicos y que todos los grupos étnicos poseen ciencia. En efecto, todos los grupos humanos (y todos los grupos de animales, o al menos de mamíferos) saben cosas acerca de su entorno y han adquirido cierto conocimiento de las plantas y del clima y de los peligros y oportunidades de su ecosistema, así como acerca de sí mismos y de sus vecinos. Todos los grupos humanos tienen plena capacidad lingüística y cuentan y transmiten todo tipo de tradiciones y son portadores de cultura. Pero el sentido más frecuente de la palabra “ciencia” (y el sentido en el que la uso aquí) es el sentido fuerte. En este sentido fuerte, la ciencia implica más que el mero hecho de que alguien sepa algo; no todo saber es ciencia y no todos los humanos son científicos. Para ser ciencia, el saber ha de ser preciso y explícito y, por tanto, tendencialmente matematizable; ha de estar sometido a un esfuerzo sistemático de contrastación empírica; y esta formulación y contrastación han de basarse en el esfuerzo a la vez cooperativo y competitivo de una comunidad estable de investigadores.

En la inmensa mayoría de los grupos étnicos humanos no ha habido ciencia, como no ha habido Internet, ni aviación, aunque sí algún tipo de conocimiento, de comunicación y de transporte. Hay precedentes de aspectos parciales de la actividad científica en la antigua Mesopotamia, en Egipto, en China, en India, entre los mayas y, claro está, en Grecia y el mundo helenístico. Pero realmente hay que esperar a la Europa del siglo XVII, a la época de Galileo, para que la empresa científica en sentido fuerte se ponga en marcha de una manera irreversible. En el siglo XVII solo había ciencia en (unos pocos lugares de) Europa y la racionalidad científica era una peculiaridad de unos pocos europeos. En aquel momento podría decirse que la racionalidad científica era algo peculiarmente europeo. Pero esa situación no iba a durar mucho. La racionalidad científica no era un rasgo cultural cualquiera, sino que (dicho sea en términos epidemiológicos, bastante adecuados para describir fenómenos de difusión cultural) tenía una virulencia contagiosa extraordinaria. En los tres siglos siguientes no solo arruinó las tradiciones de la Europa cristiana, sino que se difundió por todos los continentes y arrambló por doquier con las cosmovisiones locales. Por eso en los siglos XX y XXI la ciencia ya no tiene nada de europeo, sino que es el componente más visible de la cultura universal, transversal respecto a las otras peculiaridades culturales locales. Hoy en día, la racionalidad científica es invariante respecto a ámbitos geográficos, étnicos o culturales.

Rasgos culturales ponderables e imponderables

La ciencia es parte de la cultura, pero no es una parte cualquiera. Ya Robert Merton (1910-2003), el fundador de la sociología de la ciencia, reconocía que la ciencia, siendo parte de la cultura, es una parte muy diferente de las demás, pues tiene características peculiares que apenas se dan en las otras, como la consistencia interna y la contrastación empírica, además de un sistema de recompensas que las promueve. Según Merton, entre las peculiaridades de la ciencia como sistema cultural se encuentran el comunismo (los científicos renuncian a sus derechos de propiedad intelectual, que ponen en común, a cambio del reconocimiento y la estima que reciben de sus colegas), el universalismo (la verdad de las tesis presentadas es evaluada mediante procedimientos objetivos e impersonales, que trascienden las diferencias de raza, clase, género o nacionalidad) y el escepticismo organizado (todas las ideas están sometidas al escrutinio riguroso por parte de los demás científicos).

Es imposible avanzar en el análisis de los temas culturales sin tener en cuenta la crucial distinción entre rasgos culturales ponderables e imponderables. Muchos rasgos culturales (los rasgos imponderables) reflejan meramente las convenciones sociales del grupo y los gustos adquiridos de los individuos, por lo que no pueden ser contrastados con la realidad externa, ni hay manera objetiva de sopesarlos o compararlos unos con otros de un modo objetivo. Los diversos grupos étnicos y sociales tienen maneras distintas de saludarse por medio de todo tipo de sonidos y palabras, sonrisas y muecas, palmadas, rozamientos, besos y abrazos, reverencias, genuflexiones, inclinaciones y postraciones, así como movimientos de cabeza, brazos, manos y tórax, por no hablar de los gestos de la cara o de los saludos con el sombrero. Puede decirse que es la convención social la que hace del gesto, del movimiento corporal, un saludo. Cualquier manera de saludarse es tan buena como cualquier otra y ninguna de ellas puede contrastarse con una realidad extracultural. Lo mismo puede decirse de la preferencia por diversas formas de vestido, de canción, de baile, de culto, de fiesta, de noviazgo, de organización familiar, de autoridad comunal, de etiqueta, etcétera. Algunos comen con las manos, otros, como los occidentales, con cuchillo y tenedor, mientras que los chinos, coreanos y japoneses comen con palillos. Yo como de las tres maneras, y no observo ventaja objetiva alguna en ninguna de ellas, adoptando relajadamente la costumbre de los que me rodean en cada momento. Todos estos rasgos son imponderables.

Otros rasgos culturales, sin embargo, son meros instrumentos para realizar una función bien definida y es posible medir objetivamente lo bien o mal que la cumplen, con independencia de las convenciones grupales. Son los rasgos ponderables. Por ejemplo, un cuchillo es para cortar, lo cual es una interferencia directa en la realidad exterior. Un cuchillo de acero corta mucho mejor que uno de piedra o de madera. Esto es algo que notan enseguida los humanos de todas las culturas. Por eso, en cuanto un grupo cultural con cuchillos de piedra o de madera entra en contacto con los cuchillos de acero que

traen los misioneros, los comerciantes o los periodistas, los miembros del grupo inmediata y voluntariamente renuncian a su práctica tradicional y adoptan el cuchillo de acero. Eso ha pasado en todas las tribus del mundo, incluso las más apartadas y atrasadas, y no se conocen excepciones a la regla. La prueba más elemental muestra que el cuchillo de acero corta todo lo que corta el de madera, y además lo corta más rápidamente y con menos esfuerzo; por otro lado, el cuchillo de acero corta multitud de cosas imposibles de cortar con el de madera. Todo esto no tiene nada que ver con las convenciones ni con las tradiciones, sino solo con la estructura física de la realidad. Las capacidades cognitivas universales (determinadas por el genoma humano que compartimos) bastan y sobran para darse cuenta de este hecho.

Hasta el siglo XIX la medicina era un conjunto de tradiciones imponderables, distintas en cada lugar, que compartían una casi total ineficacia. Los médicos europeos no eran mejores que los hechiceros africanos. Su terapia favorita consistía en rajar y sacar la sangre a los enfermos, con lo que, lejos de ayudarlos, más bien los perjudicaban. En Europa y China los médicos ya no aludían a demonios y males de ojo, pero hablaban de cosas igual de fantasmagóricas, como los humores hipocráticos o los meridianos de la acupuntura. Esos humores y meridianos habían sido objeto de numerosos textos y disquisiciones, pero solo existían en los textos y en las mentes de los médicos, no en la realidad. Su existencia era convencional, no real. Por eso, fuera de sus ámbitos culturales respectivos, nadie los aceptaba. Sin embargo, y ya desde el siglo XVI, se fue abriendo camino la anatomía científica, que hablaba de cosas realmente existentes, como los huesos, los músculos, las arterias y los nervios. La anatomía es un rasgo cultural ponderable. Las capacidades cognitivas humanas bastan para encontrar y describir los huesos y no bastan para encontrar los meridianos. Al ser objetivamente superior, la anatomía de los huesos se ha extendido pacíficamente por todo el mundo, mientras que no ha ocurrido lo mismo con la de los humores o los meridianos. (Entre paréntesis, la inexistencia de los meridianos no implica que la acupuntura no pueda funcionar como anestesia o terapia en ciertos casos; lo único que implica es que la explicación tradicional de ese posible éxito es insatisfactoria). La diferencia relevante entre la anatomía de los huesos y arterias y la de los meridianos no está en los textos ni en los discursos, y solo la captamos cuando miramos a la realidad, cuando abrimos los ojos, cuando diseccionamos los cadáveres, cuando empleamos medios de observación cada vez más eficientes (preparaciones para el microscopio, radiografías, ecografías, imágenes por resonancia magnética, tomografía axial computarizada (TAC), tomografía por emisión de positrones (PET), etcétera. Los huesos, tendones, arterias y nervios se pueden ver, tocar, detectar. Una anatomía que los reconoce es exportable, globalizable, todos la pueden aceptar independientemente de sus tradiciones. Por el contrario, una anatomía basada en humores, meridianos o chakras solo es aceptable para los adoctrinados en una tradición

cultural determinada.

Muchas actividades sociales pueden conceptualizarse como juegos. Hay juegos sociales meramente interpersonales, empezando por la misma política. No tiene sentido preguntar a la naturaleza quién tiene que mandar en nuestro grupo o qué impuestos debemos pagar; esas son cosas que solo pueden decidirse de un modo convencional. Pero en el juego de la ciencia se invita a la naturaleza, a la realidad, a participar en el juego, e incluso se le concede la última palabra. Esto convierte a la ciencia en un juego cultural excepcional, como la sociología de la ciencia nunca ha dejado de reconocer. No distinguir entre rasgos culturales ponderables e imponderables, entre cosas que se pueden medir y comparar objetivamente y otras que solo existen subjetivamente o por convención social, negarse a ver la peculiaridad del juego de la ciencia dentro del conjunto de la cultura, es condenarse a no entender nada. No es de extrañar que la mayoría de los científicos no se reconozcan en los análisis que de su actividad hacen ciertos autores posmodernos; estos les parecen comparables a un grupo de sordos tratando de entender los movimientos de la orquesta en función de las relaciones de poder entre los músicos y sin referencia alguna a la música que tratan de interpretar.

Universalidad

La ciencia actual es universal. La misma ciencia se enseña y practica en las universidades y centros de investigación de todo el mundo.³¹ Se trata de un hecho cultural inédito en la historia de la cultura humana anterior. La universalidad de la racionalidad científica se opone a la parroquialidad de las culturas étnicas, nacionales, tradicionales o dogmáticas. En especial, no hay que confundir la tradición cristiana occidental, tan tribal y cerrada como cualquier otra, con la ciencia actual, que no tiene nada de occidental ni de cristiana. De hecho, científicos de todos los países y razas contribuyen a ella.

A veces Oriente se contrapone Occidente, y por Oriente se entiende sobre todo India, China y Japón. Pero las contribuciones de estos países a la ciencia actual son bien visibles. Limitándonos al campo de la física, recordemos que las partículas elementales se dividen en dos clases fundamentales: los bosones (de espín entero, como los fotones) y los fermiones (de espín fraccionario, como los electrones). Los bosones se llaman así en honor del físico indio Satyendra Bose (1894-1974). El mayor triunfo de la física de partículas ha sido la unificación del tratamiento teórico de las fuerzas electromagnética y nuclear débil, obra del pakistaní Abdus Salam (1929-1996) y de los estadounidenses Steven Weinberg y Sheldon Glashow, y a su vez basada (como todas las teorías cuánticas de campos) en el esquema de teoría gauge no abeliana del chino Chenning Yang y de Robert Mills. Chenning Yang y el también chino Tsungdao Lee recibieron el Premio Nobel de Física en 1957 por su predicción de la violación de la conservación de la

paridad en la desintegración beta. El límite de masa de una estrella más allá del cual no puede permanecer como enana blanca, sino que tiene que colapsar como estrella de neutrones o como agujero negro, se llama hoy el límite de Chandrasekhar, en honor del astrofísico indio Subrahmanyan Chandrasekhar (1910-1995), su descubridor y ganador del Premio Nobel de Física de 1983. Además, las contribuciones de los científicos asiáticos no se limitan a la física o la química. Abarcan desde la abstracta teoría de números, impulsada por el indio Srinivasa Ramanujan (1887-1920), hasta la concreta primatología de los chimpancés, en la que tan decisiva participación han tenido japoneses como Toshisada Nishida (1941-2011). Incluso en la informática, la principal escuela de programadores del mundo se encuentra en Bangalore (India), desde donde son «exportados» a Estados Unidos y Europa. Obviamente, los orientales contribuyen junto con los occidentales a la ciencia actual, que no es oriental, ni occidental, sino realmente universal.

Por falta de espacio, en el resto de este capítulo voy a centrarme en el caso de Japón.

El caso de Japón

Debido quizá a su posición excéntrica en el Extremo Oriente, a su condición insular, aislado y protegido por el mar, y a no haber sido nunca conquistado por extranjeros (excepto en 1945), Japón es uno de los países que mejor ha conservado sus propias tradiciones culturales. Los japoneses siguen comiendo con palillos, no con cuchillo y tenedor, como los occidentales. Siguen tomando sopa se mijo, cubos de soja y todas las variedades del *sushi*. Siguen practicando la costumbre social del baño caliente colectivo, que no es para lavarse ni para nadar, sino para relajarse y charlar. Después del baño se ponen los cómodos *yukatas* de algodón. Los días de fiesta, las mujeres siguen vistiendo sus vistosos kimonos. Para saludarse, los japoneses no se dan la mano, sino que se hacen una reverencia mutua a cierta distancia. Perviven las abigarradas tradiciones populares shintoístas, así como las austeras y elegantes formas del budismo Zen, que van desde la meditación hasta la ceremonia del té. La jardinería japonesa sigue siendo de una originalidad y belleza impresionantes. Incluso se mantiene la institución de las geishas, que no tiene nada que ver con la prostitución y que carece de parangón en otros países. Los japoneses siguen hablando con gramática y léxico distintos según el sexo, la edad y la condición social del hablante y del oyente, y empleando un complejo sistema de expresiones honoríficas. Siguen escribiendo de un modo únicamente suyo, que combina los miles de caracteres chinos o *kanji* para los lexemas con la escritura *hiragana* para las partículas gramaticales y la *katakana* para los nombres propios foráneos. Basta comparar Japón con la cercana China o con el lejano México, por ejemplo, para constatar hasta qué punto Japón ha preservado mucho mejor sus tradiciones culturales ancestrales.

En 1543 desembarcaron en Nagasaki los primeros marineros portugueses. Poco

después llegaron Francisco Javier y otros misioneros jesuitas, que empezaron a promocionar el cristianismo entre los campesinos y samuráis en la isla de Kyushu. En 1615 las huestes de Tokugawa Ieyasu conquistaron el castillo de Osaka y mataron a Hideyori, poniendo así fin a un largo periodo de guerras civiles y estableciendo un nuevo gobierno unificado para todo Japón, con capital en Edo (la actual Tokio), sede del castillo familiar de los Tokugawa. Así empezó en la historia japonesa el periodo de Edo, que abarca desde 1615 hasta 1868. El nuevo régimen prohibió inmediatamente el cristianismo y en 1637 ahogó en sangre la rebelión de los campesinos cristianos de Kyushu. A partir de ese momento, Japón se cerró completamente al mundo exterior. Quedó prohibido que los extranjeros se acercasen o desembarcasen en Japón bajo ningún pretexto. La navegación y el comercio exteriores fueron proscritos, con la sola excepción de unos mínimos contactos con unos pocos chinos y holandeses en Nagasaki. Se prohibió también que los japoneses pudieran salir del país. Y a los que ya habían salido se les prohibió regresar. Durante los dos siglos y medio siguientes, Japón estuvo herméticamente aislado de cualquier influencia cultural foránea. El *shogunato* de los Tokugawa dio lugar a un largo periodo de orden y paz, sin guerras civiles ni externas, durante el que se extendió el mercado y mejoró el nivel de vida. La cultura japonesa tradicional floreció en su aislamiento, enriquecida por desarrollos autóctonos, como el teatro *kabuki* y la stampa xilográfica.

Este aislamiento solo fue parcialmente roto con la llegada del comodoro Perry al frente de una flotilla americana de buques de guerra modernos al puerto de Edo. Perry exigía la apertura de algunos puertos al comercio exterior, pretensión a la que accedió Japón en 1858. Ello produjo una verdadera conmoción en el país, sobre todo entre la clase de los samuráis, que condujo al derrumbe del *shogunato* instaurado por los Tokugawa y a la restauración del pleno gobierno del emperador, que tomó el nombre de Meiji. Con ello, en 1868 acabó el periodo de Edo (ciudad entonces rebautizada como Tokio, «capital del Oriente») y se inició el periodo Meiji, que duró hasta la Segunda Guerra Mundial. En ese momento los japoneses, aunque más nacionalistas que nunca y empeñados en preservar y fomentar sus entrañables tradiciones culturales, los rasgos subjetivos y convencionales de su cultura, decidieron abrirse completamente al mundo exterior e importar y adoptar voluntariamente la ciencia y la tecnología de los países más avanzados. Enviaron miles de estudiantes al extranjero, crearon universidades y centros de investigación, fomentaron el desarrollo industrial y las comunicaciones modernas. Desde entonces, la sociedad japonesa no ha dejado de combinar el mantenimiento de sus tradiciones culturales no ponderables o subjetivas con la adopción de las pautas objetivas y ponderables de la ciencia y la tecnología avanzadas.

Científicos japoneses

Desde los inicios de la época Meiji, la asimilación por los japoneses de la ciencia y la tecnología modernas ha sido rápida y profunda. Sus aportaciones recientes a las diversas ramas de la tecnología, la electrónica y la robótica son bien conocidas. Baste recordar, a título de ejemplo, el desarrollo de la fotografía digital por empresas japonesas como Sony, Nikon y Canon, o la contribución japonesa a la televisión de alta definición y a los nuevos sistemas de almacenamiento óptico, como el DVD y el Blu-ray.

Más allá de la mera tecnología, los japoneses también han hecho contribuciones importantes a todas las ramas de la ciencia pura, empezando por la física. El Premio Nobel de Física de 1949 fue concedido a Hideki Yukawa (1907-1981) por la predicción de la existencia de mesones en base a consideraciones teóricas sobre las fuerzas nucleares. En concreto, predijo la existencia, masa y carga eléctrica de los pi-mesones o piones, que efectivamente intervienen en las fuerzas nucleares del modo indicado por Yukawa. En 1965 el Premio Nobel recayó en Sinitiro Tomonaga (1906-1979), que, junto a Julian Schwinger y Richard Feynman, hizo aportaciones fundamentales a la teoría cuántica, logró explicar el efecto anómalo de Lamb y eliminó los infinitos de los cálculos mediante la renormalización, proporcionando así su forma actual a la electrodinámica cuántica. En 1973 Leo Esaki, un joven ingeniero que había trabajado en Sony e IBM, fue galardonado con el Premio Nobel de Física por sus descubrimientos experimentales sobre el efecto túnel en semiconductores. En 2002 recibió el Premio Nobel de Física Masatoshi Koshihara por su detección de neutrinos en el Kamiokande. Koshihara había construido un detector de neutrinos a 1000 metros bajo tierra y logró detectar neutrinos procedentes de la explosión supernova 1987A. Sus colegas continuaron sus investigaciones, construyendo el Superkamiokande, con el que en 1998 descubrieron que los neutrinos solares tienen masa y cambian de tipo. En 2008 recibieron el Premio Nobel de Física los japoneses Yoichiro Nambu, Makoto Kobayashi y Toshihide Maskawa por sus descubrimientos en física subatómica. Nambu ha investigado los mecanismos de ruptura espontánea de simetría en las partículas subatómicas, y Kobayashi y Maskawa descubrieron tres de las familias de quarks.

En 2000, el Premio Nobel de Química recayó en Hideki Shirawaka por su descubrimiento de polímeros conductores. En 2001 lo obtuvo Ryoji Noyori por su invención de la síntesis catalítica asimétrica. En 2002 fue galardonado con el Premio Nobel de Química el joven ingeniero Koichi Tanaka por el desarrollo de una técnica para estudiar las proteínas con láser. En 2008, recibió el Premio Nobel de Química Osamu Shimomura, junto a dos americanos, «por su descubrimiento y desarrollo de la proteína verde fluorescente, GFP». El Premio Nobel de Química de 2010 fue para los dos japoneses Eiichi Negishi y Akira Suzuki (además del americano Richard Heck) por su descubrimiento de un método para combinar átomos de carbono en dos moléculas mediante el uso del metal paladio.

No solo en la física y la química ha habido notables aportaciones de científicos japoneses, sino también en la biología y la medicina. El Premio Nobel de Fisiología o Medicina de 1987 fue otorgado al japonés Susumu Tonegawa por su descubrimiento del principio genético de la diversidad de los anticuerpos; el de 2012 recayó en Shinya Yamanaka (junto a John Gurdon) por el descubrimiento de que las células maduras pueden ser reprogramadas para ser de nuevo pluripotentes. Desde luego, no todas las aportaciones importantes reciben un Premio Nobel. Así, por ejemplo, Yasutomi Nishizuka (1932-2004) ha sido uno de los biólogos moleculares que más han contribuido al estudio de cómo las hormonas afectan a las células. Cuando la hormona se liga a los receptores de la pared celular, todavía tiene que hacer llegar su señal al núcleo de la célula, a fin de producir un efecto o respuesta. Esto se consigue mediante una cascada de activaciones de proteínas G, de proteinoquinasas A y de proteinoquinasas C. Nishizuka fue el codescubridor de la proteinoquinasa C y fue quien le dio ese nombre.

Dado mi interés personal por los primates, no quisiera terminar este somerísimo repaso sin una referencia a la brillante escuela nipona de primatología. El padre de la primatología japonesa fue Kinji Imanishi (1902-1992). En 1948, Imanishi y sus colegas iniciaron el estudio sistemático de la conducta de los macacos (*Macaca fuscata*) que viven en libertad en la isla de Koshima. Esa investigación de campo pionera e incluso épica, que continúa ininterrumpidamente hasta nuestros días, nos ha proporcionado un conocimiento exhaustivo de las tradiciones culturales de los macacos. Cada macaco ha recibido un nombre y se ha registrado la biografía de cada inventor y las pautas sociales de difusión cultural de los inventos. Gracias a esos primatólogos japoneses, ahora conocemos la cultura de los macacos de Koshima mejor que la de cualquier otro primate, incluido *Homo sapiens*. Junichiro Itani (1926-2001) tomó el relevo de Imanishi como principal impulsor de los estudios primatológicos. Imanishi e Itani viajaron a África en 1958 (dos años antes de la llegada de Jane Goodall) y establecieron las bases de la investigación de campo de los chimpancés y bonobos en ese continente. Desde los campamentos de Mahale (en Tanzania) y Bossou (en Guinea), Toshisada Nishida, Yukimaru Sugiyama, Tetsuro Matsuzawa y otros han realizado investigaciones pioneras sobre la conducta de los chimpancés. En 1973, Takayoshi Kano inició en Wamba (Congo) la observación de los bonobos (*Pan paniscus*), hasta entonces prácticamente desconocidos. Aparte de los numerosos estudios de campo, el famoso Instituto de investigación sobre primates de la Universidad de Kyoto (el KUPRI), fundado en 1967, se ha convertido en un centro de referencia mundial en primatología.

En definitiva, los japoneses han sabido y querido combinar el mantenimiento de sus tradiciones imponderables y convencionales, que no tienen nada que envidiar a las occidentales, con la plena aceptación y asimilación de las pautas objetivas de conocimiento y de eficacia características de la ciencia y la tecnología inicialmente

occidentales y ahora universales, a las que tan exitosamente contribuyen. No parecen haber tenido la más mínima dificultad en establecer la diferencia entre lo ponderable y lo imponderable, lo objetivo y lo subjetivo, lo convencional y lo natural.

La ciencia como ocupación ha logrado integrarse en la sociedad japonesa y alcanzar gran prestigio. En julio de 2007, el mismo emperador Akihito publicó un artículo sobre taxonomía en la revista *Nature*, en el que discutía y exaltaba diversos aspectos de la contribución de Linneo. El gasto en investigación y desarrollo en ciencia y tecnología en Japón sobrepasa desde hace años el 3% del producto interior bruto (PIB), por encima del porcentaje dedicado por Estados Unidos y Europa. En cualquier caso, no cabe duda de que Japón, el país más oriental (el país «del Sol naciente», es decir, del oriente por antonomasia), está plenamente incorporado a la ciencia global de nuestro tiempo y a la racionalidad científica universal.

Notas:

[29](#). Por tanto, esta noción de racionalidad teórica no tiene aplicación en los grupos étnicos tradicionales en los que todavía no se ha desarrollado la ciencia.

[30](#). Wilson, E., *Consilience: The Unity of Knowledge*, 1998. Hay traducción en español: *Consilience: La unidad del conocimiento*, Galaxia Gutenberg, Barcelona, 1999.

[31](#). Como señalaba Gerhardt Ertl, Premio Nobel de Química en 2007, la ciencia actual tiende a romper todas las barreras, tanto entre disciplinas como entre naciones: «La ciencia es internacional. Ya no existe la ciencia china, ni la alemana, ni la americana. Esto significa que el libre intercambio de resultados científicos entre los diferentes países es hoy necesario».

Límites del conocimiento

Óptimos imposibles

En el siglo XIX muchos compartieron la creencia optimista e ingenua de que todo lo que es deseable sería a la larga realizable, de que todo óptimo sería posible. Hoy sabemos que eso no es así. Hay óptimos imposibles, hay situaciones deseables pero irrealizables, hay límites insuperables a lo que podemos hacer o saber.

Hay cosas que no podemos hacer porque no tenemos bastante fuerza o dinero, o porque nuestra técnica todavía no ha progresado lo suficiente, o porque no somos tan listos como para saber hacerlas. Aunque los progresos de la técnica han posibilitado hacer cosas antes impensables, como viajar a la Luna o colocar un telescopio en el espacio, o comunicarse en tiempo real con cualquier lugar del planeta mediante el teléfono o Internet, todavía no somos capaces de producir energía utilizable por fusión nuclear (como hacen las estrellas), ni de aprovechar la energía del Sol tan eficientemente como las plantas, ni de construir aviones silenciosos o automóviles no contaminantes, ni siquiera de curar el resfriado común. Y nuestra capacidad psicológica es limitada. Conforme los problemas van haciéndose cada vez más difíciles y complejos, nos cuesta más entenderlos, y es posible que en algún momento nuestro cerebro no dé más de sí. Pero este tipo de limitaciones fácticas se superarían si tuviésemos más dinero, o si fuésemos más listos, o si la tecnología nos proporcionase nuevas oportunidades. No es de estas limitaciones fácticas y eventualmente remediabiles de las que voy a hablar aquí, sino de aquellas otras limitaciones absolutas e irremediabiles que nos limitan por principio, y que siempre serán imposibles de superar, cualesquiera que sean los recursos de dinero, técnica e inteligencia de que dispongamos.

Desde mediados del siglo XIX hasta ahora se han ido postulando una serie de principios y se han ido probando una serie de teoremas de imposibilidad, que ponen límites absolutos a lo que podemos hacer o saber. Estos teoremas no nos dicen cómo son las cosas, sino cómo no pueden ser. Así como las leyes del tráfico rodado excluyen ciertas conductas, sin por eso determinar unívocamente el camino a seguir, así también los teoremas de imposibilidad establecen que ciertas metas o ideales son inalcanzables, sin por eso indicarnos qué hacer ni cómo hacerlo.

Termodinámica

En el siglo XVIII la máquina de vapor fue inventada por Thomas Newcomen y perfeccionada por James Watt, que incrementó considerablemente su eficiencia (el porcentaje de la energía del combustible que efectivamente se transforma en trabajo mecánico, frente al que se desperdicia). El motor de vapor venía a sustituir con ventaja a la fuerza muscular en muchas aplicaciones industriales, mineras y de transporte. Entrado el siglo XIX, siguieron construyéndose máquinas de vapor cada vez más eficientes. El ingeniero francés Sadi Carnot trató de determinar hasta qué punto se podría incrementar la eficiencia de los motores. Pronto se vio que ese incremento tropezaría con límites infranqueables. Estos estudios culminaron a mediados de ese siglo con la formulación de las leyes de la termodinámica por Lord Kelvin y Rudolf Clausius.

La *primera ley de la termodinámica* dice que la energía se conserva en todos los procesos. Por tanto, no puede haber móviles perpetuos de la primera especie, es decir, motores que suministren trabajo mecánico indefinidamente sin recibir combustible u otro aporte de energía.

La *segunda ley de la termodinámica* dice que la energía se degrada (es decir, la entropía aumenta) en todos los procesos irreversibles. Es imposible convertir calor completamente en trabajo (Kelvin). No es posible un proceso cuyo único resultado sea transferir energía de un cuerpo más frío a otro más caliente (Clausius). Por tanto, no puede haber móviles perpetuos de la segunda especie, es decir, motores que extraigan calor (energía térmica) del agua o del aire y lo conviertan en trabajo mecánico (por ejemplo, un barco que moviese sus hélices sin otro aporte energético que el calor del mar).

Si la primera ley de la termodinámica dice que la cantidad de energía siempre se conserva, la segunda afirma que la calidad de la energía siempre se degrada. Aunque la energía no disminuye, cada vez es de peor calidad. Puesto que la entropía siempre aumenta en los procesos irreversibles, la energía libre (que es la parte de la energía total que está disponible para hacer cosas con ella) siempre disminuye. Estas leyes no nos dicen cómo se pueden construir motores eficientes. Lo único que nos dicen es que cierto tipo de eficiencias deseables son imposibles.

Incluso la *tercera ley de la termodinámica*, formulada posteriormente (1906) por Walther Nernst, viene a decir que por mucho que enfriemos algo, nunca podremos enfriarlo del todo: no es posible alcanzar la temperatura del cero absoluto. Estas leyes de la termodinámica fueron las primeras leyes físicas que pusieron límites absolutos a lo que se puede hacer.

Relatividad especial

En 1905 Albert Einstein³² puso límites a la velocidad a que pueden moverse objetos o transmitirse señales o efectos. La teoría especial de la relatividad de Einstein se basa en dos principios. El primero de ellos dice que las leyes de la física son invariantes respecto a transformaciones de Lorentz, es decir, que las leyes de la física son las mismas en todos los sistemas inerciales. El segundo principio —que es el que aquí nos interesa— dice que la velocidad de una señal u objeto físico no puede exceder la velocidad de la luz en el vacío, que es una constante c idéntica para todos los observadores.

Este principio limita lo que podamos hacer; por ejemplo, la velocidad a la que podamos viajar. Nunca, por mucho que progrese la tecnología, podremos viajar más deprisa que la luz; ni siquiera podremos hacerlo a la velocidad de la luz, solo accesible a las partículas sin masa (como los fotones) y no a las masivas (como los protones, neutrones y electrones de que estamos hechos nosotros). De los dos principios de la relatividad especial se sigue que la masa (no nula) de un objeto se incrementa con su velocidad. A la velocidad de la luz, su masa sería infinita, lo que es imposible. Por tanto, un objeto masivo no puede alcanzar la velocidad de la luz.

El axioma de la constancia de la velocidad de la luz también limita lo que podemos observar y saber. En principio nos sería posible observar los eventos ocurridos en nuestro cono de luz pasado, es decir, los eventos situados a una distancia espacial (expresada en tiempo luz) de nosotros inferior o igual a la distancia temporal que nos separa de ellos. Pero sería imposible por principio observar o recibir señal alguna de los objetos situados a una distancia espacial (expresada en tiempo luz) superior a su distancia temporal, es decir, los objetos situados fuera del cono de luz. Otra consecuencia gnoseológica de este principio es que solo podemos conocer el pasado lejano (no el presente) de los objetos astronómicos. Vemos a nuestra galaxia vecina, Andrómeda, tal y como era hace dos millones y medio de años (el tiempo que tarda su luz en llegar a nosotros). No podemos verla tal y como es ahora. Incluso podría haber desaparecido hace un millón de años, y todavía tardaríamos otro millón de años más en enterarnos. No vemos las cosas lejanas tal y como son ahora, sino tal y como eran hace mucho tiempo, cuando emitieron las señales que ahora nos llegan. Esta es una de esas limitaciones que nunca podremos superar, por mucho dinero, inteligencia y tecnología de que dispongamos.

Las leyes de la termodinámica y de la relatividad especial excluyen ya de entrada muchos óptimos deseables. Por ejemplo, nunca podremos fabricar un automóvil perfecto. En efecto, el automóvil ideal alcanzaría una velocidad infinita o ilimitada (lo que está excluido por la relatividad) y tendría un consumo nulo o, al menos, una eficiencia perfecta (lo cual está prohibido por la termodinámica). El automóvil perfecto no puede existir, es una utopía.

Principio de incertidumbre

Si el principio einsteiniano de la constancia de la velocidad de la luz limita lo que podemos observar, el principio de incertidumbre de Heisenberg pone límites insuperables a nuestra capacidad de medir con precisión lo que observamos. El principio de incertidumbre —uno de los puntales de la mecánica cuántica— fue formulado en 1927 por Werner Heisenberg.³³

Según el principio de incertidumbre, ciertos pares de magnitudes complementarias (las variables conjugadas) no pueden ser medidas simultáneamente con arbitraria precisión. Podemos medir precisamente la una o la otra, pero no ambas a la vez. Cuanto más precisamente midamos la una, tanto más se nos escapará la otra. Por ejemplo, es imposible medir a la vez con exactitud la posición y el momento (= velocidad x masa) de una partícula. Podemos determinar la posición de la partícula, pero esa determinación cambia y emborrona su velocidad, que resulta imposible de medir con precisión.³⁴ A la inversa, podemos medir con precisión la velocidad de la partícula, pero entonces no podemos determinar su posición exacta. De hecho, una partícula cuya posición está siendo medida no tiene un momento preciso, y una partícula cuyo momento está siendo medido carece de posición exacta. Esta limitación es absoluta. La frecuencia de un fotón y el instante de su llegada tampoco pueden medirse a la vez con arbitraria precisión. Cuanto más precisamente midamos su frecuencia, tanto menos podremos determinar con exactitud el tiempo de su llegada, y a la inversa.

Teorema de Gödel

Los teoremas de imposibilidad valorados hasta ahora se refieren a la física, que en definitiva es una ciencia empírica. La matemática pura siempre se había considerado como un paradigma de seguridad, como un mundo perfecto e ideal, al que son ajenas tales limitaciones. Es cierto que a principios del siglo XX las paradojas de la teoría de conjuntos introdujeron cierta preocupación entre los matemáticos, pero los problemas detectados fueron pronto resueltos mediante la introducción de la teoría de tipos y la axiomatización de la teoría de conjuntos. El más famoso matemático de aquella época, David Hilbert, formuló el luego llamado «programa de Hilbert»: para asegurar la matemática de una vez por todas se trataba de: 1) axiomatizar de un modo completo y exacto todas las teorías matemáticas, y 2) probar —por medios finitarios indudables— que todas las teorías matemáticas así axiomatizadas son consistentes. La aplicación del programa empezaría por la teoría más básica de todas, la aritmética elemental, y se iría extendiendo a otras teorías más avanzadas.

En 1931 cayó como una bomba la demostración por Kurt Gödel del llamado “teorema de incompletud”, que en especial implica que la teoría aritmética perfecta no puede existir. Ni siquiera en el mundo ideal de la matemática son posibles todos los óptimos

deseables.

Antes de formular el teorema, conviene repasar la terminología empleada en su formulación. Una sentencia es una fórmula sin variables libres. Una teoría es un conjunto de sentencias (los teoremas de la teoría) clausurado respecto a la relación de consecuencia, es decir, un conjunto de sentencias que incluye todas sus consecuencias. Una teoría es consistente si y solo si no incluye contradicciones, es decir, no incluye dos teoremas tales que el uno sea la negación del otro. Esto equivale a decir que la teoría es distinta de su lenguaje. Una teoría es axiomatizable si y solo si es recursivamente enumerable, es decir, si y solo si es el recorrido de una función computable sobre los números naturales. Esto equivale a que todos sus teoremas sean deducibles de un conjunto decidible de teoremas (los axiomas). Una teoría es completa si y solo si da respuesta a todas las preguntas que puedan formularse en su lenguaje, es decir, si y solo si para cada sentencia ϕ de su lenguaje, ϕ es un teorema o $\neg\phi$ es un teorema.

Una teoría aritmética es una teoría cuyo lenguaje incluye signos para el cero, el siguiente, la suma, el producto, el exponente y la relación de ser menor, y tal que en ella son definibles las funciones primitivas recursivas (es decir, las funciones numéricas más elementales, tales como la adición, la multiplicación y la exponenciación). Una teoría aritmética T es correcta si y solo si todos sus teoremas son verdaderos en el modelo estándar de los números naturales.

Obviamente tanto el ser consistente, como el ser axiomatizable y el ser completa, son propiedades deseables de una teoría. Sin embargo, las tres propiedades no pueden darse conjuntamente. Esa conjunción constituye una utopía, un ideal inalcanzable. El teorema de incompletud de Gödel (1931) dice que una teoría aritmética no puede ser a la vez consistente, axiomatizable y completa. Puede ser dos de esas cosas, pero no las tres. De aquí se sigue que si una teoría aritmética T es consistente y axiomatizable, entonces T es incompleta. Por ejemplo, la aritmética de Peano de primer orden es axiomatizable y consistente, pero no es completa. Gödel nos indicó cómo construir una sentencia aritmética verdadera que no es teorema suyo. Podríamos añadir esa sentencia como nuevo axioma, pero no adelantariamos nada: en función de ese sistema axiomático así ampliado podríamos volver a construir otra sentencia verdadera que no sería un teorema. El proceso no se acabaría nunca. Mientras siguiese siendo axiomatizable y consistente, la nueva teoría siempre seguiría siendo incompleta.

La limitación puesta así de manifiesto por el teorema de Gödel no solo vale para la aritmética elemental, sino para cualquier otra teoría matemática que la contenga, es decir, para casi todas las teorías matemáticas interesantes, incluidos el análisis matemático, el cálculo vectorial, la teoría de conjuntos, etcétera. Además, esa limitación no es la única descubierta, sino solo la primera de una larga serie de limitaciones. Así, en 1931, el mismo Gödel probó también que si una teoría aritmética T es consistente, entonces la

consistencia de T no puede probarse en T (o con los recursos conceptuales de T). En 1936, Alfred Tarski probó que la noción de verdad (semántica, interpretada sobre el modelo estándar de los números naturales) en una teoría aritmética T no es definible en T . Es decir, no hay una fórmula $\beta(x)$ tal que para cualquier sentencia φ : φ es verdad en T si y solo si $\beta(\# \varphi) \in T$, donde $\# \varphi$ es un número (una adecuada codificación numérica de la sentencia φ).

Muchas limitaciones de las teorías matemáticas se deben a limitaciones de la lógica subyacente. La lógica de primer orden solo admite cuantificaciones sobre objetos (por ejemplo, sobre números), mientras que la lógica de segundo orden admite también la cuantificación sobre conjuntos de objetos (por ejemplo, sobre conjuntos de números). Si una teoría aritmética T es correcta, entonces T no es decidible. Esto se sigue ya del resultado de que la lógica de primer orden no es decidible. La lógica de segundo orden no es recursivamente enumerable, es decir, su relación de consecuencia no es representable por un cálculo, el conjunto de sus fórmulas válidas no es axiomatizable. Otra limitación (esta vez semántica): si la teoría T es axiomatizable y tiene algún modelo infinito, entonces T no es categórica, es decir, tiene modelos no isomorfos al modelo estándar, es decir, tiene modelos no estándar, no buscados ni pretendidos. Por tanto, es imposible caracterizar unívocamente (hasta isomorfía) el modelo estándar de los números naturales (o el de los reales, o el espacio euclídeo). En segundo orden, sí es posible caracterizar el modelo estándar, pero esa caracterización no es operativa, pues la lógica de segundo orden no es reducible a un algoritmo.

Todos somos testigos de los enormes progresos de la computación en nuestro tiempo. Sin embargo, también esta topa con límites infranqueables. Todo lo que pueda hacer una computadora de cualquier tipo lo puede hacer una máquina de Turing (una noción matemática idealizada de computadora, introducida por Alan Turing). Pues bien, el mismo Turing probó que no es posible construir una máquina de Turing que decida si un programa cualquiera dado puede ser ejecutado en un número finito de pasos por una máquina de Turing cualquiera dada. En general, la prueba de que una máquina de Turing (que, como computadora real, siempre sería muy lenta e ineficiente) puede computar algo carece de interés. Sin embargo, probar que la máquina de Turing no puede hacer algo es sumamente interesante, pues implica que nunca computadora alguna podrá hacerlo, por mucha tecnología, dinero e inteligencia de la que dispongamos. La incomputabilidad de Turing es siempre incomputabilidad por principio, incomputabilidad insuperable.

También somos testigos de espectaculares progresos en las telecomunicaciones. Y también en este campo se han probado importantes teoremas de imposibilidad. Quizá el más conocido sea el teorema probado por Claude Shannon en 1948, que implica que el canal perfecto de comunicación no puede existir. En efecto, el teorema de Shannon dice

que no es posible transmitir señales a un ritmo superior a C/H , donde C es la capacidad (en bits por segundo) del canal, y H es la entropía (en bits por símbolo) de la fuente.

Teorema de Arrow

Los teoremas de imposibilidad no se limitan a la matemática, la ciencia y la tecnología. También se dan en el campo de la teoría política, como muestra el famoso teorema que Kenneth Arrow (Premio Nobel de Economía en 1972) probó por vez primera en 1951 y perfeccionó en 1983. Este teorema establece límites a la posibilidad de perfeccionar la democracia, mostrando que el sistema perfecto de votación no puede existir.

Aunque la democracia es el menos malo de los sistemas políticos conocidos, todos los sistemas políticos conocidos (incluida la democracia) dejan mucho que desear. Antes podía pensarse que los obvios defectos del sistema democrático serían todos subsanables, pero eso no es así. La democracia se basa en la votación y las investigaciones fundamentales de Arrow han mostrado que la votación democrática perfecta es imposible. Arrow definió una serie de características que intuitivamente parecen deseables en cualquier sistema razonable de votación democrática y mostró que son incompatibles entre sí, es decir, que, del supuesto de que un sistema de votación las tuviera todas, se siguen contradicciones. Lo único que podemos hacer es elegir entre unos sistemas de votación imperfectos y malos en un sentido y otros malos en otro sentido. Lo que no podemos es elegir el sistema de votación perfecto, pues es utópico, imposible. La situación recuerda a la que plantea el teorema de Gödel.

La democracia es un sistema para agregar las preferencias individuales en decisiones colectivas. La decisión colectiva se refiere a la elección entre varias alternativas. Se supone que cada individuo del grupo social tiene su propia relación de preferencia entre las alternativas consideradas. Introduzcamos un poco de terminología relativa a ciertas condiciones deseables mínimas que debe satisfacer una regla democrática de decisión social.

Condición de racionalidad colectiva: 1) La relación de preferencia colectiva (resultante de la agregación) ordena débilmente el conjunto de todos los estados sociales posibles alternativos (por ejemplo, es transitiva, es decir, si se prefiere el estado B a C , y C a D , entonces se prefiere B a D). 2) De entre cualquier subconjunto de estados posibles realizables, se elige el más preferido (o uno de los más preferidos, si hay más de uno).

Condición de Pareto: si cada individuo del grupo prefiere la alternativa B a C , entonces el grupo prefiere B a C .

Condición de no dictadura: no hay un individuo cuyas preferencias automáticamente se convierten en las preferencias del grupo, con independencia de las preferencias de los otros miembros.

Independencia de alternativas irrelevantes: la elección que el grupo hace entre las

alternativas disponibles en un momento dado depende solo de las preferencias de los individuos respecto a esas alternativas.

Las condiciones de racionalidad colectiva, de Pareto, de no dictadura y de independencia de alternativas irrelevantes parecen condiciones razonables y exigibles de cualquier regla democrática de decisión colectiva. Se trata de condiciones meramente necesarias, aunque no suficientes, de una democracia perfecta. Pero ni siquiera este modesto ideal es alcanzable. En efecto, el teorema de imposibilidad de Arrow (1951, 1983) establece que es imposible construir una regla de agregación colectiva de preferencias individuales que satisfaga esas cuatro condiciones (racionalidad colectiva, Pareto, no dictadura e independencia de alternativas irrelevantes).

La democracia perfecta no puede existir. Aunque no hubiera estupidez ni corrupción, aunque todos fuésemos inteligentes y buenos, el sistema democrático perfecto de votación no podría existir. La mera hipótesis de que existiese conduce a contradicciones matemáticas.

Más allá del utopismo

Desde los dominios más abstrusos de las matemáticas puras hasta los campos prácticos de la política y de los sistemas de votación, pasando por la eficiencia de los motores y la precisión de las mediciones cuánticas, todo lo que podemos saber y lo que podemos hacer está estrechamente acotado por una serie de límites u horizontes de nuestro conocimiento y de nuestra acción. El descubrimiento paulatino de esos límites nos ha situado en una situación intelectual menos ingenua y optimista que la que compartían los intelectuales decimonónicos, tan dados al utopismo.

Leibniz había considerado que el mundo actual es óptimo, el mejor de los mundos posibles, por lo que cualquier cambio que se produjese sería para peor. Esta conclusión se ha argumentado a veces teológicamente, señalando que este mundo no podría ser mejor, pues es obra de un Dios bueno, omnisciente y omnipotente. Este conformismo de base teológica ya fue ridiculizado por Voltaire en el siglo XVIII, pero pronto se impuso un utopismo igualmente ingenuo, que pensaba que cualquier óptimo es posible y cualquier situación deseable es realizable. Ya hemos visto que no es así.

Ni el conformismo ni el utopismo conducen a ninguna parte. Muchas cosas de este mundo pueden ser mejoradas, pero ello no implica que cualquier ideal deseable que se nos ocurra sea realizable. El tratar de descubrir cosas imposibles de conocer solo puede conducir a perder el tiempo y el dinero. El perseguir ideales políticos imposibles de realizar solo puede conducir al sufrimiento inútil y la frustración. Sin embargo, hay muchas cosas desconocidas por descubrir y muchas mejoras practicables por realizar. La investigación de los límites y horizontes de lo factible y lo cognoscible nos ayuda a canalizar nuestros esfuerzos hacia aquellas metas no solo deseables, sino además

alcanzables, al menos en principio.

¿El final de la ciencia?

En el último siglo y medio se han repetido, de vez en cuando, los anuncios agoreros, aunque prematuros, sobre el final de la ciencia. A finales del siglo XIX, Lord Kelvin pensaba que todas las fuerzas y elementos básicos de la naturaleza habían sido ya descubiertos, y que lo único que quedaba por hacer a la ciencia era solucionar pequeños detalles, «el sexto lugar de los decimales». En 1875, cuando Max Planck empezó a estudiar en la Universidad de Múnich, su profesor de física, Jolly, le recomendó que no se dedicara a la física, pues en esa disciplina ya no quedaba nada que descubrir. En 1894, Robert Millikan recibió el consejo de abandonar la física, una ciencia agotada, y dedicarse a la sociología. Pero al año siguiente se descubrió el electrón (cuya carga eléctrica mediría el mismo Millikan más tarde) y Max Planck (que afortunadamente no había seguido el consejo de Jolly) inició el estudio de la radiación del cuerpo negro, que acabó conduciendo a la cuantización de los niveles de energía y, en definitiva, a la nueva física cuántica.

El 29 de abril de 1980, el físico Stephen Hawking dedicó su lección inaugural como Profesor Lucasiano de la Universidad de Cambridge a la pregunta: «Is the End in Sight for Theoretical Physics?» («¿Está a la vista el final de la física teórica?»). Su respuesta fue que sí, y que la teoría de supergravedad $N = 8$, entonces de moda, sería la teoría definitiva. Sin embargo, el viento sopla con fuerza en las cumbres especulativas de la física actual y en menos de una década la supergravedad $N = 8$ pasó a formar parte de lo que el viento se llevó. Hoy las apuestas irían por las teorías de supercuerdas, pero quién sabe dónde estarán en veinte años.

En 1996, el periodista John Horgan publicó el libro *The End of Science (El final de la ciencia)*, en el que generalizaba a todas las ramas del saber la tesis de que el final está próximo.³⁵ El autor acogía con fe ingenua cuanto le decían unos y otros investigadores. Los científicos lo son porque a veces obtienen resultados más o menos sólidos, pero ello es compatible con lanzarse en otras ocasiones a especulaciones arriesgadas o incluso descabelladas. Newton dedicó tanto tiempo a la alquimia como a la mecánica; Faraday era miembro de una secta fundamentalista; Cantor interrumpía sus clases de matemáticas para sostener que las obras de Shakespeare en realidad fueron escritas por Francis Bacon, y el físico Frank Tipler publicó en 1994 la tesis de que el Universo entero se va a transformar en una supercomputadora programada por Dios para resucitar a los muertos.³⁶ La ciencia no se basa en argumentos de autoridad, y las afirmaciones de los científicos (incluso de los famosos) han de someterse a la criba del análisis epistemológico y de la contrastación empírica.

Lejos de acercarse a su final, gran parte de la ciencia actual está en mantillas, como ya subrayó John Maddox, anterior editor de *Nature*.³⁷ No sabemos nada de la vida fuera de la Tierra, ni siquiera si la hay o no. La mejor teoría física de que disponemos, la teoría cuántica de campos (base del modelo estándar de la física de partículas), es incompatible con la gravitación; y solo evita los valores infinitos de la energía de sus campos mediante la renormalización, estableciendo un corte «ultravioleta», lo que implica que no aceptamos su validez más allá de cierta cota de energías. Se piensa que las teorías cuánticas de campos son meramente teorías efectivas, aproximaciones a bajas energías de otras teorías subyacentes distintas y aún desconocidas. En astronomía, cada vez que lanzamos un nuevo detector al espacio o medimos una nueva radiación, encontramos sorpresas. Los modelos cosmológicos inflacionarios están cogidos con alfileres y se basan en un campo (el inflatón) nunca detectado. En paleoantropología, cada nuevo hueso excavado y cada nuevo genoma fósil secuenciado ponen patas arriba nuestras teorías precedentes. La ciencia se halla en ebullición y su final no está a la vista.

La empresa científica hace bien en publicitar sus éxitos, que sobresalen como islotes de conocimiento en medio de un océano de ignorancia, pero no hay que dejarse embriagar por la música triunfal. De hecho, la ciencia no da respuesta a la mayoría de las preguntas que nos hacemos, y ni siquiera a las que más nos intrigan. A mí, por ejemplo, me interesaría más saber cuándo me voy a morir yo que saber cuándo se producirá el próximo eclipse de Luna. Si saltamos de lo personal a lo cósmico, no sabemos si realmente hubo un periodo inflacionario tras el Big Bang ni tampoco cuándo ni cómo acabará el Universo, si morirá de frío, reducido a una radiación cada vez más difusa y cercana al cero absoluto de temperatura, como ahora parece más probable, o de calor, en los ardores de un Big Crunch (gran implosión).

Incluso dejando de lado los temas escatológicos, es curioso lo poco que sabemos acerca del cosmos. Para empezar, no sabemos de qué está hecho. Al menos el 84% de la materia del Universo parece ser materia oscura, que no emite ni absorbe radiación electromagnética alguna, aunque ejerce un influjo gravitacional. Pero no tenemos ni idea de lo que es la materia oscura. Además, desde 1998 pensamos que la expansión del Universo se está acelerando. Atribuimos esa aceleración a la energía oscura, que parece representar el 68% de la energía total del Universo (casi tres veces más que la de toda la materia visible y la oscura juntas), pero no sabemos en qué consiste. Tampoco sabemos cómo se forman las galaxias, ni lo que significa el fondo difuso de rayos X, ni cómo se originan o de dónde provienen los rayos cósmicos o los misteriosos fogonazos de rayos gamma que captan los observatorios orbitales. Para cada una de estas cuestiones hay tantas respuestas distintas e incompatibles como científicos que las estudian, o, lo que es lo mismo, no hay ninguna respuesta fiable.

¿Es la vida un fenómeno provinciano, limitado a la superficie de este pequeño planeta,

o se trata de un fenómeno que se repite en múltiples sistemas solares de nuestra galaxia y de otras galaxias? No lo sabemos. Muchos científicos especulan sobre el tema, estimando de modo distinto los parámetros de la fórmula de Drake (para calcular la probabilidad de vida extraterrestre) y obteniendo conclusiones contradictorias. ¿Sabemos al menos cómo se originó la vida aquí, en la Tierra? Tampoco. No sabemos cómo se formó la primera célula, ni siquiera la primera molécula de RNA autorreplicante y autocatalizadora. Múltiples hipótesis compiten, desde la procedencia del espacio exterior hasta la formación en sulfuro de hierro o en cristales de arcilla, pero ninguna ha podido ser corroborada.

Lo que menos entendemos es cómo funciona nuestro cerebro. En el caso del genoma ignoramos detalles de la secuencia de nucleótidos y la función de genes específicos, pero al menos entendemos los principios generales del código genético y la estructura de su mecanismo. Del cerebro no entendemos ni siquiera los principios generales. Es cierto que la neurología ha avanzado mucho desde la época de Aristóteles, que pensaba que el cerebro era un refrigerador destinado a enfriar la sangre que el corazón calentaba en exceso. Ahora entendemos el modo de actuar de la neurona y cómo se transmite el impulso nervioso a lo largo del axón y a través de la sinapsis; vamos descubriendo la topografía funcional del cerebro y simulamos mediante redes neurales algunos de sus comportamientos más simples. Sin embargo, todavía somos incapaces de dar respuesta a nuestras preguntas más elementales. No sabemos qué función biológica tienen el dormir ni el soñar. Ignoramos qué ocurre en el cerebro cuando aprendemos un número de teléfono o una canción, o cuando resolvemos un problema matemático, o cuando decidimos ir al cine esta tarde, o cuando sentimos curiosidad.

Frente a algunos discípulos excesivamente optimistas, Isaac Newton comentaba: «No sé lo que el mundo pensará de mí, pero yo me veo solamente como un niño jugando en la playa, divirtiéndose al encontrar de vez en cuando un guijarro más liso o una concha más bonita que de ordinario, mientras el gran océano de la verdad se extiende completamente desconocido ante mí».³⁸ Celebremos las conchas, sin olvidar el océano. En cualquier caso, el final de la ciencia no está a la vista. Es cierto que, como acabamos de ver, el conocimiento científico tiene límites, pero estamos muy lejos de haberlos alcanzado.

Notas:

³². Einstein, A., «Zur Elektrodynamik bewegter Körper». *Annalen der Physik*, 17: 891-921, 1905.

³³. Heisenberg, W., «Über den anschaulichen Inhalt der quantentheoretischen Kinematik und Mechanik». *Zeitschrift für Physik*, 43: 172-198, 1927.

³⁴. No solo no podemos medir entonces el momento de la partícula con precisión; es que ni siquiera la partícula tiene un momento preciso que medir. Por ejemplo, llamando Δx a la incertidumbre de su posición en la dirección x y Δp_x a la incertidumbre de su momento en la dirección x , ambas magnitudes están relacionadas por la relación de incertidumbre $\Delta x \cdot \Delta p_x \geq \hbar/2$, donde $\hbar = h/2\pi$, donde h es la constante de Planck. Por tanto, cuanto menor sea la incertidumbre Δx de la posición, mayor será la incertidumbre Δp_x del momento. Lo mismo ocurre

con el tiempo y la frecuencia o la energía. Esta situación se repite con cualesquiera pares de observables representados por variables conjugadas (operadores autoadjuntos incompatibles, es decir, que no conmutan).

[35.](#) Horgan, J., *The End of Science: Facing the Limits of Knowledge in the Twilight of the Scientific Age*, Helix Books, 1996. Hay traducción en español: *El fin de la ciencia*, Paidós, Barcelona, 1998.

[36.](#) Tipler, F.J., *The Physics of Immortality: Modern Cosmology, God and the resurrection of the Dead*, Doubleday, Nueva York, 1994. Hay traducción en español: *La física de la inmortalidad: la cosmología moderna y su relación con Dios y la resurrección de los muertos*. Alianza Editorial, Madrid, 2005.

[37.](#) Maddox, J., *What Remains to Be Discovered*, Free Press, 1998. Hay traducción en español: *Lo que queda por descubrir*, Debate, Madrid, 1999.

[38.](#) Transmitido por Andrew Ramsey y recogido por J. Spence en *Anecdotes, Observations and Characters of Books and Men*, Samuel Linger, Londres, pág. 54, 1820.

8

Modelos simples de un mundo complejo

En el lenguaje ordinario, y aun en el técnico, la palabra «modelo» se usa en dos sentidos contrapuestos: como lo representado, en unos casos, y como la representación, en otros. Decimos que el pintor pinta o el fotógrafo fotografía al o a la modelo. En este caso, la pintura o la foto son la representación y el o la modelo son lo representado. También en la teoría (lógica) de modelos se llaman modelos de una teoría a las realizaciones de la teoría, a lo representado por la teoría. En otros muchos casos ocurre al revés. Lo representado es una cosa más compleja y el modelo es la representación simplificada. Así, hablamos del modelo a escala reducida de un barco o del modelo de un avión en un túnel de viento o de la maqueta de un edificio. En las ciencias empíricas y en la tecnología se habla siempre de modelos en este segundo sentido, es decir, como representaciones simplificadas y precisas, y también aquí vamos a emplear la palabra en este segundo sentido.

Modelamos las realidades sobre las que nos hacemos preguntas a las que no sabemos cómo responder directamente. Construimos modelos de esas realidades como instrumentos para responder a esas preguntas. Un modelo [de algo] es una máquina conceptual para encontrar respuestas a las preguntas que nos hacemos [sobre ese algo].

Modelos matemáticos de sistemas empíricos

La realidad que nos rodea es complicada, llena de zonas de sombra, recovecos y oscilaciones imprevisibles. El mundo en gran parte se escapa a nuestras redes conceptuales y resulta opaco a nuestra comprensión, inefable a nuestra descripción e inasequible a nuestra manipulación intelectual. Pretender abarcarlo y conocerlo en todo su exacto detalle es una meta utópica: acabamos de ver que el conocimiento está sometido a límites infranqueables.

La realidad es demasiado compleja para ser entendida completamente con nuestras limitadas entendederas. A diferencia de la ciencia antigua, que buscaba una comprensión cualitativa y directa de los fenómenos, la ciencia moderna se basa en la construcción de modelos teóricos (es decir, matemáticos) de la realidad. Afortunadamente, y desde el siglo XVII, hemos salido del marasmo en que nos había sumido el intento por comprender directamente la realidad, y hemos aprendido a conquistarla indirectamente, dando un rodeo por la ruta de la modelización cuantitativa.

El mundo ficticio de la matemática, que nosotros hemos creado, nos resulta más transparente y mejor conocido que la opaca realidad. De hecho, lo único que nos resulta perfectamente transparente y comprensible es el mundo ficticio de la matemática, hechura y creación nuestra, que conocemos como si lo hubiéramos parido (pues, en efecto, lo hemos parido, aunque no sea más que con la cabeza, como Zeus a Atenea). Por ello, el método de la ciencia moderna, y en especial el de la física, pasa por la construcción de modelos matemáticos de los sistemas empíricos. Esos modelos solo corresponden a la realidad que modelan con grandes dosis de aproximación, abstracción y simplificación. Pero nos permiten comprender una realidad de otro modo incomprensible, formular preguntas precisas y obtener respuestas aproximadamente correctas.

El método de la modelización comienza por buscar en el universo matemático una estructura que se parezca en algún aspecto relevante a la porción de la realidad por la que nos interese, y usar esa estructura como modelo teórico simplificado de la realidad. Una vez que disponemos de un modelo teórico, podemos traducir al lenguaje de las matemáticas las preguntas que nos hacemos en la vida real y podemos computar las respuestas dentro del modelo, utilizando toda la artillería del cálculo matemático; finalmente, podemos retraducir esas respuestas matemáticas al lenguaje de la vida real. Si el modelo es bueno, la respuesta será aproximadamente correcta, con un margen de error especificado.

Los conceptos métricos desempeñan el papel clave de intermediarios en este taumáturgico ir y venir entre realidad opaca y ficción transparente. Los conceptos métricos (como los de longitud, masa, tiempo, temperatura, etc., en la física) representan homomorfismos de sistemas empíricos en sistemas matemáticos y asignan entidades matemáticas (números, sumas, relaciones numéricas, vectores, tensores) a objetos empíricos (pesas metálicas en el laboratorio, operaciones de colocarlas juntas en el platillo de una balanza y observación de a qué lado se inclina la balanza, en el caso de la masa). El homomorfismo garantiza la posibilidad de traducir y retraducir entre unos y otros.

En resumen, construimos modelos matemáticos de la realidad empírica, y trasladamos a esos modelos los problemas que la realidad nos plantea. Esos problemas, así traducidos al lenguaje matemático, son susceptibles de ser analizados y resueltos matemáticamente. Y la solución matemática, retraducida al lenguaje empírico, se convierte en una solución satisfactoria de nuestros problemas reales iniciales. Al menos, eso es lo que ocurre, si nuestro modelo matemático es suficientemente bueno. Los modelos matemáticos de la ciencia teórica son «máquinas» para obtener mediante computaciones las respuestas que buscamos. Con frecuencia, no hay otra manera de obtenerlas.

Disponemos de potentes algoritmos para resolver los problemas formulados en el

lenguaje de las matemáticas. Pensemos en los cálculos diferencial, integral, vectorial, tensorial, de probabilidades, etcétera, así como en los programas de computación. Las computadoras son «cerebros electrónicos», extensiones de nuestras cabezas, máquinas que implementan programas formales y nos permiten resolver nuestros problemas, al menos en la medida en que estos sean computables. Qué problemas sean computables y hasta qué punto lo sean es aquí una cuestión crucial.

Simplificaciones

Para poder computar eficazmente, con frecuencia es preciso simplificar. Incluso las cuestiones más triviales, como «¿cuánto pesas?», requerirían respuestas de una complejidad inabarcable, si no las simplificásemos. Nuestro peso varía constantemente, cada fracción de segundo, cada vez que respiramos, comemos, bebemos, sudamos o excretamos, incluso varía con cada paso que damos y con cada palabra que pronunciamos. Construyendo un modelo numérico groseramente simplificado, contestamos: «70 kilos».

Pensemos en la superficie de nuestro planeta. En una primera aproximación decimos que la Tierra es una esfera euclídea, con lo cual podemos calcular su superficie y su volumen, conociendo su radio o su meridiano. También podemos computar los ángulos de la navegación aérea y las distancias entre ciudades. Y podemos representar la superficie curvada de la Tierra sobre un mapa plano mediante proyecciones cartográficas adecuadas. Pero, obviamente, la Tierra no es una esfera. En una segunda aproximación decimos que es una esfera achatada por los polos o un elipsoide de revolución, lo cual tampoco es cierto, aunque ya se aproxima un poco más. Así, podemos ir definiendo una sucesión de figuras geométricas cada vez un poco más complejas y un poco más próximas a la realidad, pero siempre alejadas de ella, si uno se fija en los detalles. La forma real de la superficie terrestre incluye cada hoja de cada árbol y cada pelo de cada mamífero y cada espuma de cada ola. Esta forma varía constantemente con cada brisa que sopla, con cada automóvil que pasa, con cada gota de lluvia que cae. Ninguna geometría conocida ni imaginable podría dar cuenta cabal de forma tan prodigiosamente compleja. Ni falta que hace. Como ya sabía Borges, solo la Tierra entera es un mapa completamente exacto de la Tierra. Cuando buscamos otro mapa, lo que pretendemos es obtener una representación simplificada y manejable, que podamos entender y que nos permita contestar con suficiente (pero no excesiva) precisión a las preguntas que nos hacemos; en definitiva, lo que buscamos es un modelo simple de este planeta complejo.

Si nos elevamos a la contemplación del Universo en su conjunto, solo mediante la teoría general de la relatividad podemos esperar describir algo tan inmenso. La cosmología usa un modelo relativista general del espaciotiempo físico como una variedad diferencial cuatridimensional provista de una métrica (un campo tensorial) lorentziana.

Aunque la teoría general de la relatividad ya es de por sí una simplificación matemática, sigue siendo muy compleja (menos que la realidad, claro, pero todavía demasiado para nuestras limitadas entendederas). No sabemos cómo computar y resolver las ecuaciones no lineales de la teoría en la mayor parte de las situaciones. Solo en casos simples y simétricos, en los que podemos eliminar varios términos de las ecuaciones, resulta posible la solución. Resolver una ecuación de la relatividad general es tan difícil, que quien lo consigue da su nombre a la solución y pasa a los libros de texto. El modelo estándar de la cosmología actual se basa en la métrica de Friedmann-Robertson-Walker, que corresponde a una situación cósmica extraordinariamente simple, la de un Universo perfectamente isótropo y espacialmente homogéneo. Así, simplificando muchísimo, suponemos que el Universo es isótropo y homogéneo, aunque sabemos que en realidad no lo es, sino que más bien tiene una estructura esponjosa formada por enormes vacíos rodeados de grandes concentraciones de galaxias. Gracias a ello podemos hacer cosmología. Pero nuestros modelos cosmológicos son meros modelos matemáticos, simplificaciones drásticas aunque inevitables, y no reflejan la compleja realidad de la distribución de masas en el espaciotiempo más que de un modo vagamente aproximado y *cum granu salis*.

Lo mismo ocurre con las otras ciencias. Así, la mecánica cuántica modela los sistemas atómicos como espacios de Hilbert, que son estructuras matemáticas, espacios vectoriales de un número infinito de dimensiones. El mayor triunfo de la biología de nuestro siglo ha consistido en desentrañar el código genético, pero nuestro modelo inicial del sistema genético simplificaba bastante lo que de hecho ocurre en la célula. Y aunque más recientemente lo hemos ido complicando y acercándolo a la realidad, sigue siendo abstracto y simplificado. Las gramáticas generativas y las fonologías estructurales de la lingüística son modelos simples e idealizados de la complejísima realidad del habla. También es conspicuo el carácter simplificador de los modelos de la teoría económica. Por ejemplo, las funciones de precio son funciones reales continuas. Entre un precio y otro, el precio recorre una infinidad innumerable de números reales. En la tienda, sin embargo, los precios varían de un modo abrupto y discreto. Introducimos la ficción de la continuidad para poder computar en el modelo económico, para poder derivar y hallar máximos y mínimos mediante el cálculo infinitesimal.

Nada de lo dicho debe considerarse como una crítica. Más vale pájaro en mano que ciento volando. Más vale una aproximación computable que una verdad absoluta incomputable. Más vale el arduo progreso de la ciencia real que la fatua añoranza de un saber imposible.

El universo matemático

¿Cómo obtenemos las estructuras matemáticas que nos sirven de modelos teóricos de la

realidad empírica? ¿De dónde sacamos esas esferas y elipsoides, de dónde sacamos los números, los vectores, las probabilidades, las variedades diferenciales, los campos tensoriales, los espacios de Hilbert? Los sacamos del universo matemático. Y ¿de dónde sacamos el universo matemático? Nos lo sacamos de la cabeza. Es una creación del espíritu humano; pero no es una creación arbitraria, sino constreñida por una lógica implacable.

El universo matemático es un depósito inagotable de todo tipo de estructuras imaginables e inimaginables. Algunas de esas estructuras pueden reducirse a otras en el sentido de ser definibles a partir de ellas. La ontología matemática —es decir, la teoría de conjuntos— trata de reducir la vertiginosa variedad de las estructuras a sus componentes básicos, que en último término son los conjuntos. A partir del conjunto vacío e iterando unas pocas operaciones, el matemático —como un compositor— construye la gran sinfonía del universo matemático, con todos sus números y espacios.

La jerarquía acumulativa de los conjuntos empieza por el conjunto vacío ($\emptyset$) y procede por construcción sucesiva de nuevos conjuntos a partir de los anteriores mediante la iteración transfinita de las operaciones de unión y de conjunto de las partes ($\wp$), con lo que potencialmente se obtiene el universo conjuntista, en el que se encuentran todas las estructuras matemáticas. Cantor caracterizó la matemática como el reino de la libertad, debido a su libérrima creatividad. Mientras no se contradiga, el matemático es tan libre como el artista; y, como él, no está sometido al control de la realidad empírica. Puede hacerlo todo, excepto lo contradictorio; como Dios, según los teólogos medievales. Y, en efecto, esa taumáturgica generación del universo conjuntista a partir del conjunto vacío no deja de recordar a la mítica creación divina del mundo a partir de la nada.

Una de las características del universo matemático es la ubicua presencia del infinito (de los varios tipos de infinito), en contraste con el carácter finitario del mundo empírico, en el que nunca nos topamos con el infinito. Como decía David Hilbert: «La continua divisibilidad del infinito es una operación que solo existe en el pensamiento. [...] El infinito no se encuentra nunca en la realidad, cualesquiera que sean las experiencias, observaciones y conocimientos a los que apelemos».³⁹

Lo finitario es sumamente complejo y difícil de calcular. La introducción ficticia del infinito simplifica las cosas. Las funciones continuas y diferenciables sobre conjuntos infinitos de números nos permiten derivar, integrar, hallar máximos y mínimos, etcétera. Los procesos infinitos son introducidos en la descripción o representación de la realidad a fin de suavizarla y hacerla más fácilmente computable. Por la misma razón introducimos las fórmulas infinitarias en lógica, los elementos ideales, los puntos en el infinito de la geometría proyectiva, los números complejos, los paralelos y meridianos de la cartografía, etcétera. La lógica de primer orden que acepta conjuntos infinitos en su metateoría es mucho más sencilla (es recursivamente enumerable) que la lógica que solo

admite conjuntos finitos en su metateoría (y que ya no es recursivamente enumerable).

Resulta sorprendente que este rodeo por el mundo ficticio de la matemática nos proporcione representaciones fiables del mundo de los procesos físicos y nos permita alcanzar soluciones eficaces a nuestros problemas prácticos. Parece milagroso que algo tan extravagante funcione. Como decía Eugene Wigner, «el milagro de la adecuación del lenguaje de la matemática para la formulación de las leyes de la física es un don maravilloso que no entendemos ni merecemos».⁴⁰ Quizá no lo merezcamos, pero si, a pesar de todo, tratamos de entenderlo, tendremos que seguir investigando la función de los modelos teóricos en la empresa científica.

Notas:

³⁹. Hilbert, D., «Über das Unendliche», *Mathematische Annalen*, 95, págs. 161-191, 1926.

⁴⁰. Wigner, E., «The Unreasonable Effectiveness of Mathematics in the Natural Sciences», *Communications in Pure and Applied Mathematics*, John Wiley & Sons, Nueva York, vol. 13, nº. I (febrero, 1960).

La frontera entre ciencia y especulación

Opinar y saber

La noción del saber es más estricta y estrecha que la del mero pensar u opinar. La palabra “ciencia” es un calco del latín *scientia*, derivado del verbo *scire*, saber. Casi todos (excepto algunos primitivos y posmodernos) preferimos saber a opinar. Tan grande es su prestigio que quienes predicán algo suelen disfrazarlo de ciencia. Los predicadores por antonomasia (la orden de predicadores), es decir, los dominicos, expresan sus ideas teológicas en una revista titulada *La ciencia tomista*. En las facultades de Filosofía de la Unión Soviética había siempre un Departamento de Comunismo Científico. Incluso los charlatanes y nigromantes pretenden practicar las ciencias ocultas: ocultas, sí, pero ciencias.

La filosofía surgió en Grecia con el intento de separar el grano de la paja en el orden cognitivo, es decir, con la distinción entre el conocimiento sólido (*episteme*) y la opinión infundada (*doxa*). Esta preocupación atraviesa la historia entera de la filosofía y, en cierto modo, culmina con las discusiones de los años treinta del siglo XX en torno al llamado “problema de la demarcación”. Demarcar un terreno es señalar sus lindes o confines, trazar la frontera que lo separa de los otros terrenos. Cuando los filósofos de la ciencia han hablado del problema de la demarcación, se han referido a la búsqueda de un criterio que sirviese para separar la ciencia fiable de la mera especulación. En efecto, los positivistas lógicos del Círculo de Viena habían enfatizado el contraste entre la ciencia rigurosa, fiable y empíricamente contrastada, por un lado, y los mitos religiosos, las especulaciones metafísicas, las ideologías y las meras opiniones arbitrarias, por el otro. Como moraleja, trataban de aproximar la filosofía a la ciencia sólida y alejarla de la especulación quimérica.

Wittgenstein, Carnap, Ayer y otros, propusieron el criterio verificacionista de demarcación: solo aquellos enunciados o teorías que son potencialmente verificables serían enunciados científicos (o con sentido). Sin embargo, y como señaló Popper, este criterio no funciona, pues las leyes y teorías de la ciencia son enunciados generales y, por tanto, no son verificables; lo que sí son es refutables, pues basta con descubrir un caso en que no se cumplen para que queden refutadas. Por eso Popper propuso el criterio falsacionista de demarcación: solo los enunciados o teorías refutables serían científicos. Este criterio tampoco funciona, pues la ciencia contiene muchos enunciados existenciales

(«hay una partícula con tales propiedades...»), que son verificables, pero no refutables. Algunos propusieron que los enunciados y las teorías fueran o verificables o refutables, pero ni siquiera eso lo cumplen los enunciados científicos complejos, en cuya forma lógica se alternan cuantificadores existenciales y universales. Al final queda la exigencia de algún tipo de contrastación, de algún contacto con la realidad empírica, a la que siempre se concede la última palabra.

Los neopositivistas pensaban en no-ciencias como la religión, la astrología, el psicoanálisis, el marxismo o la metafísica. Actualmente, sin embargo, la frontera de la fiabilidad epistemológica no pasa solo por el borde entre ciencia y metafísica, sino también dentro del dominio mismo de la ciencia (en sentido sociológico). Algunas cosas que dicen los científicos las sabemos realmente, pues se basan en datos y teorías científicas fiables, bien contrastadas mediante observaciones, aplicaciones tecnológicas y experimentos. Sin embargo, algunos científicos se arriesgan a proponer teorías especulativas, para las que hay poco o nulo apoyo empírico. Aunque fascinantes en sí mismas e imprescindibles como semilleros del progreso científico a largo plazo, estas especulaciones son poco fiables y no forman parte todavía de la ciencia en sentido fuerte.

Especulaciones en la ciencia

En cada área de la física, la situación teórica actual está caracterizada por la interacción entre el modelo estándar y la nube de hipótesis especulativas que lo rodea. El modelo estándar (por ejemplo, el de la física de partículas o el de la cosmología del Big Bang) está constituido por una serie de teorías bien establecidas y consistentes entre sí que, en su conjunto, permiten explicar gran parte de los datos observados, así como predecir nuevos resultados empíricos no detectados antes. Y ningún dato conocido contradice las consecuencias del modelo estándar. El modelo estándar subyace a la enseñanza, la investigación y la tecnología.

Como vimos en el capítulo anterior, un modelo es una máquina para generar respuestas a las preguntas que nos hacemos. Aunque la estructura lógica del modelo es cierta estructura matemática, su función pragmática consiste en ayudarnos a responder a las preguntas sobre el sistema real modelado. El modelo estándar determina las respuestas que da la ciencia a esas preguntas en un momento dado. Fuera del modelo estándar, los científicos imaginativos proponen nuevas teorías especulativas e hipótesis audaces (como la teoría de supercuerdas, la inflación eterna o el multiverso) pero ayunas de contrastación y, con frecuencia, incompatibles entre sí. Sus promotores las desarrollan y tratan de arrancarles predicciones contrastables. Si tienen éxito, la teoría pasa a incorporarse al modelo estándar, que sufre los reajustes necesarios y genera los correspondientes cambios en los libros de texto. Las especulaciones desempeñan un papel positivo y necesario en la dinámica científica, como posibles locomotoras del

progreso. No hay que despreciarlas, pero tampoco hay que confundirlas con los resultados bien establecidos que conforman el modelo estándar y que son los únicos que merecen ser incorporados a nuestra cosmovisión racional.

Una estructura matemática o modelo no siempre representa algo. No hay representación sin presentación. Los modelos son propuestas que hacemos a la realidad y que la realidad puede aceptar o rechazar. Muchos de los modelos considerados en la cosmología y la física teórica actuales son meras propuestas, todavía no aceptadas ni rechazadas por la naturaleza.

En la física contemporánea, la frontera entre ciencia y especulación separa (provisionalmente) la física contrastada de las meras conjeturas. Las principales teorías de la física contrastada son, en lo referente a lo grande, la teoría general de la relatividad y el modelo cosmológico estándar del Big Bang; y, en lo pequeño, la teoría cuántica de campos y el modelo estándar de la física de partículas (= electrodinámica cuántica + cromodinámica cuántica). Las principales teorías especulativas de la física teórica incluyen la teoría de supercuerdas y la teoría M, así como la gravedad cuántica de bucles. Entre las especulaciones cosmológicas, las hay relativamente moderadas, como el modelo inflacionario de Alan Guth y el modelo cosmológico cíclico conforme de Roger Penrose, basado en la relatividad general. Paul Steinhardt y Martin Bojowald han propuesto otros tipos de modelos cíclicos basados en supercuerdas o en la gravedad cuántica de bucles. Las especulaciones más confusas y descabelladas corresponden a la presunta infinidad de Universos desconectados y al principio antrópico, cuyo análisis detallado aplazamos hasta el capítulo 13.

Matemática pura y ciencia empírica

La matemática pura es segura y fiable. Una prueba matemática correcta es definitiva y válida para siempre. La matemática pura no está sometida a las contingencias de la realidad, porque no dice nada acerca de la realidad. La matemática pura es completamente libre y su única obligación es la consistencia.

La ciencia empírica es provisional y falible, sometida como está a todas las contingencias de la realidad que pretende describir. La ciencia empírica es esclava de la realidad y, además de la consistencia, requiere la contrastación empírica mediante observaciones y experimentos.

Aquí usamos la palabra “ciencia” como “ciencia empírica”. Por tanto, la matemática pura no es ciencia, aunque quizá sea algo mejor, a mitad de camino entre la ciencia y el arte.

Albert Einstein decía: «En la medida en que las proposiciones de la matemática se refieren a la realidad, no son ciertas. Y, en la medida en que son ciertas, no se refieren a

la realidad». [41](#)

Notas:

[41](#). Einstein, A., «Geometrie und Erfahrung». Festvortrag gehalten an der Preußischen Akademie der Wissenschaften zu Berlin. J. Springer, Berlin, 1921.

La consistencia en la ciencia empírica

La contradicción en la lógica clásica

La negación de un enunciado es verdadera si y solo si el enunciado negado es falso. Por tanto, nunca puede ocurrir que un enunciado y su negación sean ambos verdaderos. Si uno de esos dos enunciados es verdadero, el otro será falso. Si juntamos ambos, nos contradecimos, obtenemos una contradicción. Una contradicción es la conjunción de dos enunciados, uno de los cuales es la negación del otro. Una conjunción es falsa siempre que al menos uno de sus dos componentes es falso, lo que siempre ocurre en la contradicción. Por eso, una contradicción es necesariamente falsa. Si nuestro discurso o razonamiento o teoría conduce a una contradicción, se dice que caemos en la contradicción. Esa caída es lo peor que nos puede pasar desde un punto de vista lógico, ya que es síntoma inequívoco de que nuestro discurso o nuestra teoría están aquejados de inconsistencia. Evitar la inconsistencia no siempre es tarea fácil, sobre todo cuando tratamos de temas recónditos y alejados de la experiencia directa. La lógica práctica se define a veces como el arte de no contradecirse.

En el lenguaje formal de la lógica, una fórmula ψ es una contradicción si y solo si hay una fórmula ϕ tal que $\psi = (\phi \wedge \neg\phi)$. [Recuérdese que “ $\neg$ ” se lee “no” y “ $\wedge$ ” se lee “y”; así, “ $(\phi \wedge \neg\phi)$ ” se lee “ ϕ y no ϕ ”]. Ninguna interpretación posible satisface o verifica una contradicción; si verifica ϕ , entonces no verifica $\neg\phi$. Una contradicción es irremediablemente falsa, la interpretemos como la interpretemos. Además, en la lógica clásica, una contradicción implica cualquier cosa. Una sentencia es una fórmula sin variables libres. Sea ϕ una sentencia cualquiera. La definición semántica de la verdad de una negación $\neg\phi$ es: $\neg\phi$ es verdad (en la interpretación $\mathfrak{I}$) si y solo si ϕ no es verdad (en la interpretación $\mathfrak{I}$). De aquí se sigue que ninguna interpretación puede verificar tanto ϕ como $\neg\phi$ y, por tanto, que ninguna interpretación satisface $(\phi \wedge \neg\phi)$. Una fórmula ψ implica otra fórmula χ (en signos, $\psi \models \chi$) si y solo si toda interpretación que satisfaga ψ satisface también χ , cosa que siempre ocurre (vacíamente) cuando ninguna interpretación satisface ψ , como es el caso con $\psi = (\phi \wedge \neg\phi)$. Por consiguiente, para cualesquiera fórmulas ϕ y χ ocurre que cualquier interpretación $\mathfrak{I}$ que satisface $(\phi \wedge \neg\phi)$ satisface también χ . [De hecho, ninguna interpretación satisface $(\phi \wedge \neg\phi)$, por lo que la aseveración es vacía]. Así pues, una contradicción implica cualquier cosa, es decir, para cualquier fórmula χ : $(\phi \wedge \neg\phi) \models \chi$.

Sintácticamente, de una contradicción ($\phi \wedge \neg\phi$) se puede inferir o deducir cualquier cosa (por ejemplo, χ) en el cálculo lógico clásico [en signos, $(\phi \wedge \neg\phi) \vdash \chi$].

- 1) $\phi \wedge \neg\phi$
- 2) ϕ por 1)
- 3) $\neg\phi$ por 1)
- 4) $\phi \vee \psi$ por 2)
- 5) ψ por 4) y 3)

Por consiguiente, para cualquier fórmula χ , a partir de una contradicción podemos deducir χ : $(\phi \wedge \neg\phi) \vdash \chi$

Un enunciado (o un discurso o una teoría) es consistente si no implica contradicción alguna. Un enunciado consistente puede ser verdadero o falso, según los casos, y hay que seguir investigando para averiguar si es lo uno o lo otro. Una teoría consistente implica solo ciertas cosas y no otras, por lo que sus predicciones pueden ser puestas a prueba y contrastadas con los hechos. La consistencia es la mínima virtud epistémica de un discurso o una teoría. Aunque no garantiza la verdad ni la aplicabilidad, tampoco las excluye a priori, como ocurre con la inconsistencia.

La inconsistencia es la propiedad que puede tener un enunciado (o un discurso o una teoría) de implicar una contradicción. Un enunciado inconsistente es con toda seguridad falso, por lo que no vale la pena seguir investigándolo. Una teoría inconsistente implica cualquier cosa expresable en su lenguaje, y en especial implica cualquier contradicción: es una teoría contradictoria. La inconsistencia es la más grave enfermedad epistémica que puede afectar a una teoría. La falsedad y la inaplicabilidad de una teoría inconsistente están garantizadas a priori.

Una teoría inconsistente contiene contradicciones y, por tanto, (desde el punto de vista de la lógica clásica) implica cualquier cosa. Lo afirma todo y lo niega todo, y a cada pregunta que le hacemos, nos contesta a la vez que sí y que no, por lo que es completamente inútil. La inconsistencia es mucho peor que la falsedad, es una ruina y una maldición para la teoría que la sufre. Por eso, no es de extrañar que los científicos tiendan a abandonar una teoría en cuanto descubren que es contradictoria. Si no hay un reemplazo a la vista, se abre un periodo de crisis y desasosiego hasta que se encuentra una nueva teoría (o una modificación de la anterior) de la que se espera que sea consistente y que es recibida por la comunidad científica con un suspiro de alivio.

Teorías inconsistentes

La actividad científica culmina en la construcción y contrastación de teorías de gran alcance y poder explicativo y predictivo. Habitualmente una teoría científica codifica

información acerca de cierto tipo de sistemas, fenómenos o procesos y permite sistematizar y resumir conocimientos, dar explicaciones, hacer predicciones y resolver problemas. De todos modos, una teoría informal es algo complejo y difuso, un trozo cambiante de cultura distribuido en múltiples cerebros y soportes. Para estudiar con precisión las teorías, tenemos que dejar de lado gran parte de su complejidad y representarlas de un modo simplificado y extensionalmente bien definido. Precisar extensionalmente una teoría es construir un modelo matemático de ella. Una teoría formal es un modelo matemático de una teoría informal. Una teoría formal (a diferencia de la informal) ya no es como un ser vivo que evoluciona en el tiempo, sino una entidad matemática fijada de una vez por todas.

En los contextos lógicos o metamatemáticos, por “teoría” se entiende teoría formal. Una teoría formal es un conjunto de sentencias clausurado respecto a la relación de consecuencia ($\models$), es decir, tal que las consecuencias de sus teoremas son también sus teoremas. En virtud de esta clausura, una teoría inconsistente, que implica cualquier cosa, contiene todas las fórmulas de su lenguaje como teoremas propios. En resumen, una teoría formal inconsistente es idéntica a su lenguaje.

Sea el lenguaje formal $\mathcal{L}$ el conjunto de todas las fórmulas construibles según las reglas de formación sintáctica a partir del vocabulario primitivo de la teoría. Sea $\Sigma \subseteq \mathcal{L}$ un conjunto de sentencias de $\mathcal{L}$. Σ es una teoría si y solo si para cada sentencia $\phi \in \mathcal{L}$: si $\Sigma \models \phi$, entonces $\phi \in \Sigma$. Es decir, si Σ es una teoría, entonces $\Sigma = \{\phi \in \mathcal{L} : \Sigma \models \phi\}$. Las sentencias de una teoría se llaman sus teoremas. Es habitual usar la letra griega tau mayúscula, T , como metavariable para referirnos indistintamente a teorías cualesquiera.

Una teoría T es consistente si y solo si T no es contradictoria. T es consistente si y solo si T no implica (y, por tanto, no contiene) contradicción alguna, es decir, no existe fórmula alguna ϕ , tal que $T \models (\phi \wedge \neg\phi)$ o tal que $(\phi \wedge \neg\phi) \in T$. T es consistente si y solo si T es distinta a su lenguaje, es decir, si $T \neq \mathcal{L}(T)$. Una teoría T es contradictoria si y solo si T no es consistente. Por eso, una teoría contradictoria se llama también inconsistente. T es contradictoria si y solo si T implica (y, por tanto, contiene) una contradicción, es decir, para alguna fórmula ϕ , $T \models (\phi \wedge \neg\phi)$ y por tanto, $(\phi \wedge \neg\phi) \in T$. T es contradictoria si y solo si T es igual a su lenguaje, $T = \mathcal{L}(T)$. Dos teorías T y Σ son incompatibles si y solo si su unión $T \cup \Sigma$ es inconsistente.

Lógica intuicionista y lógica paraconsistente

Aquí no pretendemos describir la lógica intuicionista, sino solo aludir a su relación con la contradicción. La lógica intuicionista es más débil que la lógica clásica en el sentido de que todo lo que puede deducirse en un cálculo deductivo intuicionista puede también deducirse clásicamente, pero no a la inversa. El sistema de la lógica clásica puede ser obtenido a partir de la lógica intuicionista añadiéndole algún nuevo axioma, como el tercio

excluido ($\phi \vee \neg\phi$) o la doble negación ($\neg\neg\phi \rightarrow \phi$). Desde luego, la interpretación no es la misma en ambos casos: es constructiva en el caso intuicionista y estructural en el clásico.

Los intuicionistas tenían miedo a la contradicción. De hecho, tenían más miedo que los matemáticos clásicos. Se suponía que la gran ventaja de la lógica intuicionista consistía en ser más segura que su contraparte clásica. Pero Kurt Gödel probó en 1932 que la lógica intuicionista no es más segura que la clásica. En efecto, cualquier fórmula clásica puede traducirse a una fórmula intuicionista de tal modo que cualquier contradicción clásica daría lugar inmediatamente a una contradicción intuicionista.

La motivación para la lógica paraconsistente es la contraria de la preocupación intuicionista. Por eso, el intuicionismo se opone todavía más a la lógica paraconsistente que la postura clásica. Los lógicos paraconsistentes no temen a la inconsistencia, y se declaran dispuestos a vivir con las contradicciones si logran encontrar la manera de hacerlo sin generar nuevas contradicciones. Y, en efecto, construyeron sistemas de lógica tan débiles que permiten aislar y esterilizar las contradicciones. Las lógicas paraconsistentes solo permiten deducir una parte de lo que permite deducir la lógica clásica; no permiten hacer las inferencias que conducen a deducir cualquier cosa a partir de una contradicción, pero tampoco permiten deducir otras cosas que no son contradictorias.

Newton da Costa y otros han mostrado que es posible construir sistemas consistentes de lógica paraconsistente, sistemas que permiten aislar la contradicción encontrada y así evitar el colapso o la explosión de la teoría inconsistente hasta abarcar su lenguaje entero.⁴² Es precisamente su mayor debilidad deductiva lo que permite a la lógica paraconsistente contener los efectos deletéreos de las contradicciones. Pero aquí acecha un grave problema. Muchos dominios de la ciencia —desde la física hasta la economía— son extensiones de teorías matemáticas subyacentes. Y no está nada claro que todo el poder de la matemática subyacente (que es clásica) pueda ser preservado en una hipotética reconstrucción paraconsistente.

La consistencia como idea reguladora

Al tratar con teorías inconsistentes de la ciencia empírica, podríamos pensar en salvarlas reemplazando la lógica clásica por la lógica paraconsistente. Esta jugada nos permitiría aislar las contradicciones detectadas y evitar el colapso de la teoría inconsistente en su lenguaje entero. Así podríamos continuar usando nuestra vieja teoría, incluso después de que las manchas rojas de la contradicción hubiesen aparecido sobre su cara. En efecto, sería posible, pero ¿es deseable?

La noción de consistencia desempeña el papel de idea reguladora (en sentido kantiano) en el desarrollo y progreso de la ciencia. Aunque casi nunca sabemos si nuestras teorías

son consistentes, el descubrimiento de una contradicción provoca siempre una crisis profunda en la comunidad científica, crisis de la que tratamos de salir esforzándonos en encontrar o inventar una teoría nueva y más satisfactoria, de la que podamos esperar que sea consistente. Consideremos algunos casos famosos de la historia de la física y la cosmología.

Relatividad

La mecánica de Newton constituía el fundamento indiscutido de la física clásica hasta que Maxwell desarrolló su teoría del electromagnetismo a mediados del siglo XIX. Sin embargo, a principios del siglo XX, los físicos se dieron cuenta de la incompatibilidad entre la electrodinámica de Maxwell y la mecánica de Newton con sus nociones pre-relativistas de la estructura del espaciotiempo. Un malestar creciente se extendió por la comunidad.

En la ecuación de onda electromagnética —una consecuencia de las ecuaciones de Maxwell— no aparece la velocidad del emisor ni la del observador, como habría requerido la teoría newtoniana. Las ecuaciones de la mecánica de Newton son invariantes bajo transformaciones de Galileo, pero las ecuaciones del electromagnetismo de Maxwell no lo son; en vez de ello, son invariantes bajo transformaciones de Lorentz. La transformación de Galileo del tiempo (entre las coordenadas t y t') es simplemente: $t' = t$. La transformación de Lorentz del tiempo es:

$$t' = \frac{1}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} \left(t - \frac{vx}{c^2} \right)$$

Cuando la velocidad v se aproxima a 0, la transformación de Lorentz del tiempo se aproxima a la transformación de Galileo, $t' = t$. Pero a grandes velocidades, ambas fórmulas divergen cada vez más y arrojan valores completamente diferentes. La inconsistencia percibida entre la mecánica newtoniana y el electromagnetismo de Maxwell indujo a Albert Einstein a inventar o descubrir en 1905 la teoría especial de la relatividad. La insatisfacción con la inconsistencia fue el motor que impulsó la búsqueda de una nueva teoría.

A diferencia de las ecuaciones de Maxwell, que eran compatibles con la relatividad especial desde el principio, las ecuaciones de Newton no lo eran. Por ejemplo, la masa de una partícula es constante en la mecánica newtoniana, pero en la relatividad especial la masa es variable y dependiente de la velocidad. La introducción de la relatividad especial resolvió el problema de consistencia del electromagnetismo, pero la dinámica newtoniana era imposible de acomodar en el marco espaciotemporal relativista. La única manera de

resolver la contradicción consistía en dejar caer la dinámica newtoniana y sustituirla por una nueva teoría de la gravitación creada a partir de cero: la teoría de la relatividad general.

La contradicción percibida entre la gravedad newtoniana y la relatividad especial fue lo que indujo a Einstein (y a David Hilbert) a buscar una nueva teoría de la gravedad. Tras varios años de búsqueda angustiosa, en 1915, Einstein finalmente descubrió y dio a conocer las ecuaciones de campo de la relatividad general, en las que la gravedad se identifica con la curvatura del espaciotiempo.

En cada uno de estos pasos, el desasosiego por la inconsistencia condujo a un gran progreso teórico que evitó la contradicción, incrementó el alcance de la teoría y preservó los resultados previos (como teorías efectivas dentro de su limitado ámbito de validez). Asintóticamente, mientras las velocidades disminuyen más y más, las transformaciones de Lorentz convergen con las de Galileo y los resultados relativistas especiales convergen con los newtonianos. De igual modo, asintóticamente, mientras las densidades disminuyen más y más, los resultados de la relatividad general coinciden con los de la relatividad especial. Así, los resultados bien contrastados de una teoría previa, por ejemplo, los resultados de la mecánica newtoniana a velocidades bajas (como las que se dan entre los objetos macroscópicos sobre la superficie terrestre), se preservan, incluso si se descubre una contradicción en la aplicación de la teoría fuera de su limitado ámbito de validez. De todos modos, la comunidad científica siempre considera inaceptable esa contradicción e inmediatamente se pone en marcha la búsqueda febril de una teoría consistente y más general que la rechazada.

Mecánica cuántica

La exploración de los dominios atómico y subatómico reveló un nuevo mundo de hechos sorprendentes e inesperados incompatibles con la física clásica. Para explicarlos fue necesario inventar una nueva mecánica: la mecánica cuántica. En 1929, Erwin Schrödinger ofreció una conveniente formulación ondulatoria de la mecánica cuántica, basada en la ecuación que acababa de descubrir. La ecuación de Schrödinger describe la evolución de un sistema cuántico en el tiempo. Rápidamente los físicos se dieron cuenta de que la ecuación de Schrödinger no es invariante respecto a transformaciones de Lorentz. Por tanto, la mecánica cuántica clásica no es compatible con la relatividad especial. Esa situación era intolerable, pues la relatividad especial había sido repetidamente contrastada y había salido airoso de todas las pruebas. Por tanto, lo que había que cambiar era la formulación clásica de la mecánica cuántica. Había que desarrollar una nueva teoría de la mecánica cuántica, combinando las ideas cuánticas con las relativistas especiales: la teoría cuántica de campos.

La inconsistencia percibida entre la mecánica cuántica y la teoría de la relatividad

especial indujo a Paul Dirac y otros a inventar la teoría cuántica de campos. En 1928, Dirac formuló su ecuación de onda mecánico-cuántica y relativista del electrón. Desde luego, la ecuación de Dirac es invariante respecto a transformaciones de Lorentz. A pesar de ello, la teoría cuántica de campos sufrió más tarde la plaga de los infinitos que surgían en la computación de varias magnitudes físicas. A este reto respondieron en los años cuarenta Ichiro Tomonaga, Julian Schwinger y Richard Feynman. En palabras de Steven Weinberg, «la teoría cuántica de campos es como es, porque esa es la única manera de reconciliar los principios de la mecánica cuántica con los de la relatividad especial». ⁴³

Los dos pilares básicos de la física actual son la teoría general de la relatividad y la teoría cuántica de campos. El gran problema que acecha en el horizonte es que ambas teorías son incompatibles entre sí. La curvatura suavemente continua del espaciotiempo relativista general contrasta con el mundo discreto, frenético y sobresaltado de la mecánica cuántica. El problema permanece en la penumbra, pues en la práctica de la física apenas si se usan ambas teorías simultáneamente.

Los físicos de partículas usan la teoría cuántica de campos para explorar las cosas minúsculas que componen el mundo atómico y subatómico. En ese mundo, la gravitación es extremadamente débil y puede ser ignorada sin peligro. Por ejemplo, la fuerza electrostática con que el protón de un átomo de hidrógeno atrae al electrón es casi 10^{40} veces más fuerte que la atracción gravitacional entre ambas partículas. Por tanto, en la física de partículas la gravedad y su teoría (la relatividad general) son simplemente ignoradas, sin que ello genere conflicto alguno. Por otro lado, el Universo entero con su materia oscura y sus enormes galaxias, cúmulos de galaxias, estrellas, agujeros negros y nubes de polvo, que son sus componentes más prominentes, están dominados casi exclusivamente por la gravitación. La relatividad general, que es nuestra mejor teoría de la gravitación, es la base de todos los modelos cosmológicos. Las interacciones cuánticas pueden ser generalmente ignoradas. Pero esta separación se rompe a veces, como en el estudio de los agujeros negros, en los que enormes cantidades de materia (con la potencialidad de distorsionar el espaciotiempo de acuerdo con la relatividad general) son comprimidas en un espacio pequeñísimo, donde los efectos cuánticos son inevitables. En esas situaciones excepcionales, los físicos se sienten incómodos y sufren bajo el riesgo inminente de caer en la contradicción.

La inquietud e incomodidad que genera la incompatibilidad entre las presuposiciones de la relatividad general y el modelo estándar de la física de partículas, lleva tres décadas empujando a los físicos teóricos a buscar una teoría de la gravedad cuántica que permita aplicar ambas teorías al mismo problema de un modo consistente y simultáneo. Se han propuesto varias teorías para desempeñar esta función, las más conocidas son: la teoría de supercuerdas (cuerdas supersimétricas) y la gravedad cuántica de bucles (*loop quantum gravity*). De todos modos, hasta ahora ninguna de ellas ha obtenido apoyo

empírico.

Cosmología

En la segunda mitad del siglo XIX, bajo la influencia de Charles Lyell y Charles Darwin, muchos geólogos y biólogos evolucionistas concluyeron que la Tierra debía de tener una edad de miles de millones de años para acomodar los lentos procesos geológicos y evolutivos requeridos hasta llegar a la situación actual. Sin embargo, cuando los físicos empezaron a calcular la edad de la Tierra, llegaron a estimaciones mucho más cortas. William Thomson (Lord Kelvin) calculó cuánto tiempo emplearía un trozo de roca del tamaño de la Tierra en enfriarse hasta su temperatura actual a partir de un estado inicial de roca fundida, concluyendo que la edad de la Tierra sería de entre 20 y 40 millones de años. El físico alemán Hermann Von Helmholtz computó una edad de 22 millones de años; y el astrónomo canadiense Simon Newcomb, de 18 millones de años. La contradicción flagrante entre las hipótesis tan divergentes sostenidas por los naturalistas, por un lado, y por los físicos, por otro, provocó incomodidad e incluso acritud entre ambas comunidades. Al final, los geólogos y biólogos resultaron tener razón y el conflicto quedó superado por la general aceptación de que la Tierra tenía una edad de varios miles de millones de años ($4,54 \times 10^9$ años, según las estimaciones actuales).

¿Cómo es que los mejores físicos de la época se equivocaron tanto? Sus cálculos eran correctos, pero ignoraban el efecto de la radioactividad, que todavía no se había descubierto. No tuvieron en cuenta el calor que seguía generándose en el interior de la Tierra por los procesos de desintegración radioactiva. Una vez que la radioactividad fue descubierta a finales del siglo XIX y que sus efectos fueron tenidos en cuenta en el cómputo, la discrepancia y la contradicción desaparecieron y se logró una comprensión más profunda de los procesos internos de nuestro planeta. Algo parecido pasó con la estimación de la edad del Sol. Kelvin y Von Helmholtz calcularon la edad máxima del Sol en unos 20 o 30 millones de años, suponiendo que el Sol obtiene la energía que emite de su propia y lenta contracción gravitacional. Aunque su teoría era correcta para los estadios iniciales de la formación de una estrella por contracción gravitacional de una nube giratoria, ignoraba los procesos de fusión (entonces aún desconocidos) que tienen lugar cuando la estrella ya está formada y que suministran energía al Sol durante miles de millones de años.

Un caso similar surgió a mediados del siglo XX en relación a la edad del Universo (el tiempo transcurrido desde el Big Bang). Esta edad se calcula en función de la constante de Hubble H_0 . Hasta 1958, las medidas de H_0 eran crudas e imprecisas. Como consecuencia de ello, se estimaba que el Universo era mucho más joven de lo que realmente es. Por otro lado, la física nuclear permitía a los astrofísicos calcular la edad de los cúmulos globulares de estrellas que pueblan nuestra galaxia. De todo ello se seguía

que el Universo entero tenía que ser más joven que algunos de sus componentes, como los cúmulos globulares, lo que es absurdo. Esta contradicción generaba bastante ansiedad. Finalmente, la contradicción fue disuelta mediante la obtención de nuevas y más precisas medidas de H_0 . Hoy pensamos que la edad del Universo es de unos $13,7 \times 10^9$ años; la estimación actual (2013) de la constante de Hubble es de unos 68 km/s/Mpc.

En 1933, Fritz Zwicky estaba examinando los movimientos y la distribución de masas de las galaxias en los alrededores del cúmulo de Coma. Cuando aplicó el teorema del virial de la mecánica clásica a los movimientos observados, Zwicky se sorprendió al comprobar que la cantidad de masa implicada era mucho mayor que la cantidad de masa agregada de las estrellas y del resto del material luminoso. Estos resultados contradecían la presuposición tácita de que la mayor parte de la materia del Universo es luminosa, es decir, materia que emite luz u otra radiación electromagnética, como ocurre con las estrellas y galaxias que vemos en el cielo nocturno. Este es el «problema de la masa que falta». Zwicky no podía aceptar esa contradicción. En 1934, abandonó la presuposición de que casi toda la materia es luminosa. En vez de ello, postuló un nuevo tipo de material que no participa en las interacciones electromagnéticas, pero que tiene efectos gravitacionales: lo llamó “materia oscura”.

En aquel tiempo, la mayoría de los astrónomos no estaban al tanto de las investigaciones de Zwicky. Unos cuarenta años más tarde, nuevos estudios de los movimientos de las estrellas dentro de las galaxias también implicaron la presencia de un gran halo de materia invisible que se extiende más allá del disco visible de su galaxia. Estudios posteriores por Vera Rubin de los movimientos orbitales de las galaxias dentro de sus cúmulos también apuntaban en la misma dirección. A partir de entonces, la mayor parte de los astrónomos fue tomando conciencia de la inconsistencia entre sus presupuestos y las observaciones. La propuesta de la materia oscura por Zwicky fue confirmada más tarde por estudios de las lentes gravitacionales y de la tasa de expansión cósmica. Hoy día, y aunque no sabemos lo que es, la materia oscura está plenamente integrada en el modelo cosmológico estándar. De acuerdo con las estimaciones recientes hay unas cinco veces más materia oscura que materia ordinaria.

Según los datos de la misión Planck de 2013, la materia ordinaria y la materia oscura juntas, forman el 31,7% de la energía del Universo, mientras que la energía oscura constituye el resto, el 68,3%, es decir la mayor parte.⁴⁴ No sabemos lo que es la energía oscura. De hecho, “energía oscura” es el nombre que damos a nuestra ignorancia respecto a las causas de la aceleración de la expansión del Universo, inferida de nuestras observaciones. Hasta 1998, casi todos los miembros de la comunidad científica pensaban que la expansión del Universo se estaba decelerando, debido a la atracción gravitacional, que actúa como un freno. Por eso, la comunidad se quedó pasmada cuando ese año se anunció el descubrimiento sorprendente de que la expansión del Universo no se está

frenando, como se pensaba, sino que de hecho se está acelerando. Esta conclusión se seguía de las nuevas y coincidentes medidas de la distancia a supernovas lejanas de tipo I_a efectuadas por los equipos independientes de Saul Perlmutter en California y de Brian Schmidt en Australia. Estos resultados contradecían ciertos presupuestos del modelo cosmológico estándar entonces vigente, que tuvo que ser «reparado» para evitar la inconsistencia. Los citados presupuestos fueron abandonados y se introdujo un nuevo modelo cosmológico con alrededor del 68% de energía oscura que diera cuenta de la aceleración de la expansión. Todo esto no resulta muy satisfactorio, pues ignoramos de qué estamos hablando, ya que no sabemos qué es la materia oscura y aún menos la energía oscura. Sin embargo, se consideró que incluso este recurso desesperado a una desconocida pero ubicua «energía oscura» resultaba preferible a permanecer un día más en la contradicción.

Hay dominios tecnológicos como la informática y el desarrollo de *software* en los que abundan los fallos, que constantemente van siendo detectados y corregidos. Son dominios muy diferentes de la matemática pura, definida por Cantor como el reino de la libertad, donde uno puede hacer lo que quiera, mientras no se contradiga. También son muy diferentes de la ciencia empírica. De hecho, no son (y no pretenden ser) una ciencia. En la ciencia, y especialmente en la ciencia empírica, la idea reguladora de consistencia desempeña un papel crucial en la dinámica del progreso científico.

El descubrimiento de una contradicción en la ciencia empírica es experimentado como un trauma, que genera incomodidad, inquietud y ansiedad en toda la comunidad involucrada. Atrapados en esa tesitura, lo que los científicos buscan no es un modo de vivir con la contradicción, sino la manera de salir de ella. Y los pocos científicos que encuentran la manera de restaurar la consistencia, mediante sus esfuerzos extenuantes y su creatividad, son justamente celebrados por los demás como héroes intelectuales.

Notas:

[42.](#) Da Costa, N., *Sistemas formais inconsistentes*. Nucleo de studios e pesquisas científicas, Río de Janeiro, 1963. (2ª ed., Editora UFPR, Curitiba, 1993.)

[43.](#) Weinberg, S., *The Quantum Theory of Fields*, vol. I, pág. XXI. Cambridge University Press, 1995.

[44.](#) Ade, P.A.R.; Aghanim, N.; Armitage-Caplan, C. *et al.*, (Planck Collaboration) (22 marzo de 2013). «Planck 2013 results. I. Overview of products and scientific results - Table 9.» *Astronomy and Astrophysics*.

11

Observación y detección

Hacer algo no implica entender lo que estamos haciendo ni ser conscientes de cómo lo hacemos. Hablar, recordar y tomar decisiones son ejemplos de actividades que continuamente llevamos a cabo en perfecta ignorancia de los procesos y procedimientos involucrados en su realización. Lo mismo ocurre con la ciencia, que practicamos sin saber cómo lo hacemos, aunque la filosofía de la ciencia trata de analizar y explicitar lo que hacemos en nuestra actividad científica. Por “ciencia” entendemos aquí ciencia empírica, no mera matemática. Mientras las teorías matemáticas están sujetas solo al constreñimiento de la consistencia, las teorías de la ciencia empírica requieren de una interfaz entre nuestras representaciones simbólicas y las presentaciones de la realidad externa. Esa interfaz es proporcionada por la observación y el experimento.

La ciencia empírica entera se construye sobre las observaciones. Por muy intuitivamente atractivas y matemáticamente elegantes que sean nuestras teorías, solo pueden considerarse parte de la ciencia empírica estándar cuando han sido puestas a prueba y contrastadas con la realidad exterior mediante observaciones. Las entidades y los hechos de los que hablamos en la ciencia empírica deben tener efectos detectables; deben llamar a la puerta, aunque sea suavemente. Por eso hay una gran diferencia entre las partículas que han sido detectadas (aunque sea muy indirectamente), como los electrones, los quarks, los bosones W y los bosones de Higgs, y las presuntas partículas especulativas, que hasta ahora no han sido detectadas en modo alguno, como los fotinos o las supercuerdas.

Por tanto, el papel de la observación es crucial en la ciencia empírica. Pero ¿qué es la observación? En la mayoría de las lenguas occidentales, el sustantivo “observación” y el verbo “observar” tienen dos significados: 1) cumplir, atender, observar una costumbre o prohibición; y 2) mirar, prestar atención, observar con detenimiento. Los mismos dos significados están presentes en el griego *teréo*, *téresis*, en el latín *ob-servare*, *ob-servatio*, en el alemán *Be-ob-achten*, *Be-ob-achtung* (modelado sobre el latín), etcétera. Aquí solo nos interesamos por el segundo significado de “observación” como —en palabras de Roberto Torretti— «el modo explícitamente cognitivo, atento y deliberado de percepción que circula bajo el nombre de *observación*».⁴⁵

Observación personal e impersonal

Cada vez miramos más el mundo a través de extensiones tecnológicas de nuestros sentidos. Mucha gente es miope o tiene algún otro defecto óptico en los ojos, por lo que no podrían observar su entorno adecuadamente sin la ayuda de gafas graduadas, uno de los más tempranos instrumentos ópticos conocidos. Ya en el siglo XIII, a Marco Polo le llamó la atención que muchos chinos usaran gafas para ver. A finales de la Edad Media, las gafas ya se habían extendido por Europa.

La observación directa por los sentidos sin ayuda de dispositivo alguno se ha convertido en la excepción, más bien que la regla, al menos en la actividad científica y con frecuencia en la vida cotidiana. Cuando observamos algo en la televisión o cuando oímos música en casa o cuando hablamos por teléfono con alguien, tiene lugar una larga y compleja serie de transformaciones y transducciones de diversas señales.

Torretti ha proporcionado una clara caracterización de la diferencia entre la observación personal y la impersonal.⁴⁶ Cualquier tipo de observación involucra siempre un proceso físico que enlaza el objeto observado con el receptor (un animal o un artefacto) a través de una cadena causal. Mientras la observación personal va siempre acompañada de consciencia, la observación impersonal no requiere consciencia. En el caso de la observación personal, podemos también distinguir entre el objeto directo de la observación (algo que se encuentra ante los sentidos del observador y a lo que este está prestando atención) y su objeto indirecto (el objeto de una observación impersonal por un aparato receptor que el observador personal a su vez está observando).

Nuestro propio cuerpo es el receptor en la observación personal. Lo que vemos a través de las gafas es ya una observación mediada tecnológicamente, aunque la mediación en este caso esté limitada a corregir el foco de la visión ordinaria. Como ha subrayado Ian Hacking, la situación es muy diferente cuando consideramos un microscopio de alta resolución, en el que la difracción y la interferencia reemplazan a la reflexión y la refracción de la visión normal.⁴⁷

El verbo “detectar” proviene del latín *detegere* (des-cubrir, exponer el secreto de algo), que deriva de *tectum* (tejado). Etimológicamente hablando, “detectar” algo consiste en quitar el tejado que lo cubre, en des-cubrirlo. En cada tipo de observación, ciertas señales (generalmente en forma de radiación) son detectadas o recibidas por el receptor o detector. La observación personal en la que nuestro cuerpo desempeña el papel de receptor está limitada a un estrecho abanico de posibilidades: aquellas señales para cuya detección estamos genéticamente preprogramados. Los heteróclitos receptores usados en la observación impersonal están designados para detectar un abanico mucho más amplio de señales con un nivel mucho más alto de resolución. Si las señales así detectadas caen fuera de la gama a la que responden nuestros sentidos, han de ser transducidas o convertidas en señales moduladas en otro soporte energético distinto que resulte accesible para nosotros. Así, aunque somos incapaces de captar las ondas de radio con nuestro

cuerpo, en algunos casos podemos sintonizarlas con un receptor de radio que las transduce o transforma en ondas sonoras que percibimos por los oídos.

El detector artificial detecta la radiación portadora de la señal como un *input*. Eventualmente uno o varios transductores lo transforman en una señal accesible a humanos o suministrada a computadoras que a su vez generan un *output* que sirve como *input* a una observación personal o a otro aparato impersonal. La fuente de la radiación original constituye el objeto de la observación, la cosa observada.

Observación en la ciencia

La observación científica con frecuencia es indirecta y está mediada por complejos sistemas de dispositivos artificiales. Un observatorio es un lugar desde el que se hacen observaciones de un modo sistemático. Las observaciones astronómicas suelen tener lugar en observatorios astronómicos. El ocular es la lente de un instrumento óptico que se antepone al ojo del observador humano para permitirle la observación, pero hoy en día los telescopios de los observatorios carecen de oculares. Donde antes estaba el ocular ahora hay un dispositivo de carga acoplada (CCD), refrigerado por nitrógeno o helio, u otro receptor artificial de fotones. En cualquier caso, los astrónomos ya no están junto a los telescopios, sino en una oficina separada, desde la que miran —a través de las pantallas de sus computadoras— las imágenes captadas por los telescopios. La mayor parte del tiempo, ni siquiera miran las imágenes de los objetos en la pantalla, sino solo los gráficos que representan el análisis espectral automáticamente generado de la luz detectada por el dispositivo de carga acoplada. Cuando algo extraño aparece en la pantalla, el astrónomo ya no puede mirar por el telescopio. Tiene que salir del edificio y mirar al cielo a simple vista, que es lo que hizo el descubridor de la supernova 1987A en el observatorio chileno de Las Campanas.

Lo que el astrónomo ve en la pantalla ha pasado por múltiples transducciones de fotones en cargas y corrientes eléctricas y por múltiples transformaciones electrónicas dentro de la computadora, hasta que finalmente los últimos electrones son transducidos de nuevo a fotones en la pantalla de cristal líquido (LCD) de la computadora. Esos son los fotones que eventualmente alcanzan el ojo del astrónomo (a veces a través de sus gafas) y que son distintos de los fotones provenientes de la fuente astronómica. Por tanto, toda la atenta observación del astrónomo constituye un proceso intrincado y sumamente indirecto. A pesar de todo, se trata de una observación, pues el proceso ha sido disparado o iniciado por los fotones provenientes de la fuente.

En las dos últimas décadas, la detección u observación de planetas extrasolares ha pasado por los dispositivos de carga acoplada, por la espectrografía generada computacionalmente, por la inferencia del bamboleo de la estrella, por la computación de la atracción gravitatoria del planeta sobre la estrella (que determina el bamboleo de esta),

etcétera. La detección de los «rayos cósmicos» (partículas muy energéticas, como protones, electrones y núcleos ligeros) se alcanza mediante la captación de los llamados rayos cósmicos secundarios (sobre todo electrones) que resultan de la desintegración de los muones producidos en las colisiones de los rayos cósmicos primarios con los átomos de la atmósfera. En este caso no hablamos de observación, pues somos incapaces de identificar la fuente de los rayos cósmicos.

La física de partículas presenta numerosos ejemplos de observación indirecta mediada por la tecnología, como la detección del quark *top* en el Tevatrón (parte del Fermilab) de Chicago en 1995 o la del bosón de Higgs en el LHC (parte del CERN) de Ginebra en 2012. En 1963, Murray Gell-Mann y George Zweig propusieron el modelo de los quarks, que usaba la teoría matemática de grupos para introducir orden en el «zoo» de 200 hadrones entonces conocidos, como los protones, neutrones y mesones. Todos los hadrones se componen de quarks y antiquarks. El quark *bottom* ya había sido detectado en Fermilab en 1977. Los años siguientes se detectaron los demás quarks predichos por el modelo, con la excepción del quark *top* (el compañero del *bottom*). Para tratar de detectarlo se construyó junto a Chicago el enorme acelerador Tevatrón, así llamado porque era capaz de acelerar un protón hasta una energía de un teraelectronvoltio ($1 \text{ TeV} = 10^{12}$ electronvoltios), posteriormente ampliada al doble, y situado en un anillo subterráneo de 6,8 kilómetros de longitud. En 1994 se anunció y en 1995 se confirmó que el quark *top* había sido detectado y tenía una masa de 174 GeV. El quark *top* aparece una vez cada 10 000 millones de colisiones de protones y antiprotones y se desintegra casi inmediatamente. Cada segundo tenían lugar 250 000 colisiones y se producía una continua ducha de partículas resultantes, que eran constantemente detectadas y enseguida analizadas por las computadoras, que decidían qué eventos registrar como potencialmente interesantes. Un quark *top* solo se produce como parte de un par formado por un *top* y un anti-*top*. Cada uno de ellos se desintegra al instante en partículas más estables, que son luego detectadas por los aparatos detectores y reconocidas por las computadoras como signatures del quark *top*.

El modelo estándar de la física de partículas incluye el campo de Higgs, cuya excitación constituye el bosón de Higgs. Un lagrangiano es cierto formalismo matemático que describe la evolución en el tiempo de un sistema físico. Una teoría de gauge se resume en un lagrangiano invariante bajo un cierto grupo de transformaciones. El modelo estándar de la física de partículas es una teoría de gauge. Esta teoría asigna a todas las partículas masa 0. Si se introducen *ad hoc* términos de masa para las partículas, se echa a perder la invariancia de gauge de la teoría. ¿Cómo asignar masas a las partículas sin romper la invariancia? Postulando un campo escalar (llamado “de Higgs”) que espontáneamente rompe la simetría de gauge electrodébil y confiere masa a las partículas sin interferir con la invariancia de la teoría.

El bosón de Higgs, aunque propuesto en 1964, era la única partícula predicha por el modelo estándar de la física de partículas que seguía sin detectarse casi medio siglo después. ¿Existía o no? Esta pregunta se había vuelto obsesiva para la comunidad científica. Para contestarla se construyó entre 1998 y 2008, en el CERN, cerca de Ginebra, el gran colisionador de hadrones (LHC), la máquina más cara de la historia, con un costo de unos 5000 millones de dólares. Allí se llevan a cabo los experimentos más caros, con un coste anual de unos 5500 millones de dólares, destinados sobre todo a detectar el bosón de Higgs. El LHC acelera dos haces de protones a una velocidad próxima a la de la luz y los hace colisionar de frente. El bosón de Higgs no puede detectarse directamente, dado que su vida media es de solo $1,56 \times 10^{-22}$ s, pero pueden detectarse los productos (bosones W y Z y fotones) de su inmediata desintegración. De todos modos, solo se produce un bosón de Higgs en una de cada 10^{10} colisiones. Una red de 170 centros de computación distribuidos en 36 países trata de analizar los datos y encontrar la signatura de la desintegración del bosón de Higgs. Dos equipos diferentes, de unos 3000 científicos, técnicos y colaboradores cada uno, detectaron independientemente la signatura del Higgs en los dos detectores ATLAS y CMS. El detector ATLAS tiene unos 45 metros de largo y 25 de alto, casi el tamaño de una catedral. Los experimentos tratan de que algunas de las colisiones de protones produzcan un bosón de Higgs, que puede decaer de dos maneras distintas: produciendo dos fotones o produciendo cuatro leptones. Lo que buscaban eran eventos de este tipo. Los encontraron y la energía combinada de las partículas resultantes era de 125 GeV. La detección provisional tuvo lugar a mediados de 2012 y fue confirmada en marzo de 2013.

Usos lingüísticos descuidados

En el pasado, solo las observaciones personales eran llamadas “observaciones”. Hoy en día, con frecuencia hablamos también de observación en el caso frecuente de la observación impersonal. Observando directa o personalmente nuestros aparatos detectores, podemos observar indirectamente la fuente de las señales que detectan y así aprender sobre ella.

Los físicos son cuidadosos en el uso de sus términos técnicos, pero con frecuencia se descuidan al usar el vocabulario general (palabras como “ver”, “observar”, “descubrir” o “estudiar”). Los cosmólogos hablan a veces de «observar» el Big Bang (o su resplandor residual) en la radiación cósmica de fondo, a pesar de saber (o creer) que los fotones solo dejaron de interferir con los electrones después de que el Universo se volviera transparente a los fotones, unos 300 000 años después del Big Bang. Massimo Pauri, Bas Van Fraassen y otros piensan que el Universo ni siquiera es una noción teórica aceptable,⁴⁸ pero algunos astrofísicos describen en sus libros de texto «cómo los

astrónomos observan el Universo». ⁴⁹

Consideremos, por ejemplo, los usos lingüísticos recogidos al azar en un solo artículo, dedicado al observatorio espacial Compton de rayos X y gamma (CGRO). ⁵⁰ Los autores escriben: «El objetivo de la misión del Compton consiste en llevar a cabo observaciones de banda ancha en rayos gamma con resolución angular mejorada...» (pág. 5). «El experimento de espectrometría de centelleo orientado (OSSE) está diseñado para realizar observaciones de fuentes astrofísicas en el abanico de 0,1 a 10 MeV» (pág. 6). Aquí se atribuye observación tanto al satélite Compton en su conjunto como a cada uno de sus instrumentos a bordo por separado, como el OSSE. A veces, en vez de observación, los autores hablan de detección, o incluso de visión: el experimento de estallido y fuente transitoria (BATSE) «ha detectado hasta ahora ocho fuentes transitorias de rayos X» (pág. 14). «Solo dos púlsares fueron vistos en rayos gamma» (pág. 8). Los instrumentos no solo «observan» y «ven», sino que incluso «descubren» y «estudian»: «en el curso de su revisión de todo el firmamento, el EGRET ha descubierto una nueva clase de fuentes de rayos gamma, los extremadamente luminosos quásares de rayos gamma» (pág. 9). «El estudio de los estallidos de rayos gamma es el primer objetivo del instrumento BATSE» (pág. 8). «Además de la distribución de los estallidos de rayos gamma, BATSE ha estudiado intensamente el espectro de los estallidos más brillantes» (pág. 9). «Los púlsares constituyen una clase de objetos que han sido estudiados por los cuatro instrumentos del Compton» (pág. 10).

Como ha señalado Torretti, «los físicos normalmente llaman observación directa muchas cosas que [...] deberían ser llamadas observación indirecta». ⁵¹ Los filósofos de la ciencia han de prestar atención a los usos lingüísticos de los científicos activos, pero no necesitan imitar sus expresiones imprecisas y apenas consistentes. Como señaló Jerry Fodor, «la epistemología naturalizada [...] no es meramente una disciplina sociolingüística». ⁵²

Análisis filosófico

No disponemos de una elucidación filosófica satisfactoria del concepto de observación que tenga plenamente en cuenta su carácter tecnológicamente mediado en la ciencia moderna.

¿Cuál es la diferencia entre la observación controlada y el experimento? Al menos desde John Stuart Mill, un experimento se caracteriza por nuestra capacidad de estimular y controlar la fuente de las señales. ⁵³ En un experimento, algunas de las variables independientes están bajo el control del experimentador, pero en la mera observación ningún parámetro de la fuente necesita estar bajo el control del observador, que a lo

sumo se limita a controlar y manipular su propio instrumento receptor. De acuerdo con Martin Harwit, la observación es el medio más pasivo de recogida de datos.⁵⁴ El observador se limita a recibir y analizar la información transmitida naturalmente por el sistema en estudio. El experimentador, por el contrario, estimula el sistema de un modo controlado para provocar respuestas observables. Un experimento de orden n es un experimento donde al experimentador se le permite cambiar n condiciones o parámetros del sistema en estudio. Un conjunto de observaciones constituye un experimento de orden 0. La observación es la forma más simple de experimento. Las nociones de Harwit son claras, pero quedan emborronadas por la jerga de astrofísicos menos cuidadosos que Harwit, que hablan de experimentos con neutrinos solares, y de físicos de partículas que hablan de experimentos de desintegración de protones, aunque solo controlamos algunos parámetros relevantes del receptor, pero ningún parámetro de la fuente de señales o del sistema en estudio.

John Stuart Mill nos advirtió de las falacias de la observación y, especialmente, de la diferencia entre la observación y la descripción de la observación. Estaba pensando sobre todo en la observación personal.⁵⁵ Más de tres siglos antes, Cristóbal Colón pensó que estaba viendo la India cuando llegó a América. En el siglo XIX, varios exploradores británicos (Richard Burton, John Speke y Samuel Baker) estaban buscando la fuente del Nilo y repetidamente informaron de haberla visto, cuando de hecho habían visto otra cosa, pues el Nilo carece de una fuente única. La advertencia de Mill es todavía más apropiada cuando la aplicamos a la observación tecnológicamente mediada. Desde 1894 hasta su muerte en 1916, Percival Lowell hizo repetidas «observaciones» de canales diseñados inteligentemente sobre el planeta Marte. Varios astrónomos de observatorios serios «observaron» también los canales. Más recientemente, el astrónomo Halton Arp ha creído estar observando galaxias con muy diferentes desplazamientos hacia el rojo en su espectro —y, sin embargo, físicamente conectadas— donde la mayoría de sus colegas solo admitían alineaciones aleatorias en la misma línea de visión de galaxias desconectadas.⁵⁶

Los filósofos han discutido mucho sobre la relación entre observación y teoría. Los empiristas lógicos pensaban que un abismo separaba los llamados “términos teóricos” y los “observacionales” en la ciencia. Autores posteriores señalaron que lo que sea observacional es relativo al estado presente de la tecnología, de modo que la distinción no es abrupta, sino gradual. En 1958, Norwood Hanson lanzó el cliché de la carga teórica de la observación, repetido hasta la exageración y la confusión.⁵⁷ Yo puedo observar tu nariz en un sentido en el que no puedo observar tu superego. Incluso suponiendo que pudiera decir que observo tu superego, esa observación estaría cargada de teoría en un sentido en el que no lo está la observación de tu nariz. Tener ojos (o manos) y hablar

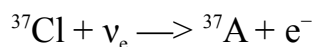
español basta para decir que observo tu nariz, pero no basta para observar tu superego; esto último requiere una gran dosis suplementaria de carga teórica psicoanalítica.

Como ha señalado Torretti, «el observador capta el objeto (directo o indirecto) como un caso particular de algún universal». ⁵⁸ Esto es lo que el hablante suele hacer. Hacking, Fodor y Van Fraassen, entre otros, han resistido la tendencia a emborronar la distinción entre observación y mera inferencia. Es cierto que «en la observación personal indirecta el observador debe hacer uso de su conocimiento previo a fin de obtener información sobre el objeto indirecto», pero con frecuencia ese conocimiento previo se refiere solo al instrumento de detección y no a la fuente, al objeto observado. Así, en años recientes, muchos estallidos de rayos gamma han sido detectados por los observatorios orbitales de rayos gamma, aunque nadie sabe con seguridad qué son ni de dónde vienen. Precisamente la observación de fenómenos inesperados e inexplicados ha constituido a veces el primer paso en el descubrimiento de nuevos aspectos de la realidad y en el desarrollo de nuevas teorías, como en el caso del descubrimiento de los rayos X por Wilhelm Röntgen o de la radioactividad por Antoine Becquerel.

Shapere sobre la observación

Dudley Shapere enfatizó la distinción entre el aspecto perceptivo de la observación y su papel evidencial como base de inferencias. «La ciencia ha venido excluyendo cada vez más a la percepción sensible de desempeñar un papel en la adquisición de evidencia observacional». ⁵⁹ Desde luego, la exclusión no puede ser completa. Si la cadena de interacciones físicas ha de tener un carácter observacional, tiene que acabar en una observación personal (como la lectura de un contador o la mirada a una pantalla).

En 1968, Raymond Davis inició su experimento para detectar neutrinos solares en un depósito subterráneo de tetracloroetano (C_2Cl_4), situado en una mina de oro abandonada en Homestake (Dakota del Sur). El isótopo estable más pesado de cloro es capaz de capturar neutrinos por la reacción de desintegración inversa:



Cuando un neutrino colisiona (muy raramente) con un átomo de cloro (^{37}Cl), este se transforma en argón radiactivo (^{37}A) detectable, que periódicamente es sacado y contado. En este experimento se esperaba solo detectar los neutrinos de alta energía (de más de 0,81 MeV) procedentes de una cadena lateral poco frecuente de la reacción de fusión del hidrógeno (los neutrinos de la reacción $^8\text{B} \longrightarrow ^8\text{Be} + e^+ + \nu_e$). Aunque la razón de la señal al ruido (la fuerza de la señal en proporción al ruido) es baja y las detecciones son indirectas y promediadas sobre un periodo de meses, los neutrinos fueron ciertamente detectados. Sin embargo, el resultado era algo embarazoso, pues el detector no distinguía

direcciones y el número de neutrinos de hecho detectados era solo un tercio de la cantidad prevista por los cálculos teóricos de John Bahcall.

Algunos físicos describieron lo que Davis estaba haciendo como una observación directa del núcleo del Sol. En parte motivado por este resultado, Shapere publicó en 1982 su influyente artículo sobre la observación. Desde luego, cualquier detección de neutrinos solares involucra a lo sumo observaciones impersonales o indirectas, pero él prefirió llamarlas observaciones directas. Esta es su definición explícita: «*x* es directamente observado si 1) la información es recibida por un receptor apropiado, y 2) la información es transmitida directamente, es decir, sin interferencia, desde la entidad *x* (la fuente de la información) al receptor».⁶⁰

Shapere basó su definición en el análisis de un único caso, el experimento de los neutrinos solares de Davis. Contrastó la transmisión sin interferencia y sin interacciones de los neutrinos producidos por fusión en el núcleo del Sol con la transmisión acompañada de interferencia de los fotones solares internos. Según él, el interior del Sol sería directamente observado mediante la detección de neutrinos solares, pues esos neutrinos no interaccionan en su ruta desde el núcleo del Sol hasta nosotros; pero no sería directamente observado mediante la detección de fotones formados en el núcleo del Sol, pues estos fotones sufren muchas interacciones en el curso de su largo viaje de salida a través del Sol. En el caso de los fotones solares, lo único que observamos directamente es la superficie solar. Esto parece más una distinción entre observación e inferencia que entre observación directa e indirecta, pero los autores son libres de elegir su terminología. Sin embargo, a posteriori comprobamos que la definición de Shapere tropieza con serias dificultades.

Dificultad 1: ¿llegan desde el núcleo del Sol los neutrinos detectados? Tenemos razones teóricas para suponer que es así, pero ¿lo observamos? No en el caso del experimento de Davis analizado por Shapere, pues este experimento no distingue direcciones. Solo después de 1987 el experimento Kamiokande II permitió distinguir la dirección desde la que llegaban los neutrinos. El mismo problema se plantea con la no direccionalidad de los rayos cósmicos. Detectamos las señales, pero no podemos localizar la fuente, al menos observacionalmente.

Dificultad 2: ¿nos llegan los neutrinos realmente sin interferencia? Shapere escribe: «Hay posibilidades acerca de lo que podría pasar a los neutrinos en su viaje desde el Sol que afectarían a su capacidad de transmitir información; [...] podrían oscilar entre diferentes estados mientras viajan desde el núcleo solar hasta la Tierra [...]. A pesar de que involucran una sola partícula, tales eventos [de oscilación de neutrinos] son tratados en la física actual como interacciones, al igual que las interacciones entre dos o más partículas. Por tanto, es necesario entender que el término “interferencia” en la segunda condición de mi análisis de la observación directa incluye los eventos de una sola

partícula aceptados (o considerados como posibilidades razonables) en la física».⁶¹ Detecciones posteriores realizadas en otros observatorios subterráneos de neutrinos, como el canadiense de Sudbury (en Ontario, activo entre 1999 y 2006) y el japonés Superkamiokande (en Gifu, activo desde 1983 hasta nuestros días), y cálculos más precisos han acabado de convencer a los especialistas sobre la realidad de la oscilación de los neutrinos. Si aceptamos este resultado y nos tomamos en serio la definición de Shapere, tenemos que concluir que la detección de los neutrinos solares no es un caso de observación directa, con lo que toda su distinción se viene abajo. Es cierto que él solo pretendía que su definición indicase condiciones suficientes, pero, si estas no se cumplen, nada se sigue de ellas.

Dificultad 3: es dudoso que la condición de no interferencia pueda cumplirse alguna vez. El análisis que hace Shapere de la observación se parece al análisis de la comunicación sin ruido en la teoría de la información, pero en el mundo real siempre hay algún ruido. Su análisis del experimento de Davis satisface la condición de no interferencia solo si se detiene en el momento en que los neutrinos llegan al depósito e ignora el resto de los pasos, en los que ocurren diversas interacciones y transformaciones de partículas (que él mismo describe), por no hablar de los detectores.

Dificultad 4: ¿son las condiciones mencionadas en la definición realmente suficientes? Esas condiciones caracterizan cierto tipo de transmisión de señales que puede tener lugar en ausencia de observador alguno (en sentido intuitivo). Cualquier cosa puede ser concebida como un transmisor y como un receptor de información. El mismo planeta Tierra es un receptor de información transmitida sin interferencia por los meteoritos, rayos cósmicos, radiaciones y ondas gravitacionales que recibe. ¿Está el planeta «observando» los eventos que producen dichas señales?

Shapere considera la propuesta de reforzar su definición añadiéndole una cláusula que de algún modo la conecte con usuarios humanos, pero la rechaza.⁶² Todo sistema observacional es un sistema físico, pero no tendría sentido considerar todo sistema físico o toda secuencia de eventos físicos como una observación. Un receptor propiamente dicho es un sistema físico diseñado por humanos para recibir señales de cierto tipo con la intención de satisfacer cierta función o finalidad. Cualquier caracterización de la observación desde la teoría de la información ha de tener en cuenta que las nociones de transmisor, receptor, canal, señal, etcétera, son todas relativas al contexto y a la intención del observador. «Su estatus es nocional y depende del proyecto epistémico que la observación esté dedicada a servir».⁶³

El papel del análisis computacional

No disponemos de un análisis satisfactorio de la observación tecnológicamente mediada.

Por ejemplo, ninguna de las definiciones propuestas da cuenta adecuada del papel esencial desempeñado por el procesamiento de los datos por la computadora o del manejo computacional del experimento entero, sus partes y sus etapas. Desde la detección de las señales hasta su almacenamiento, análisis, selección y registro de los datos, las computadoras como extensiones artificiales de nuestros cerebros (en cuanto «cerebros electrónicos») interaccionan con los detectores como extensiones artificiales de nuestros sentidos de multitud de maneras que están lejos de haber sido adecuadamente estudiadas.

En un típico colisionador de la física de partículas puede haber muchos cientos de miles de cables, cada uno de los cuales transmite información de la cámara de colisión a un sofisticado sistema computacional que, en primer lugar, ha de decidir si conservar y registrar el evento o, más bien, olvidarlo y borrar su huella. Puesto que solo un evento entre muchos millones es interesante y puesto que la máxima velocidad de registro es relativamente lenta (de unos cuantos eventos por segundo), estas «decisiones» electrónicas forman parte esencial del arte y la ciencia de la detección de partículas.⁶⁴ En el caso del LHC, y como ya señalamos, el sistema computacional abarca unos 170 centros de cálculo distribuidos en 36 países.

También en la observación astronómica el papel de las computadoras es cada vez mayor. En el Universo visible hay unos 50 000 millones de galaxias (según la extrapolación del sondeo de espacio profundo del telescopio espacial Hubble). El proyecto de Margaret Geller de mapearlas todas para finales del siglo XXI se basa no solo en la implementación de nuevos dispositivos de detección capaces de captar simultáneamente los espectros de múltiples puntos de luz (galaxias) en el telescopio, sino también en el diseño de programas de computación capaces de procesar todos esos espectros y números y de convertirlos en un mapa detallado del Universo.

Dependemos casi completamente de las computadoras para la recolección, análisis y exhibición de los datos, así como para gran parte de la modelización y la teoría. Dependemos cada vez más de los programadores especializados y de los grandes «paquetes» de programas. [...] Los sistemas altamente automatizados pueden probablemente pasar por alto los aspectos inesperados de los datos que podrían abrir la puerta a descubrimientos realmente importantes. [...] También hay el peligro de que los paquetes escritos por informáticos profesionales no hagan de hecho lo que los astrónomos piensan que están haciendo.⁶⁵

Los resultados del procesamiento computacional masivo de números no pueden ser entendidos en un sentido intuitivo. Como han subrayado William Kaufmann y Larry Smarr, han de ser sometidos a técnicas de visualización que desplieguen los datos numéricos en forma de imágenes que puedan ser directa y personalmente observadas, intuitivamente entendidas e intelectualmente «digeridas» por la mente/cerebro del observador.⁶⁶

Notas:

45. Torretti, R. «Observation», *The British Journal for the Philosophy of Science*, 37: 1-23, pág. 1, 1986.
46. Ibídem, pág. 2 y ss.
47. Hacking, I. *Representing and Intervening*. Cambridge University Press, Cambridge, págs. 194 y ss., 1983. Hay traducción en español: *Representar e intervenir*, Paidós, Barcelona, 1998.
48. Pauri, M. «The Universe as a Scientific Object», en E. Agazzi y A. Cordero, (eds.), *Philosophy and the Origin and Evolution of the Universe*. Kluwer, Dordrecht: págs. 291-339, 1991, y B. Van Fraassen «“World” Is Not a Count Noun» *Noûs*, 29: 139-157, 1995.
49. Smith, R.C. *Observational Astrophysics*. Cambridge University Press, Nueva York, pág. 3, 1995.
50. Publicado en el volumen *Frontiers of Space and Ground-Based Astronomy*, editado por W. Wamsteker, M. Longair y Y. Kondo, Kluwer, Dordrecht, 1994.
51. Torretti, R. «Observation» *The British Journal for the Philosophy of Science*, 37: 1-23, pág. 3, 1986.
52. Fodor, J. «Observation Reconsidered», *Philosophy of Science*, 51: 23-43, 1984. Reimpreso en J. Fodor, *A Theory of Content and Other Essays*, MA: MIT Press, Cambridge, págs. 231-251; especialmente, pág. 234, 1990.
53. Mill, J.S. *A System of Logic*. Londres, 1843.
54. Harwit, M. *Cosmic Discovery*, Basic Books, Nueva York, pág. 5, 1981.
55. Mill, J.S. *A System of Logic*. Londres, 1843.
56. Véase su versión de los hechos en: Arp, H., *Quasars, Redshifts and Controversies*. Interstellar Media: Berkeley, CA, 1987. Hay traducción en español: *Controversias sobre las distancias cósmicas y los cuásares*, Tusquets, Barcelona, 1992.
57. Hanson, N.R. *Patterns of Discovery*. Cambridge University Press, Cambridge, 1958. Hay traducción en español: *Patrones de descubrimiento*. Alianza Editorial, Madrid, 1985.
58. Torretti, R. «Observation» *The British Journal for the Philosophy of Science*, 37: 1-23, pág. 4, 1986.
59. Shapere, D. «The Concept of Observation in Science and Philosophy». *Philosophy of Science*, 49, pág. 508, 1982.
60. Ibídem, pág. 492.
61. Ibídem, pág. 499.
62. Ibídem, pág. 509.
63. Torretti, R. «Observation» *The British Journal for the Philosophy of Science*, 37: 1-23, pág. 17, 1986.
64. Lederman, L. y Schramm, D., *From Quarks to the Cosmos: Tools of Discovery*, Freeman/Scientific American Library, Nueva York, pág. 255, 1989.
65. Hills, R. «New Technologies for Astronomy», en: W. Wamsteker, M. Longair, y Y. Kondo, (eds.), *Frontiers of Space and Ground-Based Astronomy*, págs. 530, 1994.
66. Kaufmann III, W., y Smarr, L. *Supercomputing and the Transformation of Science*, Freeman/Scientific American Library, Nueva York, 1993.

12

Hurgando el nanomundo

El nanomundo

La mayor parte de las cosas que componen nuestro mundo cotidiano o macroscópico tienen orden de magnitud de un metro, es decir, miden alrededor de 1 metro (entre 10 cm y 10 m). En efecto, casi todas las cosas con las que interactuamos tienen ese tamaño: personas, caballos, árboles, lechugas, zapatos, bicicletas, coches, computadoras, televisores, teléfonos, muebles, libros, juguetes, guitarras, etcétera. Es un mundo observable a simple vista.

El micromundo incluye todas las células, desde las bacterias, que tienen un diámetro de alrededor de un micrómetro ($1\ \mu\text{m} = 10^{-6}\ \text{m}$, es decir, una milésima de milímetro), hasta las células vegetales (de unos $100\ \mu\text{m}$), pasando por los linfocitos y eritrocitos y, en general, las células animales (de unos 10 a $100\ \mu\text{m}$) y su núcleo (de $1\ \mu\text{m}$). Es un mundo todavía observable por el microscopio óptico, cuya resolución tiene su límite en los 200 nm ($= 0,2\ \mu\text{m}$).

El nanomundo es el mundo de las cosas que tienen un tamaño de aproximadamente un nanómetro ($1\ \text{nm} = 10^{-9}\ \text{m}$, es decir, una milésima de micrómetro) o unos pocos nanómetros. Es el mundo de las moléculas. En efecto, ese es el tamaño típico de las moléculas. Diez átomos de hidrógeno seguidos, o cuatro átomos más pesados alineados uno detrás de otro, ocupan un nanómetro. Ya en 1905, en su tesis doctoral, y a partir de datos experimentales sobre la difusión del azúcar en agua, Einstein midió el tamaño de una molécula de glucosa, que resultó ser de un nanómetro, aproximadamente.

El nanomundo es también el mundo de los virus, que típicamente tienen entre 20 nm (como el rinovirus) y 200 nm (como el virus Ébola). Los viriones del retrovirus del sida (HIV-1) tienen un diámetro de unos 110 nm y poseen entre 14 y 73 espículas en su cápside o membrana. El eventual contacto de estas espículas con los receptores de ciertos leucocitos pone en marcha el mecanismo de inyección del material genético del virus en esos leucocitos, lo que permite al virus secuestrarlos y usarlos para reproducirse.⁶⁷ Cada espícula tiene unos 14 nm de altura y un diámetro en la cabeza de unos 10 nm. Cada espícula está separada de la más próxima por unos 15 nm.

Para introducir orden en el difuso empleo de la palabra “nanotecnología”, la Oficina de Patentes y Marcas de Estados Unidos decidió en 2004 estandarizar su uso. Para que el invento de un aparato sea admitido como una patente en nanotecnología, se exige que al

menos una de sus dimensiones sea de entre 1 y 100 nm, y que ese minúsculo tamaño sea esencial para su función. Además del tamaño, también suele requerirse una cierta capacidad de manipulación y construcción.

Nanociencia y nanotecnología

La física clásica ha sido muy exitosa en su descripción del comportamiento de la materia a la escala de nuestra experiencia cotidiana (a la escala de un metro). La mecánica cuántica, y en especial el modelo estándar de la física de partículas, ha tenido gran éxito al describir el comportamiento de las partículas en los átomos y de los átomos en las moléculas. En el borde entre estas dos escalas se sitúa el nanomundo.

La nanociencia es la exploración del nanomundo. Los nanosistemas son ya lo suficientemente pequeños como para que los efectos cuánticos les afecten seriamente, pero todavía son demasiado grandes para poder aplicarles directamente las reglas cuánticas. Por este nanomundo pasa la frontera entre el extraño mundo cuántico —con su superposición de estados, su entrelazamiento (*entanglement*) de partículas y su no-localidad— y el familiar mundo clásico. No sabemos muy bien cómo funcionan ahí las cosas. Entendemos el comportamiento individual de los átomos, pero no cómo se comportan los complejos ensamblajes de muchos átomos y cómo emergen sus propiedades imprevistas. El nanomundo es el escenario de la emergencia. En este dominio se están descubriendo nuevos fenómenos y nuevas leyes, como la cuantización de la conductancia eléctrica o el flujo del calor en las nanoestructuras.

Desde el año 2000, la nanociencia y la nanotecnología —situadas en la intersección de la física del estado sólido, la química, la ingeniería y la biología molecular— han sido muy promocionadas por algunos gobiernos, como el de Estados Unidos. Desde luego, siempre vale la pena obtener conocimiento fundamental de la realidad a cualquier escala, incluida la nanoescala. Sin embargo, gran parte del interés y el bombo se han centrado en la nanotecnología propiamente dicha y en sus posibles (e incluso imposibles) aplicaciones futuras.

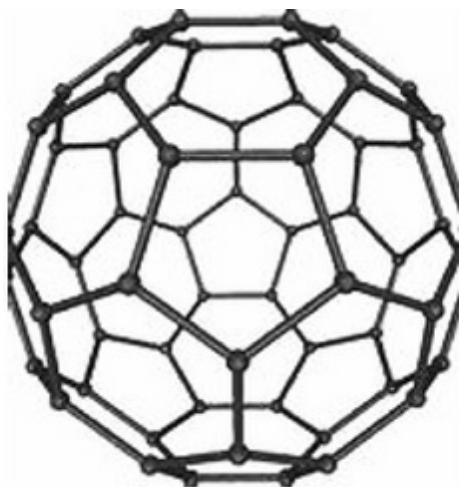
La nanotecnología se ocupa del diseño, construcción y control de los nanoaparatos (sistemas y dispositivos a nanoescala). Aunque el futuro de la investigación es imprevisible, como ya mostró Popper (véase el capítulo 16), se piensa que los principales campos de aplicación de la nanotecnología serán la biomedicina y las telecomunicaciones. En especial, se anticipa un gran incremento de la eficiencia de los dispositivos y una gran reducción de su tamaño y consumo de energía. Algunas aplicaciones ya están aquí, como los sensores para discos duros y los microscopios de efecto túnel (STM, *Scanning Tunneling Microscopes*). Actualmente se están investigando los nanocircuitos para microchips, quizá en forma de nanotubos (cilindros de grafito con propiedades eléctricas inusuales). Algunos expertos conjeturan que en veinte años la electrónica convencional

basada en el silicio será reemplazada por los nuevos dispositivos electrónicos nanotecnológicos.

Historia de la nanotecnología

Ya hemos señalado que en 1905 Einstein midió la longitud de una molécula de glucosa, que resultó ser de un nanómetro. En 1959, Richard Feynman impartió una conferencia titulada «There is plenty of room at the bottom» («Queda mucho sitio por abajo»). Sostenía que no son las leyes de la física lo que nos impide manipular átomos y moléculas individuales, sino nuestro tamaño grandullón. Los átomos y moléculas son demasiado pequeños para las herramientas disponibles. «Quiero hablar —dijo Feynman— del problema de la manipulación y el control de las cosas a pequeña escala». Describió cómo la totalidad del contenido de los 24 tomos de la *Encyclopaedia Britannica* de entonces podría ser inscrita en la cabeza de un alfiler e incluso cómo reproducir todos los libros del mundo en un panfleto de unas pocas páginas. Estas drásticas reducciones podrían llevarse a cabo como una simple reproducción gráfica de todo el contenido (texto, imágenes y demás) a escala minúscula pero sin pérdida alguna de resolución. Todavía podríamos reducir más. Si, en vez de reducir las imágenes, las codificásemos eficientemente, podríamos almacenar «toda la información que la humanidad ha acumulado en todos los libros del mundo en un cubo de material de un doscientosavo de pulgada [= 127 μm , algo así como una décima de milímetro] de anchura, que es el mínimo trozo de polvo que puede ser percibido por el ojo humano. Por tanto, ¡queda mucho sitio por abajo!» Declaró que «los principios de la física no excluyen la posibilidad de manipular las cosas átomo a átomo». De hecho, Feynman consideraba la manipulación atómica como «un desarrollo que no puede ser evitado».⁶⁸

En 1985 se descubrió una nueva forma del carbono (de hecho, una familia entera de nuevas formas). El primer miembro de esta familia y el más conocido es una molécula con nanoestructura esférica, compuesta por 60 átomos de carbono, como la que se muestra (muy ampliada, claro) en la siguiente figura, donde las bolitas de los vértices representan átomos de carbono.



Esta molécula de fórmula C_{60} se conoce también como “buckminsterfullereno” o simplemente “fulereno” o “fullereno”, en honor del ingeniero Buckminster Fuller, inventor de la cúpula geodésica, que patentó en 1954 como un modo de construir edificios ligeros y robustos. Ya en 1967, Fuller había diseñado para la Expo de Montreal una cúpula geodésica en la que usaba elementos hexagonales junto con alguno pentagonal para curvar la superficie. La molécula de fullereno es un asombroso conjunto de 60 átomos de carbono, todos ellos equivalentes, indistinguibles, cada uno enlazado a otros tres carbonos, como en el grafito, pero con una topología peculiar, formando parte de dos hexágonos y un pentágono que da lugar a una estructura cerrada. Buckminster Fuller no fue la única persona capaz de combinar sabiamente hexágonos y pentágonos para formar una esfera. Ya hacia el año 1500 Leonardo da Vinci y Alberto Durero (Albrecht Dürer) plasmaron en sendos dibujos la forma del icosaedro truncado, equivalente a la del fullereno. Y la forma del balón del fútbol profesional representa un cruce entre el icosaedro truncado y la esfera.

En 1986, Eric Drexler publicó su libro *Engines of Creation*,⁶⁹ que dio a conocer al gran público sus ideas futuristas sobre la fabricación de moléculas, destinada —según él— a revolucionar múltiples áreas tecnológicas, desde la medicina hasta la navegación espacial. Así como las células vivas producen moléculas orgánicas y orgánulos minúsculos pero eficientes, nosotros podríamos construir artificialmente todo tipo de minúsculos artilugios no vivos de escala nanométrica para satisfacer nuestras necesidades y deseos. El libro es visionario y fantasioso, pero también considera y trata de refutar las primeras objeciones técnicas a su propuesta, basadas en la incertidumbre cuántica y las vibraciones térmicas. En esta obra, para referirse a la fabricación o manipulación de moléculas de unos pocos nanómetros, Drexler popularizó el término “nanotecnología”, que ya había sido usado antes por el japonés Norio Taniguchi. También mencionó la amenaza que supondría la multiplicación desaforada de ciertos nanorrobots

autorreplicantes y el peligro de convertir el mundo entero en una papilla gris, idea que tuvo gran eco en la imaginación popular, aunque fue criticada por los científicos y luego retirada por el mismo Drexler. De todos modos, todavía en 2013 seguía propagando el carácter de panacea de la nanotecnología.⁷⁰

En 1991 se descubrieron los nanotubos de carbono. Sumio Iijima inventó un proceso para fabricar agujas de carbono grafitico de entre 4 y 30 nm de diámetro y 1 μm de longitud.⁷¹ Estos nanotubos constan de múltiples capas de grafito enrolladas para formar tubos huecos. Los primeros nanotubos de una sola capa (SWNT) fueron fabricados en 1993. Se espera que los nanotubos, como los fulerenos y otras nanoestructuras, conduzcan al desarrollo y la manufactura de nuevos materiales.

La nanofactoría más exitosa es la célula. Desde luego, la célula eucariota, con un diámetro de 10 000 a 100 000 nm (es decir, de 10 a 100 μm) es demasiado grande para la nanoescala, que se limita a los objetos de unos pocos nanómetros de tamaño. Incluso la mucho menor célula procariota, como una bacteria, con un diámetro típico de entre 200 y 2000 nanómetros, se queda fuera. Sin embargo, las células están repletas de nanomáquinas (sus diversos orgánulos), como los ribosomas, que sintetizan las proteínas en todas las células; los motores rotatorios de los flagelos de las bacterias; las mitocondrias de la célula eucariota y los cloroplastos de la célula vegetal. Las células mismas son tinglados autorreproductores de tales nanomáquinas.

La confluencia de la nanotecnología con la biología molecular y la ingeniería genética nos ofrecerá oportunidades y riesgos inéditos. Confrontados a esos retos, tendremos que calcular bien los costes y beneficios de los cursos de acción alternativos, como, por ejemplo, ensamblar los tejidos y órganos a partir de los átomos o más bien generarlos a partir de células madre.

Los promotores de la nanotecnología confían en sus futuras aplicaciones biomédicas, de las que esperan un notable progreso en el diagnóstico y el tratamiento automáticos de las enfermedades. Podrían usarse nanosensores minúsculos para estudiar las células. Podrían ensamblarse andamios que proporcionaran soporte y guía al crecimiento óseo. Los tumores cancerosos se podrían detectar en sus inicios, cuando solo constan de unas pocas células. Los dendrímeros (moléculas ramificadas de simetría esférica) orgánicos podrían conducir los fármacos exclusivamente a las células o tejidos que necesitan ese tratamiento. También se espera una aceleración de la secuenciación de los genomas. Los nanocristales semiconductores llamados “puntos cuánticos” podrían posibilitar el análisis rapidísimo de las secuencias de DNA presentes en una célula o un tejido, etiquetando los genes o las secuencias de interés en cada caso. Y los ya mencionados dendrímeros podrían transportar a las células afectadas el DNA adecuado para su terapia génica.

Dinero público para la nanotecnología

En el año 2000, el presidente Bill Clinton anunció en el Instituto Tecnológico de California la determinación del gobierno estadounidense de fomentar y financiar la investigación en el campo de la nanotecnología, que le parecía especialmente prometedor. En 2001, se puso en marcha la National Nanotechnology Initiative (NNI). En septiembre de ese mismo año se publicó un número extraordinario de *Scientific American* dedicado a la nanotecnología. El tema se había puesto de moda y había una decidida voluntad gubernamental de gastar mucho dinero en promoverlo.

En 2002, se celebró en Lecce, Italia, un simposio sobre nanotecnología organizado conjuntamente por el Secretariado de Investigación de la Comisión Europea y la Fundación Nacional de la Ciencia de Estados Unidos. Cuando recibí la invitación a impartir una conferencia sobre «Ethical Implications of Nanotechnology», primero la rechacé, aduciendo que yo no sabía nada sobre el asunto, pero desde Bruselas me tranquilizaron, diciendo que nadie sabía nada sobre el tema, así que acabé aceptando.

Los políticos, que regateaban la financiación de otras áreas científicas, estaban decididos a conceder a la investigación en nanotecnología mucho más dinero del que solicitaban los mismos investigadores. La decisión de la administración Clinton fue mantenida por Bush, más bien proclive a recortar las otras partidas. Lo mismo ocurrió en la Unión Europea y en Japón. Desde luego, las decisiones políticas en ciencia no siempre son acertadas. Un caso flagrante ocurrió en 1993, cuando el Congreso de Estados Unidos canceló la construcción del SSC (*Superconducting Super Collider*), un gran acelerador de partículas que habría alcanzado energías de 40 TeV (en comparación con los 14 TeV del actual acelerador LHC del CERN en Ginebra), a pesar de que ya se habían construido 23 kilómetros de túnel bajo el suelo de Texas y de que ya se habían gastado 2000 millones de dólares en el proyecto. Había otro proyecto caro a debate, el de la Estación Espacial Internacional (ISS). Los físicos se prometían grandes avances del SSC, mientras que la ISS parecía un mero ejercicio de relaciones públicas, del que no era esperable descubrimiento alguno, aunque al final ha servido de soporte al Alpha Magnetic Spectrometer (AMS), un experimento que trata de detectar materia oscura. Como el presupuesto no daba para ambos proyectos a la vez, había que elegir. Increíblemente, el Congreso decidió cancelar el SSC y seguir adelante con la estación espacial.

En los seis años siguientes al lanzamiento de la iniciativa nacional de nanotecnología (NNI), el gasto en investigación nanotecnológica se ha más que triplicado. He aquí un resumen de las sumas anuales gastadas en este sector en Estados Unidos a través de la Fundación Nacional de la Ciencia (NSF), el Departamento de Defensa (DOD) y el Departamento de Energía (DOE):

2001: 464 millones de dólares

2002: 604 millones de dólares

2003: 774 millones de dólares

2004: 847 millones de dólares
2005: 1200 millones de dólares
2006: 1303 millones de dólares
2007: 1500 millones de dólares

En 2006 la investigación nanotecnológica ya estaba en marcha en muchos países. Desde octubre de ese año, una nueva revista del grupo Nature, *Nature Nanotechnology*, empezó a publicarse para dar salida a sus resultados. De todos modos, según una encuesta efectuada en Gran Bretaña, aunque el 80% de la población no sabía lo que era la nanotecnología, más de la mitad estaba a favor o en contra por sus presuntas esperanzas o peligros.

Esperanzas ilusorias y peligros imaginarios

Todas las tecnologías presentan oportunidades de buen uso y riesgos de ser mal empleadas. En el caso de la nanotecnología, lo importante es enfocar el análisis de sus costes y beneficios hacia las oportunidades reales y problemas suscitados por sus avances y dejar de lado los pseudoproblemas y pseudoesperanzas basados en la ciencia ficción.

Entre las pseudoesperanzas basadas en la ciencia ficción se encuentra el sueño de un nanosubmarino que navegue por los vasos sanguíneos buscando y destruyendo los coágulos de sangre, desbloqueando así las arterias. También hay que mencionar la fantasía de Drexler del nanoensamblador, un artefacto constructor minúsculo de amplio espectro, que podría construir casi cualquier cosa, incluyendo copias de sí mismo, ensamblándolas átomo a átomo. Drexler esperaba que este nanoensamblador resolvería los problemas más acuciantes de la humanidad, desde la pobreza del Tercer Mundo hasta el cambio climático.

Las ilustraciones de nanosubmarinos parecen implausibles a la mirada científica. Esas imágenes presuponen que la ingeniería que aplicamos a escalas macroscópicas pueda ser simplemente reducida a la nanoescala. Pero la física es muy distinta a tales dimensiones. Las ingenuas visiones de ciencia ficción sobre submarinos arteriales suponen que el nanomundo es idéntico al mundo clásico, solo que más pequeño. Sin embargo, los diseños que funcionan bien en nuestro mundo macroscópico funcionarán cada vez peor conforme los vamos reduciendo de tamaño.

El nanosubmarino operaría en un entorno muy diferente al del submarino macroscópico que conocemos. La primera diferencia se refiere al número de Reynolds, que se usa en la mecánica de fluidos para medir la razón de las fuerzas inerciales a la viscosidad. Se trata de una cantidad proporcional a la razón del producto del tamaño por la velocidad del flujo a la viscosidad. Los objetos minúsculos tienen menor número de Reynolds, lo que implica mayor viscosidad y, por tanto, mayor resistencia al movimiento.

La segunda diferencia consiste en que, por efecto de su movimiento browniano, las moléculas del fluido golpearán continuamente contra el nanosubmarino, sacudiéndolo en todas las direcciones y provocando el doblamiento aleatorio de sus piezas internas. La tercera diferencia estriba en la gran fortaleza de las fuerzas de superficie en la nanoescala, que probablemente conducirían a que el nanosubmarino quedase como pegado a la primera superficie con la que topase. Por tanto, sería muy improbable que el nanosubmarino pudiese funcionar y navegar por el fluido sanguíneo a temperatura normal.

Otro sueño fantasioso y otra fatua esperanza involucran la crionización o criopreservación del cadáver del recién fallecido (es decir, la preservación a muy bajas temperaturas, por ejemplo, en un recipiente aislado de nitrógeno líquido), a fin de resucitarlo en una época futura en que la medicina esté más avanzada. El problema es que el proceso destruye las membranas de las células. Sin embargo, en el futuro, la destrucción sería reparada por un ejército de nanorrobots que repararían simultáneamente todas las células (hay millones de millones de ellas), permitiendo así la resurrección. Esos mismos nanorrobots, además de resucitar los cadáveres crionizados, podrían eliminar el envejecimiento, reparando las células deterioradas.

Un nanorrobot sería un robot cuyas piezas tendrían el tamaño aproximado de un nanómetro, una minúscula máquina capaz de realizar varias tareas, incluida la de autorreplicarse y producir otro nanorrobot igual aprovechando los materiales del entorno. Entre los pseudopeligros asociados por cierta cultura popular con la nanotecnología destaca la papilla gris (*grey goo*) en que podría convertirse nuestro planeta por efecto de la proliferación descontrolada de los nanorrobots ensambladores autorreplicantes. Multitud de estos nanorrobots se multiplicarían exponencialmente. Un tal autoensamblador produciría primero una copia de sí mismo; los dos ensambladores darían luego lugar a 4, 8, 16, 32, 64, 128... Pronto serían miles de millones y consumirían toda la masa de la Tierra para su autoconstrucción; el mundo que conocemos desaparecería y quedaría reducido a una papilla terminal de nanorrobots achatarrados. Esta visión apocalíptica de la presunta amenaza de los nanorrobots autorreplicantes fue introducida en 1986 por Eric Drexler en su ya mencionado libro *Engines of Creation*. Tal amenaza no se va a materializar, pues los nanorrobots autorreplicantes están excluidos por razones de física fundamental. De hecho, el mismo Drexler se ha distanciado desde entonces de la idea de la papilla gris, que, sin embargo, persiste en cierto imaginario alarmista.

Desde luego, el desarrollo futuro de la nanotecnología puede asociarse con el cumplimiento de esperanzas realistas, como la reducción del consumo de energía o el progreso en la computación y la biomedicina. En cualquier caso, el desarrollo de la nanotecnología está ligado al avance de la nanociencia. El crecimiento esperado del

conocimiento puro acerca de las minúsculas estructuras que se dan en el borde entre el mundo clásico y el cuántico es por sí mismo una meta teórica de gran interés intelectual y una probable fuente de aplicaciones tecnológicas novedosas.

Neutralidad ética de la nanotecnología

El desarrollo y la promoción inicial de la nanotecnología dieron lugar a entusiasmos y alarmas igualmente fuera de lugar. Llegó a decirse tanto que iba a traer la solución de todos los problemas humanos como que iba a provocar el fin del mundo. En cualquier caso, enseguida se desató una discusión confusa y mal informada sobre los presuntos aspectos morales de la nanotecnología. Hay que destacar que, desde el principio, más del 5% del presupuesto de la National Technology Initiative se dedica a estudiar los aspectos éticos y sociales de la nanotecnología y su repercusión en el medio ambiente, la salud y la seguridad. En esto se parece al Proyecto Genoma Humano, cuyos críticos potenciales fueron también acallados con la cornucopia del 5% de su presupuesto para estudios éticos y sociales. El 5% de una cantidad enorme de dinero sigue siendo mucho dinero; en cualquier caso, bastante más del que los moralistas están acostumbrados a recibir.

La mayoría de los problemas éticos planteados por la nanotecnología están inextricablemente entrelazados con los de la biología y la biotecnología. Pensemos en el dilema bioético entre tratar de prolongar la vida a toda costa y tratar de vivir con naturalidad, dejando que la vida termine cuando le llegue su hora. Actualmente, en muchos países, una enorme cantidad de sufrimiento innecesario y más del 50% de todos los gastos sanitarios se generan durante el último año de la vida de las personas, debido al intervencionismo exagerado y al ensañamiento terapéutico.

Nosotros, los agentes, podemos a veces ser evaluados como buenos o malos desde un punto de vista ético, y también nuestras acciones e intenciones. Si tenemos buenas o malas intenciones, como la intención de ayudar o de matar a nuestro vecino, podemos hacer uso de instrumentos y técnicas para llevar a cabo nuestros planes. Ya la tecnología lítica de la Edad de Piedra producía hachas de piedra (bifaces) que servían, además de para cortar y trocear, para descalabrar al vecino. La tecnología siderúrgica de la Edad del Hierro condujo a la fabricación de aperos agrícolas, como el arado, pero también a la de armas mortíferas, como las espadas. La dinamita inventada por Alfred Nobel fue aplicada a la construcción de carreteras, pero también a su destrucción mediante bombas. La tecnología del vuelo puede usarse para llevar pasajeros a su destino, pero también para actos terroristas como la destrucción de las Torres Gemelas de Nueva York en 2001. Las tecnologías no son buenas ni malas en sí mismas; todo depende de para qué las usemos. Incluso nuestras capacidades e instrumentos naturales, como las manos o los dientes, pueden ser empleados para todo tipo de acciones tanto buenas como malas. Podemos usar nuestras manos para saludar y acariciar, pero también para dar puñetazos

o estrangular. Quizá alguna técnica muy especial (como las minas antipersonas o incluso las armas de fuego en general) solo tengan malas aplicaciones, pero la gran mayoría de las tecnologías, incluyendo la nanotecnología, son éticamente neutrales.

El aprendiz de brujo

La prevista convergencia de la nanotecnología con la biología molecular puede conducir a un futuro lleno de inquietantes perspectivas, problemas inéditos y dilemas éticos para los que carecemos de intuiciones morales compartidas. Imaginemos, por ejemplo, que fuéramos capaces de revertir los mecanismos moleculares que conducen a la muerte y que pudiéramos generar una raza de inmortales. Habría que dejar de reproducirse para acomodarlos. La humanidad se convertiría en una única generación de gente increíblemente vieja, envejeciendo cada vez más, sin límite. ¿Sería tal cosa deseable? ¿Y deseable para quién o para qué?

Nuestro conocimiento del cerebro es aún muy primitivo. Es posible que en los próximos años la nanotecnología progrese más deprisa que la neurología. Pero si la neurología llega alguna vez a desentrañar la estructura fina de los mecanismos neurales que subyacen a las emociones, al placer y al dolor, el aprendizaje, el lenguaje y el pensamiento, entonces se abrirán nuevas y fascinantes posibilidades de aplicaciones nanotecnológicas. Por ejemplo, ahora tenemos que desplegar conductas complejas a fin de obtener ciertos placeres. Quizá un nanodisparador colocado en el centro de placer adecuado nos podría proporcionar ese placer con solo desearlo, ahorrándonos así las correspondientes y a veces extenuantes prácticas que lo inducen. Pero, incluso si fuera posible, ¿sería ello deseable?

Junto a la evolución por selección natural, hace tiempo que los humanos hemos experimentado con la producción de nuevas variedades de organismos por selección artificial. En principio, no veo objeción alguna a esta ingeniería genética mientras no involucre sufrimiento animal, ni daño a la biosfera ni peligro para la salud humana. Hay que evitar el dolor innecesario, tenemos que preservar la naturaleza salvaje y la biodiversidad de nuestro planeta y debemos cuidar nuestra salud. Pero, incluso respetando estas restricciones, todavía queda mucho campo para la experimentación y la novedad. Desde la domesticación de ciertos animales y plantas en el Neolítico hasta el actual desarrollo de la genómica y el futuro de la nanotecnología, la posibilidad de hurgar en los mecanismos reguladores de las células no hará más que crecer. Deberíamos atrevernos a pensar lo «impensable», a considerar todas las posibilidades y a correr ciertos riesgos para obtener beneficios mayores. Cometeremos errores, sin duda; lo importante será aprender de ellos y crecer en sabiduría. Estamos emprendiendo el arduo camino del aprendiz de brujo. Espero que seamos capaces de recorrerlo manteniendo los ojos abiertos y la mente serena, despiertos y con ganas de aprender.

Notas:

- [67.](#) Zhu, P. *et al.*, *Nature*, vol. 441, págs. 847-852, 2006.
- [68.](#) El texto de la conferencia de Feynman puede leerse, por ejemplo, en el sitio web <http://www.zyvex.com/nanotech/feynman.html>
- [69.](#) Publicado en español como *La nanotecnología: el surgimiento de las máquinas de creación*, Gedisa, Barcelona, 1993.
- [70.](#) Drexler, E., *Radical Abundance: How a Revolution in Nanotechnology Will Change Civilization*, Public Affairs Books, 2013.
- [71.](#) Iijima, S., «Helical micro-tubules of graphitic carbon», *Nature*, 345, 56-58, 1991.

El principio antrópico en cosmología

El «principio antrópico» es un presunto principio que trata de explicar las propiedades y parámetros de la física y la cosmología en función de la existencia humana. Se propugna como una versión actualizada del rancio antropocentrismo tradicional. El adjetivo “antrópico” procede del griego *ánthrōpos* (humán).

La tradición religiosa judía, cristiana e islámica nos legó una visión del mundo completamente antropocéntrica y teleológica. En la Edad Media el Universo se concebía como un gran teatro, en cuyo centro, como un escenario, estaba la Tierra. Allí actuaban los seres humanos bajo la atenta mirada de Dios, los ángeles y el resto de la corte celestial, que desde la esfera de las estrellas fijas observaban el espectáculo y se preocupaban por nosotros. Podíamos ser pecadores, pero lo que no cabía duda es que éramos los protagonistas del drama cósmico. Toda esta visión del mundo se vino abajo como resultado de la revolución científica. Copérnico degradó la Tierra de su condición de centro del Universo a la de mero planeta del Sol, considerado a su vez por Bruno como una estrella cualquiera en la inmensidad del firmamento. Todavía en 1920 la mayoría de los astrónomos dudaban que existiesen otras galaxias aparte de la nuestra, como se puso de manifiesto en la confrontación pública entre Harlow Shapley y Heber Curtis en la reunión de ese año de la National Academy of Sciences en Washington. Desde entonces hemos aprendido que nuestra galaxia es meramente una más entre los muchos miles de millones de galaxias del Universo observable. La isotropía inferida de la radiación cósmica de fondo es la negación más radical de cualquier tipo de antropocentrismo. Como señaló Joel Primack, el hecho de que la mayor parte de la materia del Universo parezca ser materia oscura, materia de un tipo distinto del que conocemos «constituye la revolución copernicana más definitiva. [...] No solo la Tierra ya no ocupa el centro del Universo, es que ni siquiera está hecha del material predominante».⁷² Es típica de la comunidad científica la conclusión de Steven Weinberg: «Nada de lo que los científicos han descubierto me sugiere que los seres humanos tengan algún lugar especial en las leyes de la física o en las condiciones iniciales del Universo».⁷³ La noción de teleología también ha desaparecido de la biología moderna, como consecuencia de la revolución darwinista y del desarrollo de la biología molecular.

Historia del principio antrópico

La numerología es el recurso a factores oscuros o tomados por los pelos para explicar coincidencias numéricas. En las décadas de 1920 y 1930 varios físicos ingleses eminentes se embarcaron en especulaciones numerológicas. Arthur Eddington calculó el número de protones y neutrones en el Universo (el número de Eddington, N) y encontró que era de unos 10^{79} . Se dio cuenta de la coincidencia entre $\sqrt{N} \approx 10^{39}$ y la razón de la fuerza electromagnética a la gravitacional entre un protón y un electrón: $e^2/Gm_em_p \approx 10^{39}$ (donde e es la carga eléctrica del protón, G es la constante gravitacional de Newton, m_e es la masa del electrón y m_p la del protón). También trató de explicar el valor de la constante de estructura fina $\alpha = e^2/\hbar c$ (donde $\hbar$ es la constante de Planck reducida $= h/2\pi$ y c la velocidad de la luz) mediante razonamientos numerológicos que no convencían a los otros físicos. En los años treinta, Edward Milne desarrolló una «teoría cinemática de la relatividad», basada en ideas filosóficas tales como el principio cosmológico. Defendió la idea de que las «constantes» de la física, como la constante gravitacional G , van cambiando de valor durante la evolución del Universo. Estas predicciones resultaron ser infundadas,⁷⁴ lo mismo que la teoría cinemática de la relatividad.

Tras haber hecho contribuciones decisivas al desarrollo de la mecánica cuántica, Paul Dirac también se dejó llevar en 1937 por la especulación numerológica. Ya hemos mencionado que la razón de la atracción electrostática a la fuerza gravitacional entre el protón central y el electrón orbital en un átomo de hidrógeno es $\approx 10^{39}$. Dirac encontró otras combinaciones de constantes fundamentales con un valor parecido. Si tomamos como unidad de tiempo lo que tarda la luz en atravesar una distancia igual al diámetro clásico del electrón, la edad actual del Universo (estimada por entonces en solo unos 2000 millones de años) sería de unas $6 \cdot 10^{39}$ de esas unidades. Por tanto, de nuevo nos topamos con el orden de magnitud 10^{39} . Dirac sugirió que esta coincidencia debería ser explicada por alguna conexión profunda entre las constantes fundamentales y la edad del Universo. Puesto que la edad del Universo se incrementa con el tiempo, las constantes fundamentales de la física también deberían cambiar con el tiempo a fin de mantener tal conexión. En especial, el valor de la constante gravitacional G debería disminuir con el tiempo. Harto de tales especulaciones. Herbert Dingle comentó:

Esta combinación de parálisis de la razón con intoxicación de la fantasía aparece todavía con más fuerza, si cabe, en la carta del Prof. Dirac a *Nature*... en la cual también él parece haber caído víctima de la gran universo-manía... Milne y Dirac... se lanzan de cabeza a un océano de «principios» de su propia cosecha... En gran medida se ha perdido el criterio para distinguir el sentido del sinsentido.⁷⁵

En 1961, Robert Dicke publicó en *Nature* un corto artículo titulado «Dirac's cosmology and Mach's principle». Dicke rechazó la especulación de Dirac acerca del cambio de G con el tiempo y encontró una explicación más simple de la edad del Universo en el efecto de selección (entre los diversos valores posibles de las constantes) que tiene el hecho de que nosotros, los humanos, estemos aquí. Por tanto, el tiempo T transcurrido desde el

Big Bang (la edad del Universo) «no es una “elección aleatoria” entre una amplia variedad de elecciones posibles, sino que está limitado por los criterios para la existencia de físicos». Los valores de T están constreñidos por el requerimiento de que «el Universo y, por tanto, las galaxias, sean lo suficientemente viejos como para que existan elementos distintos del hidrógeno. Como es bien sabido, se requiere carbono para hacer físicos». Dirac publicó una corta réplica a Dicke, diciendo que el análisis de Dicke era correcto, pero que él (Dirac) prefería su propio argumento, porque permitía la posibilidad de que algunos planetas «pudieran existir indefinidamente en el futuro y que la vida nunca se acabase». Dicke era un hombre práctico, más interesado por la observación que por la especulación. Tras su artículo de 1961 no volvió a ocuparse del principio antrópico ni a mostrar interés alguno en el asunto.

El carbono del que hablaba Dicke se produce por fusión nuclear del helio en el interior de las estrellas gigantes rojas. Este proceso dura entre miles de millones de años (en las estrellas más pequeñas) y unos pocos millones de años (en las más grandes), tras lo cual la estrella puede eyectar sus capas exteriores o estallar como una supernova, dispersando los elementos recién formados por el espacio, donde eventualmente podrían pasar a formar parte de un planeta apto para el desarrollo de la vida. Por tanto, para ser capaz de producir vida basada en el carbono, el Universo debe tener una edad de al menos varios millones de años. Por otro lado, tampoco puede ser demasiado viejo (tener una edad de, digamos, más de 10^{12} años), porque, si lo fuera, todos los procesos estelares ya habrían concluido y ya no habría el tipo de radiación capaz de sostener la vida. Esta es la razón de la coincidencia señalada por Dirac y no hay necesidad de postular una constante gravitacional variable. En cualquier caso, la «predicción» es extremadamente vaga y el abanico de tiempos compatibles con la existencia de átomos de carbono o de planetas es también muy amplio: desde unos pocos millones hasta cientos de miles de millones de años.

En 1973, C. Collins y Stephen Hawking señalaron que la mayoría de las combinaciones de condiciones iniciales posibles no habrían dado lugar a un Universo tan isotrópico ni tan plano como el que observamos. Tratando de explicar que el Universo resultase ser así y no de otro modo, apelaron al principio antrópico fuerte para explicarlo. Empezando con la tesis de que las galaxias y estrellas son necesarias para la vida, arguyeron que un Universo que empezase con demasiada energía gravitacional recolapsaría antes de poder formar estrellas, mientras que un Universo que empezase con demasiada poca energía gravitacional nunca permitiría la condensación gravitacional de galaxias y estrellas. (Adviértase que las galaxias aguantan todo el peso del argumento, que no depende para nada del comentario de que son indicadores de vida.) Así, de los muchos valores iniciales posibles de Ω (la razón de la densidad promedia actual del Universo a la densidad crítica), solo un valor inicial de casi exactamente 1 habría

producido un Universo en el que pudiéramos haber existido nosotros. Esto explicaría por qué Ω tiene un valor tan cercano a 1.

En 1974, Brandon Carter publicó el artículo «Large number coincidences and the anthropic principle in cosmology», en el que presentaba por escrito ideas que ya antes había expuesto oralmente. Carter bautizó el tipo de razonamiento presente en el citado artículo de Dicke como el “principio antrópico”, del que distinguió dos versiones, la débil y la fuerte. El principio antrópico débil dice que «lo que podemos esperar observar debe estar restringido por las condiciones necesarias para nuestra presencia como observadores». Esta versión verdadera pero trivial es muy distinta del principio antrópico fuerte, que dice que «el Universo (y, por tanto, los parámetros fundamentales de los que depende) debe ser tal que admita la creación de observadores dentro de él en alguna etapa». Otros han formulado el principio antrópico fuerte diciendo que es una ley de la naturaleza que la vida inteligente tiene que desarrollarse. El principio antrópico fuerte siempre se presenta como algo extremadamente especulativo y es rechazado por casi todos los cosmólogos.

En 1979, Bernard Carr y Martin Rees ofrecieron una lista de presuntas «coincidencias cósmicas», relaciones numéricas entre magnitudes físicas que, si cambiasen (dejando todo el resto de la estructura teórica sin variación alguna), harían imposible la vida basada en el carbono. Carr (1982) y otros empezaron a hablar de ajuste fino (*fine tuning*) de las constantes físicas para hacer posible la vida.

Todos estos desarrollos especulativos culminaron en 1986 con la publicación del libro de John Barrow y Frank Tipler, *The Anthropic Cosmological Principle*. Esta obra trazaba la historia de las ideas teleológicas y presentaba un catálogo de las aplicaciones del principio antrópico para explicar una multiplicidad de supuestas coincidencias en las condiciones iniciales del Universo y en las constantes fundamentales de la física. Por ejemplo, la intensidad de las fuerzas fundamentales de la naturaleza (gravitación, electromagnetismo, interacción débil e interacción nuclear fuerte), dada por sus correspondientes constantes de estructura fina (números sin dimensiones que son cocientes de constantes fundamentales, como c , h , G , e , m_p , m_e), está tan bien proporcionada y finamente ajustada, que cualquier cambio en sus valores o ratios haría la vida imposible.

La recepción del libro por la comunidad científica fue bastante negativa. En su recensión en *Nature* (1986) el astrofísico William Press incluso denunció que «aquí hay una deshonestidad intelectual fundamental». Sin embargo, el libro popularizó el principio antrópico, que pronto encontró cabida en los libros de divulgación científica e incluso (aunque de forma vacua y redundante) en algunos artículos científicos serios. Algunos físicos muy competentes, como John A. Wheeler, Stephen Hawking, Martin Rees, Steven Weinberg y Alex Vilenkin en algún momento han apelado al principio antrópico

como un recurso desesperado para salir de sus dificultades. Rees lleva más de veinte años promoviendo el principio antrópico en numerosos libros de divulgación. Desde 1987, Weinberg ha tratado de acotar «antrópicamente» el valor de la constante cosmológica. En 1990, Shaposhnikov y Tkachev trataron de estimar la masa del bosón de Higgs mediante consideraciones antrópicas. En 1998, Hawking y Neil Turok usaron la función de onda del Universo de Hawking-Hartle, junto con el principio antrópico, como un medio para obtener un Universo abierto en un escenario inflacionario en sentido amplio (sin falso vacío). Poco después, las nuevas mediciones de distancias a supernovas parecieron favorecer de nuevo un Universo plano. En 2000, Turok ya había abandonado el principio antrópico y no pensaba volver a tomarlo en consideración.⁷⁶ Muchos físicos sienten vergüenza ajena por la introducción de estos modos tan zafios de razonamiento en la ciencia. Como ha comentado Peter Mittelstaedt, el principio antrópico no plantea un problema a la filosofía de la ciencia, sino a la psicología de la ciencia: ¿cómo explicar que físicos competentes hayan podido tomar en serio un razonamiento tan endeble?

Coincidencias cósmicas y ajuste fino

Ya hemos señalado el papel de las especulaciones numerológicas de Eddington, Milne y Dirac en el origen del pensamiento «antrópico». El número de neuronas en nuestro cerebro parece ser del mismo orden de magnitud que el número de estrellas en nuestra galaxia, alrededor de 10^{11} . ¿Y qué? El numerologista sería proclive a buscar designios ocultos detrás de esta inofensiva coincidencia.

Consideremos cualquier número de constantes fundamentales de la física, por ejemplo, las siguientes seis: la constante gravitacional, la velocidad de la luz, la constante de Planck, la carga eléctrica del electrón, la masa en reposo del protón y la masa en reposo del electrón (G , c , h , e , m_p , m_e). Consideremos un espacio 6-dimensional, cada una de cuyas seis dimensiones coincide con el conjunto de todos los valores posibles de una de esas seis constantes. Cada vector o punto de ese espacio representa una combinación posible de valores para las constantes consideradas o, si se prefiere, cada punto representa un universo (lógicamente) posible. En la mayoría de esos universos posibles no habría galaxias, ni estrellas duraderas de la secuencia principal, ni vida, ni inteligencia, ni científicos. Solo en un pequeño subconjunto de universos posibles pueden existir todas estas cosas. Las especulaciones antrópicas con frecuencia recalcan que la mayoría de los universos posibles serían incompatibles con la vida. De ahí infieren que es una coincidencia misteriosa que las constantes de nuestro Universo tengan valores compatibles con la vida. Finalmente postulan algún tipo de ajuste fino de los valores para explicarlo. Por ejemplo, si la carga eléctrica del protón hubiera sido diferente (en valor absoluto) que la del electrón, no podría haber objetos estables. Cada dos átomos se repelerían, cada estrella, planeta u organismo estallaría. «Si modificamos el valor de una

de las constantes fundamentales, algo invariablemente se estropea y conduce a un Universo inhóspito para la forma de vida que conocemos». ⁷⁷ En 2001, Anthony Gregory refutó convincentemente este tipo de razonamientos, señalando que asumen acríticamente que se puede variar un solo parámetro de la física sin que los demás cambien también. ⁷⁸ En ciertos casos, incluso es posible que los efectos de la variación del parámetro considerado sean compensados y anulados por cambios en otros parámetros.

Carr y Rees pasaron revista a numerosas «coincidencias antrópicas», casos en que los valores de las constantes están dentro de los estrechos márgenes compatibles con la vida. Concluyeron que «la naturaleza muestra coincidencias notables que exigen una explicación. [...] La explicación antrópica es el único candidato y el descubrimiento de cada nueva coincidencia antrópica incrementa su evidencia *post hoc*». ⁷⁹ Carr y otros siguieron elaborando la idea y empezaron a hablar de ajuste fino (*fine tuning*). Por ejemplo, la densidad del Universo está muy próxima a la densidad crítica ($10^{-26} \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3} \approx 10 \text{ átomos} \cdot \text{m}^{-3}$), que haría al Universo plano. Ahora bien, la densidad actual del Universo se diferencia de la densidad crítica a lo sumo en un orden de magnitud (es decir, en un factor de diez). En el pasado la diferencia era mucho menor: de una parte en 10^{16} un segundo después del Big Bang, y de solo una parte en 10^{60} en el tempranísimo instante de un 10^{-43} segundo después del Big Bang. Estas son el tipo de densidades que permiten que el Universo se expanda al ritmo adecuado para la formación de elementos químicos como el carbono, que posibilitan la evolución de la vida. «No hay razón física conocida por la que el ritmo inicial de expansión tendría que haber sido tan finamente ajustado y uno se ve impulsado a especular por qué debería ser así. Una sugerencia es que nosotros no estaríamos aquí si las cosas hubieran ocurrido de modo distinto.» (Carr, 1982).

Toda esta terminología de las coincidencias y el ajuste fino es bastante confusa y descuidada. Como señaló Ernan McMullin, las coincidencias numéricas, el ajuste fino de las constantes y las leyes de la física son cosas diferentes. Tampoco está nada clara la presunta improbabilidad del mundo actual. Nadie quiere comprar un boleto de lotería con el número 5555555, aunque este número de hecho no es menos probable que cualquier otro, como el 3405175, que parece menos raro. Una repetición de jugadas elimina las coincidencias a largo plazo, pero en una sola jugada cualquier resultado (por muy lleno de coincidencias que parezca) es tan probable como cualquier otro. El Universo (al menos en la medida en que podamos conocerlo) es algo único. “Uni-verso” y “úni-co” provienen de la misma raíz, “uni”, que significa uno. Podemos averiguar a posteriori cómo es el Universo, pero no tiene sentido especular acerca de cómo debería ser en base a consideraciones de probabilidad a priori. Esta es la razón por la que el argumento del pelotón de ejecución de John Leslie está equivocado. Leslie comparó nuestra existencia con la de un condenado a muerte por fusilamiento que hubiera sobrevivido porque todos

los tiradores fallaron el tiro. ¿Acaso alguien (quizá Dios) manipuló previamente los fusiles? Desde luego, ha habido muchos pelotones de ejecución y rara vez han fallado todos los fusiles. Sin embargo, la comparación es desafortunada. Hay una triste estadística de pelotones de ejecución, pero el Universo es un hecho histórico único. No hay una estadística de universos. Además, los componentes del pelotón de ejecución son soldados con la intención de disparar, mientras que no se aprecia intención alguna a escala cósmica. Hablar de ajuste fino parece implicar intencionalidad y multiplicidad de casos. La cuestión del ajuste fino no se plantea en sistemas únicos y no-intencionales.

El principio antrópico débil

En 1974, Brandon Carter introdujo el principio antrópico débil (WAP) con las palabras: «Lo que podemos esperar observar debe estar restringido por las condiciones necesarias para nuestra presencia como observadores».⁸⁰ Barrow y Tipler (1986) formularon el mismo principio del siguiente modo: «Los valores observados de todas las cantidades físicas y cosmológicas no son igualmente probables, sino que toman valores restringidos por el requerimiento de que existan lugares donde la vida basada en el carbono pueda evolucionar y por el requerimiento de que el Universo tenga la edad suficiente para que la vida haya evolucionado ya». En resumen: el hecho de que nosotros existamos implica que el Universo satisface todas las condiciones necesarias para nuestra existencia. O, en jerga probabilista: la probabilidad condicional de que el Universo real esté en la región restringida del espacio de posibles universos donde la vida es posible, dado el hecho de que nosotros existimos, es diferente y mucho mayor de lo que sería la probabilidad absoluta en una distribución a priori de probabilidades que no tuviera en cuenta el hecho de que cosas tales como humanos y conejos existen.

George Gale (1986) subrayó que el principio antrópico débil «aunque sea aceptable, resulta *tan* débil como para carecer de sentido. A primera vista parece trivial o tautológico o trascendental, o las tres cosas a la vez». Sin embargo, pensó que podría funcionar como un principio heurístico. En su cuidadoso análisis, John Earman (1987) llegó a la conclusión de que en el principio antrópico débil «es difícil encontrar algo más fuerte que una tautología». A veces se ha hecho una propaganda excesiva y extravagante de los presuntos poderes del razonamiento antrópico:

«El principio antrópico es un notable artilugio. Evita los métodos normales de la ciencia que han sido practicados desde hace siglos y, en vez de ello, eleva la existencia de la humanidad a la categoría de un principio del conocimiento».⁸¹

«Para que nosotros podamos estar aquí preguntándonos acerca de ello, ¡el Universo debe tener unos 15 000 millones de años de envergadura! Este reconocimiento demuestra el poder del razonamiento antrópico. Simplemente del hecho de que somos una forma de vida basada en el carbono podemos deducir que el Universo debe tener cierto tamaño y cierta edad».⁸²

El principio antrópico débil es una regla de inferencia correcta, pero no constituye una explicación física (o no física) de cosa alguna. Si el que las constantes de la física tengan los valores que tienen es una condición necesaria para que haya seres humanos (o cucarachas), y hay seres humanos (y cucarachas) —entonces podemos concluir— las constantes son como son, es decir, sus valores están en la región del espacio de posibilidades donde los humanos y las cucarachas son posibles. Esto no es un principio de la física, sino la especialización de un principio de la lógica: si B es una condición necesaria de A y A ocurre, entonces B tiene que ocurrir también. Este principio, a su vez, no es más que la reformulación de la vieja regla de inferencia del *modus ponens*: de [“si A, entonces B” (equivalente a “B es una condición necesaria de A”) y A] podemos inferir B.

Con frecuencia los llamados razonamientos antrópicos son, simplemente razonamientos indirectos (por reducción al absurdo), en los cuales, sabiendo ya que A, probamos que B mostrando que si no B, entonces no A. Así, si ya sabemos (como sabemos) que hay humanos o piedras y que, si los protones y electrones tuvieran cargas eléctricas de magnitud diferente, no habría humanos ni piedras, podemos concluir que los protones y electrones tienen cargas eléctricas iguales (en valor absoluto). Este tipo de razonamiento vuelve a ser una aplicación del *modus ponens*, teniendo en cuenta que “si no B, entonces no A” es equivalente a “si A, entonces B”.

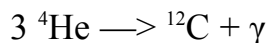
Lejos de representar algún tipo de novedad en el razonamiento científico, el principio antrópico débil es meramente la reafirmación de una regla de inferencia elemental, ya conocida por los lógicos de la Edad Media e incluso por los estoicos en la Antigüedad. Es válido con la validez estéril de las tautologías. Solo nos permite inferir lo que ya sabíamos previamente (que las constantes tienen los valores que sabemos que tienen), pero no nos permite explicar ni predecir nada nuevo. Y carece por completo de consecuencias filosóficas.

Ausencia de predicciones antrópicas

Hay un acuerdo bastante generalizado en que el principio antrópico nunca ha conducido a predicción científica alguna de algo no previamente sabido. Por ejemplo, Carr y Rees, al final de su análisis benevolente, indican que el principio antrópico «es completamente *post hoc*: todavía no se ha usado para predecir aspecto alguno del Universo». Sin embargo, Barrow y Tipler (1986, 252) pretendieron que había un caso de predicción antrópica: la predicción por Hoyle, en 1953, de un estado excitado del isótopo de carbono ^{12}C a 7,6 MeV por encima de su estado fundamental. Esta opinión fue refutada en varias recensiones del libro. Así, Helge Kragh: «Barrow y Tipler pretenden que la notable predicción por Fred Hoyle en 1953 del nivel de energía de resonancia del ^{12}C estaba basada en el principio antrópico. Lo que Hoyle mostró fue que solo si existe una cierta resonancia del carbono puede la teoría astrofísica ser consistente con la presente

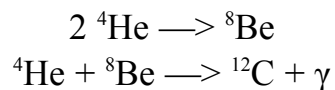
existencia de carbono. [...] Pero la predicción de Hoyle no es antrópica, puesto que no se refiere a la existencia de seres humanos sino solo a la de átomos de carbono...». ⁸³ Algunos libros de divulgación científica han popularizado la opinión de Barrow y Tipler, aunque los comentarios van en direcciones opuestas. Así, en conexión con las resonancias entre helio, berilio y carbono, Gribbin y Rees (1989) escribían: «Esta combinación de coincidencias, precisamente adecuada para el carbono-12 e inadecuada para el oxígeno-16, es realmente notable. No hay mejor evidencia para apoyar el argumento de que el Universo ha sido creado para nuestro beneficio, hecho a la medida del hombre». Por el contrario, Greenstein (1988) comentaba: «Esas resonancias son en realidad coincidencias. Son extraordinarios golpes de suerte. El principio antrópico no explica nada y ninguna cantidad de razonamiento antrópico puede explicar esas coincidencias».

Según nuestra actual comprensión de la nucleosíntesis, la mayoría de los núcleos atómicos de hidrógeno (protones, H), deuterio (^2H), helio (^3He y ^4He) y el isótopo litio-7 (^7Li) se formaron poco después del Big Bang. El resto de núcleos atómicos fueron cocidos más tarde en el interior de las estrellas gigantes rojas. El hidrógeno y el helio siguen siendo, con gran diferencia, los núcleos más abundantes. Tras el hidrógeno y el helio, el carbono y el oxígeno (en forma de los isótopos ^{12}C y ^{16}O) son los dos núcleos más abundantes en el Universo visible. En su clásico artículo «On nuclear reactions occurring in very hot stars: The synthesis of elements from carbon to nickel» (1954), Fred Hoyle ofreció la primera explicación satisfactoria de la producción de carbono, oxígeno y neón en el interior de las estrellas gigantes rojas. Ya se entendía bien cómo las estrellas de la secuencia principal queman hidrógeno y producen helio. Una vez agotado el hidrógeno, abandonan la secuencia principal, se expanden espectacularmente, se convierten en gigantes rojas y empiezan a quemar helio. Todavía no se entendía la fusión del helio para producir primero carbono y luego oxígeno y neón. Una vez que el carbono estaba disponible, el oxígeno y el neón podían ser formados mediante la fusión del carbono con el helio y del oxígeno con el helio. La principal dificultad estribaba en la producción inicial del carbono a partir del helio. Al principio, Salpeter sugirió que la fusión de tres «partículas alfa» (núcleos de ^4He) en un ^{12}C podría ocurrir por una colisión simultánea:



Los cálculos mostraron que las colisiones simultáneas de tres núcleos de helio eran demasiado raras y que la tasa de fusión del helio sería demasiado lenta. Salpeter sugirió que el helio se quemaba en un proceso en dos etapas: primero dos núcleos de helio colisionaban (las colisiones de dos núcleos eran mucho más frecuentes que las de tres) para formar el isótopo berilio-8 y, luego, este núcleo de berilio colisionaba con un núcleo

de helio para formar carbono:



El problema es que ^8Be es muy inestable, estalla en 10^{-15} s, haciendo que el encuentro con un núcleo de helio resulte demasiado improbable. Si a pesar de todo se producía, ello tendría que deberse a la existencia de cierta resonancia en ^{12}C . Hoyle calculó exactamente la resonancia (un estado excitado del núcleo de ^{12}C a unos 7,6 MeV por encima del estado fundamental). Después esta resonancia fue detectada experimentalmente en la zona de energía predicha, con gran sorpresa de los científicos (Cook, Fowler y otros) que llevaron a cabo el experimento. El cálculo de Hoyle se considera una proeza de la astrofísica moderna. Hoyle fue capaz de derivar las propiedades de los niveles excitados de energía de ^{12}C y ^{16}O a partir de los datos astronómicos entonces conocidos, como las abundancias del carbono y del oxígeno. Desde luego, en todo el artículo de Hoyle de 1954 no hay la más mínima referencia al todavía nonato principio antrópico y tampoco hay referencia alguna a seres humanos ni a observadores ni a la vida. Tomar en consideración los hechos conocidos de la astronomía y la química para formular una hipótesis brillante que resuelve un problema previo y que resulta confirmada por los experimentos posteriores, es un ejemplo óptimo del método científico estándar. No tiene nada que ver con la existencia de seres humanos ni con ningún tipo de razonamiento específicamente «antrópico».

Denominación desafortunada

El principio antrópico ni es un principio ni tiene nada de antrópico. Desde luego, no es un principio, como ya señaló McMullin (1993), pero lo más importante es lo segundo, que no merece el adjetivo de “antrópico” (relativo a los humanos), pues no hay nada específicamente humano o relativo a los humanos en el tipo de razonamiento al que alude. También podría haberse llamado el principio «cucaráchico» o incluso el principio «pétreo». No puede haber cucarachas o piedras sin que elementos químicos pesados hayan sido previamente formados en el interior de estrellas masivas y esparcidos luego en explosiones de supernovas. Pero hay cucarachas y piedras. Por tanto las constantes fundamentales de la física deben estar en el estrecho margen que permite la formación de elementos químicos pesados en el interior de las estrellas y su dispersión en explosiones de supernovas. Quizá sería más apropiado hablar del principio «escarabájico», pues, como observó Haldane en broma, Dios debe de amar a los escarabajos más que a ninguna otra criatura, dado el gran número (300 000) de especies de coleópteros que ha creado. Tampoco hay nada en los razonamientos antrópicos que se refiera a la vida de un modo específico. Podríamos igualmente hablar del principio «de la lavadora» o «de la

piedra caliza», pues estas cosas no existirían si los elementos químicos pesados no se hubieran formado previamente en el interior de estrellas masivas para ser luego dispersados en explosiones de supernovas.

Pronto se reconoció que el principio antrópico débil no tenía más que ver con los humanos que con los escarabajos o con los átomos de uranio. Según Earman (1987), la fuerza motivadora del principio antrópico «no deriva de consideración alguna acerca del hombre, la conciencia o el observador. El principio antrópico débil, tal como lo han usado Dicke y Carter, de hecho no es más que un corolario de un truismo de la teoría de la confirmación. Y ni siquiera la aplicación del corolario necesita apoyarse en la vida o la mente, pues la función de selección puede ser desempeñada igualmente por la existencia de estrellas y sistemas planetarios con una química basada en el carbono pero sin formas de vida». Helge Kragh (1987) señaló que «en prácticamente todos los ejemplos del principio antrópico (débil) mencionados por Barrow y Tipler la existencia de los seres humanos, e incluso de la vida, es irrelevante. La mayoría de los llamados argumentos antrópicos se pueden reducir a argumentos científicos estándar de forma retrodictiva en los que se pregunta qué constreñimientos hay que aplicar a la naturaleza para que sea consistente con la teoría y observación actuales». Este mismo punto fue también recalcado por McMullin (1994), que enfatizó que «la referencia a los seres humanos (más bien que a los escarabajos, por ejemplo) proviene únicamente de las expectativas derivadas de las tradiciones religiosas y científicas que impulsaban a la gente a esperar que la patria de los hombres sería privilegiada [...] en el sentido propio de ocupar el centro y no solo de ser diferente».

Los autores «antrópicos» oscilan frecuentemente entre los átomos de carbono y la conciencia humana o el observador, como si fueran lo mismo, o al menos como si los primeros fueran una precondition de lo segundo. Así, Vilenkin habla de la conciencia, pero solo para decir que las galaxias son buenos indicadores de la vida y la conciencia y luego limitar sus argumentos a las galaxias. En general, lo único que se presupone en los llamados argumentos antrópicos es la existencia de elementos químicos pesados o de galaxias. La conciencia o el observador únicamente desempeñan algún papel en el llamado principio antrópico participativo, una versión muy idiosincrática debida a Wheeler. Por otro lado, en el pensamiento religioso tradicional, los observadores, mentes o inteligencias no necesitaban estar hechos de carbono u otros elementos químicos pesados. Se suponía que Dios, los ángeles y otros seres espirituales eran mentes inmatrimiales y que nos observaban constantemente.

Posición privilegiada

Carter (1974) escribió: «Debemos estar preparados para tener en cuenta el hecho de que nuestra localización en el Universo es *necesariamente* privilegiada en la medida en que

debe ser compatible con nuestra existencia como observadores». Pero *cualquier* posición es privilegiada en la medida en que debe ser compatible con la existencia de lo que exista en esa posición. Las especiales condiciones de temperatura que se daban en la época muy temprana en que el Universo era una sopa de quarks constituían una posición privilegiada para la sopa de quarks. Tanto es así que, tan pronto como el Universo se expandió y enfrió, las condiciones ya no eran adecuadas y la sopa de quarks perdió su posición privilegiada y desapareció, transformándose en otra cosa. También los agujeros negros son privilegiados por tener en su rincón del Universo las especiales condiciones de densidad y curvatura adecuadas para su existencia. Cualquier cosa, sin excepción, tiene el privilegio de ocupar una posición cósmica compatible con su existencia. Lo que parece dudoso es que tenga sentido calificar de privilegiada a una condición tan universal.

Las criaturas aerobias (como nosotros) son privilegiadas por vivir en un medio tan rico en oxígeno como la atmósfera terrestre, mientras que las criaturas anaerobias (como las bacterias que habitan los intestinos de los mamíferos o de las termitas) tienen el privilegio de vivir en sitios sin oxígeno. Las bacterias reductoras de sulfatos *Thiopneutes* requieren azufre para su respiración y resultan rápidamente envenenadas si se exponen al oxígeno. Por tanto, no es de extrañar que tengan el privilegio de vivir en un medio rico en sulfatos y carente de oxígeno libre, como ciertos barros o suelos de regiones geotermales. Incluso los neutrones ligados en los núcleos atómicos o en las estrellas de neutrones ocupan una posición privilegiada, que los permite existir. En efecto, los neutrones libres se desintegran en protones y electrones en unos diez minutos.

Carter pretendió reaccionar «contra el exagerado sometimiento al “principio copernicano”». Carter (1983) llamó principio copernicano a «la suposición de que nuestra situación en el Universo no es privilegiada en sentido alguno, sino que es típicamente representativa en un Universo que es enteramente homogéneo aparte de pequeñas fluctuaciones locales». Así, en 1974 y 1983, identificó la versión moderna del principio copernicano con el “principio cosmológico perfecto” de Hermann Bondi y Thomas Gold.

El “principio cosmológico” es el nombre que dan algunos a la hipótesis de que el Universo es espacialmente homogéneo e isotrópico, es decir, que los cortes tridimensionales (o hipersuperficies) de tiempo constante del espaciotiempo 4-dimensional son simétricos. Esta hipótesis es un requisito para la aplicabilidad de la métrica FRW, que nos permite resolver las ecuaciones de la relatividad general aplicadas al cosmos y constituye un componente del modelo estándar del Big Bang. El llamado “principio cosmológico perfecto” añade a esto el postulado de la simetría y homogeneidad temporal, por lo que resulta incompatible con el modelo estándar del Big Bang, que representa un universo dinámico en evolución; pero es la base del modelo cosmológico del estado estacionario.

La especulación antrópica se mueve en un mundo onírico donde nada es lo que parece. Ni el principio antrópico es antrópico ni el principio copernicano tienen nada que ver con

Copérnico. Copérnico nunca defendió nada parecido al principio cosmológico perfecto y ni siquiera al principio cosmológico a secas. No pensaba que la posición del Sol y la de la Tierra fueran homogéneas. Pensaba que había una posición honorífica central, pero que no estaba ocupada por la Tierra, sino por el Sol. La Tierra se limitaba a orbitar en torno al Sol, que estaba en el centro. McMullin (1993) se extraña también de que Carter llame “principio copernicano” a la tesis

de que la residencia cósmica del hombre no está en modo alguno privilegiada. (¡Sospecho que Copérnico se asombraría de que esto se considerase una inferencia de su teoría!). Por “privilegiado” [Carter] no se refiere a un estatus honorífico o a alguna ventaja, sino a que la residencia humana no tiene características especiales que la hagan diferente de cualquier otro lugar del cosmos. Esta opinión, que él considera un “dogma” de los cosmólogos anteriores, es obviamente falsa, pues la Tierra es un planeta, tiene una atmósfera, y posee muchas otras características que la diferencian, por ejemplo, del espacio vacío.

Argumento bayesiano

Carter (1983) y otros han indicado que el principio antrópico débil puede ser considerado como una aplicación del teorema de Bayes.⁸⁴ El enfoque bayesiano de la inferencia inductiva se basa en la asignación de probabilidades a priori a las hipótesis concurrentes usando el principio de máxima entropía y en la reasignación de probabilidades posteriores, una vez que se dispone de nuevos datos, en función de la verosimilitud (*likelihood*) de dichos datos, suponiendo la verdad de las diferentes hipótesis. La hipótesis que confiere la máxima probabilidad a los datos es la favorecida.

La probabilidad posterior de la hipótesis H en vista de los nuevos datos D y del conocimiento previo K, $P(H|D \wedge K)$, viene dada por el teorema de Bayes en términos de la probabilidad a priori $P(H|K)$ (asignada usando el principio de máxima entropía) y de la verosimilitud de $P(D|H \wedge K)$ y $P(D|K)$:

$$P(H|D \wedge K) = \frac{P(H|K) \cdot P(D|H \wedge K)}{P(D|K)}$$

De aquí se sigue el principio de inferencia que dice que la verosimilitud de los datos, dada la hipótesis, confiere apoyo a la hipótesis. O sea:

$$P(D|H \wedge K) > P(D|K) \Rightarrow P(H|D \wedge K) > P(H|K)$$

Si tomamos como hipótesis R (que los valores de las constantes y parámetros del modelo cosmológico estándar están dentro del abanico restringido de valores posibles que permiten —a través de la formación de elementos químicos pesados y de estrellas y planetas— la evolución de la vida basada en el carbono), como dato L (que en la Tierra hay vida basada en el carbono, como, por ejemplo, la nuestra) y como conocimiento

previo M (el modelo cosmológico estándar), entonces podemos reformular la última fórmula del siguiente modo:

$$P(L|R \wedge M) > P(L|M) \Rightarrow P(R|L \wedge M) > P(R|M)$$

La verosimilitud de que haya vida basada en el carbono, suponiendo que los parámetros del modelo cosmológico estándar tengan valores compatibles con la evolución de la vida, es mucho mayor que la probabilidad de que haya vida basada en el carbono sin suponer que los parámetros del modelo cosmológico estándar tengan valores compatibles con la evolución de la vida, pues la mayoría de las combinaciones de valores posibles impedirían la evolución de la vida basada en el carbono. Por tanto, podemos concluir que la probabilidad posterior de que los parámetros tengan valores compatibles con la evolución de la vida, dado el dato de que hay vida, es mucho mayor que su probabilidad a priori. Y esto puede considerarse como otra versión del principio antrópico débil.

El argumento es formalmente correcto. Lo que resulta un poco extraño es considerar todo el edificio del modelo cosmológico estándar como conocimiento previo y el hecho de que haya vida como un dato *nuevo*. La regla de Bayes es una regla de inferencia, no un principio explicativo. Pero, incluso como principio de inferencia revestido de ropajes bayesianos, el argumento solo conduce a resultados ya conocidos previamente y sigue brillando por su esterilidad.

Diferencia entre inferencia y explicación

El hecho de que nosotros existamos no explica por qué las constantes fundamentales de la física y los parámetros del modelo cosmológico estándar tienen los valores que tienen. Una explicación tal solo podría ser suministrada por algún tipo de teoría más amplia, que nos permitiera deducir esos valores, en vez de limitarnos a medirlos empíricamente. Pero la existencia de tal teoría es solo una esperanza. Quizá los valores de las constantes sean hechos brutos. En cualquier caso, hay que recordar que no todas las preguntas sintácticamente bien construidas que empiezan con «¿por qué...» tienen sentido.

¿Cuántos pelos tengo en mi cabeza en este momento? ¿Por qué ese número? ¿Por qué hoy es lunes? ¿Por qué el agua es H₂O? ¿Por qué la Tierra tiene solo un satélite natural? ¿Por qué tiene el Sol ocho planetas? ¿Por qué hay algo, más bien que nada? Como observó Sylvain Bromberger (1992):

Las preguntas de por qué, a diferencia de otras preguntas [de qué, cómo, cuándo y dónde] pueden ser oscuras... Se trata de la oscuridad de no saber qué factores, si es que los hay, controlan si tienen respuesta o no. [...] Yo no sé por qué hay nueve planetas grandes. No sé si hay alguna respuesta a esa pregunta de por qué.

[...] No sé si el hecho de que haya nueve planetas no es simplemente un hecho bruto.⁸⁵

No sabemos si alguna vez encontraremos una explicación del valor de las constantes

físicas. Lo que sí sabemos es que sus presuntas explicaciones antrópicas son pseudoexplicaciones. Nuestra vida y nuestra existencia no explican las condiciones iniciales del Universo ni el valor de las constantes de estructura fina. Esos intentos fallidos de explicación responden al mismo patrón que las siguientes «explicaciones»: ¿Por qué está lloviendo? Porque he abierto mi paraguas. ¿Por qué contraí la infección? Porque luego he estado tomando antibióticos. ¿Por qué cometió el crimen? Porque ahora está en prisión. ¿Por qué se casaron? Porque más tarde se divorciaron. ¿Por qué fumaba? Porque luego dejó de fumar. ¿Por qué murió Fulano ayer? Porque estaba vivo anteayer. ¿Por qué desarrolló la especie humana la capacidad lingüística? Porque hoy estamos hablando. La escritura se inventó, porque yo estoy escribiendo ahora. Todavía hay hidrógeno en el núcleo del Sol, porque estoy escribiendo ahora. Hay algo más bien que nada, porque estoy escribiendo ahora. Mi abuela no murió virgen, porque estoy escribiendo ahora.

¿Por qué hay oxígeno en la atmósfera terrestre? Porque nosotros los humanos respiramos oxígeno. Desde luego, esta presunta explicación antrópica no explica nada. Ya había oxígeno en la atmósfera dos mil millones de años antes de que hubiera seres humanos. Más bien al contrario, que la atmósfera contenga oxígeno es una precondition de la existencia de criaturas aerobias como nosotros. Philip Gasper (1991, en un contexto que no tenía nada que ver con el principio antrópico) usó algo similar como ejemplo paradigmático de derivación sin explicación: «De las leyes de la biología y del hecho de que haya mamíferos en la Tierra podemos deducir que hay oxígeno en la atmósfera. Claramente, con esto no hemos explicado la presencia de oxígeno».

En cualquier concepción de la explicación, el *explanans* (lo que explica) contiene condiciones iniciales que son temporalmente previas a (o a lo sumo simultáneas con) los hechos que han de ser explicados (el *explanandum*). Uno de los pocos puntos en que todos los teóricos de la explicación están de acuerdo es en que no podemos explicar una causa por sus efectos, ni el pasado por el presente o por el futuro. No podemos explicar las condiciones iniciales del Universo hace 14 000 millones de años por la existencia de seres humanos ahora. El razonamiento inicial de Dicke fue enseguida criticado:

Desde un punto de vista físico, la “explicación” antrópica de las varias coincidencias en la naturaleza es insatisfactoria. [...] Es enteramente *post hoc*: nunca se ha usado para predecir ningún aspecto del Universo. [...] El principio antrópico no explica los valores exactos de las varias constantes de acoplamiento y de las proporciones de masas, sino solo sus órdenes de magnitud.⁸⁶

En general, la arbitrariedad ha sido eliminada mostrando que un fenómeno puede ser predicho o que una teoría puede ser deducida de una premisa más fundamental. La técnica de Dicke es diferente. La lógica deductiva o predictiva procede de un postulado fundamental a un resultado derivado: el futuro es deducido del pasado. El flujo temporal en el argumento de Dicke va en la dirección opuesta. Cita una condición presente (la existencia del hombre) como explicación de un fenómeno anclado en el pasado (la edad del Universo).⁸⁷

La confusión de las presuntas explicaciones antrópicas es tan obvia que ni siquiera escapa a los teólogos simpatizantes. Respecto a la explicación de Collins y Hawking (1973) de que «la isotropía del Universo es una consecuencia de nuestra existencia», William Craig (1988) comentó que «tomada literalmente, una respuesta tal requeriría alguna forma de causación hacia atrás en que las condiciones del Universo temprano serían producidas por nosotros como causas eficientes meramente por nuestro acto de observar los cielos». Y Richard Swinburne añadió:

La sugerencia parece ser que nuestra existencia es de alguna manera la *causa* de que las leyes de la naturaleza y las condiciones iniciales sean lo que son (pues, si no fueran así, nosotros no podríamos observarlas). Esta sugerencia es un sinsentido. Las leyes de la naturaleza y las condiciones iniciales causan nuestra existencia; nosotros no causamos la suya.⁸⁸

El principio antrópico fuerte

El principio antrópico débil es una regla de inferencia tautológica, equivalente al *modus ponens*. El principio antrópico fuerte, por el contrario, es una aserción metafísica sustancial, que compromete a sus partidarios con una visión completamente antropocéntrica de la evolución cósmica, concebida como una gigantesca conspiración para producir seres humanos (o, al menos, vida). Ya en 1971, había indicios de ello en Dyson: «Al... identificar los numerosos accidentes físicos y astronómicos que han cooperado para favorecernos, casi parece como si el Universo deba haber sabido ya en algún sentido que nosotros estábamos en camino». El nombre y la primera formulación del principio antrópico fuerte se deben a Carter (1974): «El Universo (y, por tanto, los parámetros fundamentales de los que depende) debe ser tal como para admitir la creación de observadores dentro de él en alguna etapa». En palabras de Barrow y Tipler (1986): «El Universo debe tener las propiedades que permiten que la vida se desarrolle dentro de él en alguna etapa de su historia». Según Greenstein: «El principio débil afirma que *la humanidad solo puede existir en un entorno habitable*. Pero el principio antrópico fuerte va más allá. Afirma que *un entorno habitable debe existir*. Afirma que [...] es necesario que se encuentre un planeta envuelto en los gases requeridos por la composición química de los humanos». Las tres formulaciones aluden a un «deber» incondicional. El Universo *debe* ser adecuado para la vida. La vida humana no es un resultado bienvenido pero aleatorio de la evolución cósmica, sino más bien su meta y su razón última. En palabras de Greenstein: «La vida obedece las leyes de la física; esto es un truísmo. Lo que es nuevo es [...] que también la inversa parece ser verdad, que las leyes de la física se conforman ellas mismas a la vida. [...] ¿Cómo llegó a ocurrir contra toda probabilidad que el cosmos lograra hacer surgir la vida? Tenía que hacerlo. Tenía que hacerlo para existir».

Todo el mundo está de acuerdo en que el principio antrópico fuerte es una

especulación metafísica sin base física alguna. Por tanto, ninguna explicación que apele a este principio puede ser considerada como una explicación científica. La única manera de explicar por qué las constantes fundamentales de la física y las condiciones iniciales del Universo tienen los valores que tienen, consistiría en deducirlos de alguna teoría física más amplia.

Incluso Carter (1974), después de haber introducido como recurso filosófico desesperado la explicación antrópica, concedió: «Personalmente me sentiría más feliz con explicaciones de los valores de las constantes fundamentales de acoplamiento basadas en una estructura matemática más profunda (en la cual ya no serían fundamentales, sino derivadas).» Alan Guth (1990) comentó: «...el principio antrópico me da mala espina. ...Obviamente podemos hacer algunos enunciados antrópicos que son verdaderos, como que si no estuviéramos aquí, entonces no estaríamos aquí. [...] Las constantes de la física están determinadas por leyes físicas que todavía no entendemos. [...] No pienso que las leyes fueran diseñadas para permitir el desarrollo de la vida». Y Murray Gell-Mann (1994) escribió que el principio antrópico «supuestamente se aplicaría a la dinámica de las partículas elementales y a las condiciones iniciales del Universo, moldeando de alguna manera tales leyes fundamentales de tal modo que se produjeran seres humanos. La idea me parece tan ridícula que no merece más discusión».

La situación epistémica más deseable consistiría en que algún día pudiésemos deducir de alguna teoría física fundamental los valores de las constantes de la física que ahora ponemos a mano, como resultado de mediciones experimentales. Mientras tanto (y esta situación puede durar siempre), esos valores han de ser aceptados como hechos brutos.

Los biólogos no han sido menos severos con el principio antrópico fuerte. John Maynard Smith (1996) ha comentado: «¿Cómo se puede entender esta curiosa pretensión? La interpretación más simple es que el Universo fue diseñado por un creador con la intención de que se desarrollase la vida inteligente. Esta interpretación se queda fuera de la ciencia». Se trate de la versión que se trate, «como biólogos nos sentimos incómodos con el principio antrópico porque, confrontados con la necesidad de una explicación histórica, parece una mera rendición». Por ejemplo, en biología explicamos el origen histórico de las células eucariotas por la teoría simbiótica, según la cual se formaron por simbiosis o fagocitosis entre bacterias preexistentes. Esta teoría tiene apoyo empírico (la presencia en las mitocondrias de un DNA propio y la maquinaria bacterioide de traducción). «Sería insatisfactorio argüir que, porque los eucarios están de hecho aquí, los muchos e improbables accidentes que han conducido a ellos tienen que haber sucedido necesariamente.»

El principio antrópico participatorio

John A. Wheeler (1977) se inspiró en una versión de la interpretación de Copenhague de la mecánica cuántica que pretende que las características cuánticas del sistema observado

son creadas por el acto mismo de observación. Se preguntó: «¿Es la arquitectura de la existencia tal que el Universo únicamente llega a ser a través de la observación?». Wheeler no defendió estas especulaciones sobre la necesidad del observador para la existencia del Universo. «Se trata de un junco demasiado frágil para aguantar defensa o crítica alguna». Sin embargo, Barrow y Tipler elevaron la idea especulativa de que el Universo depende del observador al rango de principio, el principio antrópico participatorio: «Los observadores son necesarios para hacer que el Universo exista».⁸⁹

Otros autores eran más críticos. Así Gale (1981): «Con su hipótesis Wheeler ha llevado el principio antrópico mucho más allá del dominio de la lógica de la explicación; ha cruzado el umbral de la metafísica. Pocos científicos o filósofos de la ciencia se sentirían cómodos con su visión». En 1986 añadió:

«Wheeler [...] ha incorporado a su cosmos la teleología y el antropocentrismo más fuertes posibles. Wheeler toma la idea de la multiplicidad y le añade un poco de pimienta de la mecánica cuántica. [...] Los eventos observados, se hacen reales solo en el evento mismo de ser observados. Aunque las raíces de esta proposición... llegan hasta el obispo Berkeley, [...] Wheeler va más allá que esta ontología al acoplar conjuntamente las tres nociones de la realidad cuántica, la multiplicidad de universos y el principio antrópico. Según su manera de ver, de entre los universos posibles llega a existir precisamente aquel que, mediante la participación de observadores inteligentes, puede llegar a existir a través del acto mismo de observación. El observador y lo observado están, pues, ligados en un bucle autoexcitado de autocausación. [...] Aquí el foco de la historia y de la evolución sería más bien un drama de creación que un drama de salvación, pero la inteligencia humana (u otra) seguiría siendo el punto central que serviría como la razón de todo.»

Earman (1987) destapó un malentendido crucial en la especulación antrópica participativa de Wheeler:

Incluso si uno opta por una interpretación dualista de procesos 1 y procesos 2 de la mecánica cuántica, con observadores conscientes desempeñando un papel central en los primeros, de ahí no se sigue que sin observadores conscientes el mundo no tendría ser, existencia, realidad o actualidad, sino solamente que ciertos tipos de cambio no se producirían en él. Después de un cambio de tipo 1 [reducción o colapso de la función de onda por la observación] el mundo no es más real o actual que antes; y el estado mecánico-cuántico después de la medición contiene exactamente tantas (aunque diferentes) posibilidades no actualizadas como antes.

Al no poder encontrar ningún apoyo firme para el principio antrópico participativo (PAP) en la física, [...] me preocupan los intentos de revestirlo con los paños de la respetabilidad científica. [...] Como principio científico, el principio antrópico participativo tienen un acrónimo peculiarmente adecuado [PAP, papilla].⁹⁰

Multiversos

Al final de su ya clásico artículo de 1974, Carter escribió:

Desde luego, siempre es filosóficamente posible —como último recurso, cuando no disponemos de un argumento físico más fuerte— promocionar una *predicción* basada en el principio antrópico frente al rango de *explicación* a base de pensar en términos de una “multiplicidad de universos”. Con esto me refiero a una multiplicidad de Universos caracterizada por todas las combinaciones concebibles de condiciones iniciales y constantes fundamentales.

A continuación ofreció una «explicación de la debilidad de la constante gravitacional basada en la multiplicidad de universos»: una constante gravitacional más fuerte sería incompatible con la existencia de planetas y, por tanto, con la de observadores. Luego trató de poner en relación su idea de la multiplicidad de universos con la interpretación de Everett de la mecánica cuántica:

Aunque la idea de que existan muchos universos, de los cuales solo uno pueda ser conocido por nosotros, puede parecer a primera vista filosóficamente indeseable, en realidad no va mucho más allá que la doctrina de Everett [...], a la que uno se ve virtualmente forzado por la lógica interna de la teoría cuántica. Según la doctrina de Everett, el Universo o, más precisamente, el vector de estado del Universo, tiene muchas ramas, de las cuales solo una puede ser conocida por un observador bien definido (aunque todas son igualmente «reales»). Esta doctrina encajaría de un modo muy natural con la filosofía de una multiplicidad de universos que he tratado de describir.

Aquí hay varias confusiones. Como ya señaló McMullin (1993), no solo no hay justificación alguna para la noción de la multiplicidad de Universos, sino que

Carter cita el modelo de Everett de mundos que se ramifican en teoría cuántica, «al que uno se ve virtualmente forzado por la lógica interna de la teoría cuántica». Pero uno *no* se ve virtualmente forzado a aceptarlo; de hecho, ha encontrado poco apoyo entre los teóricos cuánticos. Y lo que es más importante, los mundos que se ramifican de Everett no proporcionan el abanico de condiciones iniciales alternativas o de leyes físicas alternativas que requeriría esta versión de la explicación antrópica del constreñimiento inicial de los parámetros.

La suposición de que hay una infinidad de universos y la aplicación del principio antrópico (para «seleccionar» uno de ellos adecuado para la vida) presuntamente «explicaría» las «coincidencias cósmicas» que permiten que haya átomos de carbono disponibles para la vida y, en último término, hacen posible la existencia humana. Los únicos filósofos que parecen convencidos por este argumento son el neo-platónico John Leslie y Nick Bostrom. Ya nos hemos referido al argumento del primero sobre el «pelotón de ejecución» y a los malentendidos en que se basa. En un libro publicado en 2002, Bostrom insistió en el efecto de selección por observación que la presencia de humanas tendría para elegir precisamente este Universo de entre todos los presuntos universos postulados por esta línea de pensamiento.⁹¹ Los efectos de selección por observación se dan entre las cosas reales que pasan o no por ciertos filtros. Según la malla de la red que usamos, pescaremos unos peces u otros. Según el tipo de telescopio o de cámara que usamos, obtendremos unas imágenes u otras. El problema con los presuntos múltiples universos es que, hasta ahora, solo los hemos detectado en nuestra cabeza. El único universo del que tenemos noticias es el Universo que habitamos, un sistema único al que no tiene sentido aplicar consideraciones estadísticas ni efectos de selección por observación.

Los autores proclives a hablar de múltiples Universos usan esta expresión en sentidos diferentes e incompatibles. Recordemos aquí algunas de sus propuestas:

1. George Ellis y G. Brundit (1979) sugirieron la existencia de muchos dominios

desconectados entre sí y cada uno de ellos situado más allá del horizonte de los demás, aunque todos ellos incluidos dentro de un mismo Universo FRW infinito y abierto. Esta es la más modesta de las propuestas y podría ser aceptable, aunque las conclusiones que de ella sacan sus autores se basan en un argumento erróneo sobre el infinito, como veremos más abajo.

2. Wheeler propuso un Universo oscilatorio o cíclico (que no tiene nada que ver con el principio antrópico participatorio de Wheeler). Una secuencia infinita de universos alternativamente en expansión y en contracción se sucederían unos a otros sin que el proceso acabase nunca. Cada Big Crunch (gran implosión) «rebota» en un nuevo Big Bang (gran explosión). Los universos sucesivos renacen con condiciones iniciales completamente nuevas y distintas. De este modo todos los modelos posibles del Big Bang se realizarían, por lo que no sería de extrañar que los pocos que son compatibles con la vida se realicen también. Esta propuesta presenta obvias dificultades. Si la tasa de expansión de un ciclo fuera suficientemente grande (si el Universo de ese ciclo fuese abierto), ya no habría recolapso ni implosión subsiguiente; el Universo continuaría expandiéndose para siempre y el escenario cíclico se autorrefutaría. Además, y como señaló Earman (1987), una curva causal que se aproxime a la singularidad del Big Bang no puede ser extendida de un modo continuo a través de la singularidad. Ian Hacking (1987) arguyó que el supuesto ajuste fino permitiría a lo sumo inferir una multiplicidad simultánea de universos, pero no una sucesión cíclica de universos que surgen uno después de otro sin que memoria alguna de los previos universos sea transportada a los siguientes. En este último caso, el argumento sería tan falaz como el suponer que una buena mano de póker es evidencia de que previamente ha habido una larga racha de malas manos. Hacking lo llamó la “falacia inversa del jugador”.

3. La interpretación de Everett de los muchos mundos de la mecánica cuántica. En realidad, esta propuesta no tiene nada que ver con los presuntos múltiples universos invocados en conexión con el principio antrópico. Los muchos mundos de la mecánica cuántica de Everett corresponden a los varios estados (vectores) en una superposición de estados. Se introducen para evitar la reducción o colapso de la función de onda en el acto de la medición. Los múltiples mundos del escenario inflacionario y otros contextos cosmológicos no tienen nada que ver con ellos. El confundirlos fue un error de Carter, como ya pusieron de manifiesto McMullin, Earman, Mittelstaedt y otros. Earman (1987) señaló:

Los teóricos antrópicos no están por encima de cierta doblez. [...] Acuden a la interpretación de Everett de los muchos mundos de la mecánica cuántica para generar una multiplicidad de mundos, pero hay que recordar que la principal motivación de esta interpretación consistía en evitar por completo los cambios de tipo 1 [es decir, la reducción de una superposición de estados a un estado propio del observable que se está midiendo], tanto si tales cambios son inducidos por observadores conscientes como si ocurren de otra manera. Este hecho es convenientemente ignorado cuando conviene.

4. Los múltiples universos de la cosmología cuántica y la inflación (Vilenkin, Linde). Según la cosmología cuántica (un desarrollo muy especulativo de la mecánica cuántica), las fluctuaciones cuánticas en la nada producen una multiplicidad (incluso una infinitud) de nucleaciones, cada una de las cuales conduce a un superuniverso diferente en inflación eterna. Cada uno de estos superuniversos está totalmente desconectado de los demás (espacialmente, causalmente e informacionalmente). Cada superuniverso de inflación eterna produce una serie sin fin de diferentes universos burbuja, todos los cuales son partes del mismo espaciotiempo. Incluso se pueden definir hipersuperficies que cortan diversos universos, aunque el tiempo cósmico solo está bien definido dentro de un universo burbuja determinado. Nuestro Universo observable es solo una mera región de nuestro Universo burbuja, una región aplanada por la inflación (siempre según este escenario de inflación eterna). Vilenkin aplica el principio antrópico de un modo crucial en su cosmología cuántica para restringir la inmensa diversidad de condiciones iniciales. Las probabilidades de las condiciones iniciales se ponderan por la probabilidad de producir observadores o civilizaciones. Vilenkin considera que las galaxias son buenos indicadores de la existencia de observadores y civilizaciones y limita su atención a las condiciones iniciales que conducen a la formación de galaxias. Por tanto, el principio antrópico es aquí un principio galáctico. La inflación eterna parece ser casi inevitable en un contexto de escenario inflacionario. La energía del falso vacío no se agota con la burbuja inflacionaria, pues la expansión de la burbuja es más rápida que la decadencia del falso vacío. Si hubo alguna vez en el pasado inflación (lo que no sabemos), entonces parece plausible que haya inflación eterna. Por tanto, el superuniverso inflacionario tuvo un comienzo en el pasado, pero carece de final en el futuro; continúa inflándose continuamente fuera de nuestra burbuja. Aunque especulativa, esta es la única versión de la multiplicidad de universos que conecta con algún tipo de física. Nótese que quien acepte tanto la cosmología cuántica como la inflación eterna debe aceptar también una infinitud de infinitudes de universos burbuja.

Con frecuencia el principio antrópico se combina con el supuesto de que la existencia de una multiplicidad de Universos actuales implicaría que todos los universos físicamente posibles estarían realizados de hecho. Esta multiplicidad garantizaría la existencia de al menos un Universo habitable como el nuestro, que sería seleccionado por nuestra propia presencia aquí. En tal caso, como ha señalado Patrick Wilson, sería la multiplicidad de universos y no el principio antrópico lo que cargaría con todo el peso de la explicación.

Una confusión frecuente es la noción de que la infinitud implica la existencia de cualquier combinación. A veces se sugiere que, en una colección infinita de universos, cada Universo posible ha de ser realizado e incluso que ha de ser repetido una infinitud de veces.⁹² El multiverso contendría «infinitos planetas con historias casi exactamente iguales que la de la Tierra, con infinitos seres llamados G.W. Leibniz, por ejemplo». Esta sugerencia es errónea. La infinitud no implica que cualquier configuración esté realizada,

presente o repetida. Por ejemplo, pensemos en el caso trivial de un conjunto infinito de secuencias binarias s_n con el i -ésimo miembro $x_i = 1$, si $i \neq n$, y $x_i = 0$, si $i = n$:

$$s_1 = 01111111111111111111\dots$$

$$s_2 = 10111111111111111111\dots$$

$$s_3 = 11011111111111111111\dots$$

$$s_4 = 11101111111111111111\dots$$

$$s_5 = 11110111111111111111\dots$$

Y así sucesivamente. Al recorrer n todos los números naturales, obtenemos una infinitud de secuencias binarias que en casi todas sus posiciones son $= 1$, pero que difieren entre ellas en la posición en que son $= 0$. Este conjunto de secuencias es infinito, pero la gran mayoría de las secuencias en las que podemos pensar (por ejemplo, cualquier secuencia que contenga dos o más 0 s, como 1010101010...) no le pertenecen. Y, desde luego, ninguna secuencia se repite. Un caso más sencillo es el del conjunto de los números pares, un conjunto infinito de números naturales que no contiene todos los números naturales (no contienen los impares).

La hipótesis de que todos los mundos posibles existen es tan difícil de entender como de aceptar. El conjunto de todos los mundos posibles no está definido con independencia de nuestros modelos o artefactos conceptuales; es, más bien, una función suya. Si mantenemos fijo un modelo, con sus teorías y matemáticas subyacentes, el conjunto de las combinaciones de valores admisibles para sus parámetros libres nos proporciona el conjunto de todos los mundos posibles (relativamente a ese modelo). Este conjunto cambia cada vez que introducimos un nuevo modelo cosmológico, cosa que hacemos continuamente. Alguien podría proponer que considerásemos el conjunto de todos los mundos posibles en relación a todos los modelos posibles formulados en todos los lenguajes posibles en base a todas las posibles matemáticas y teorías físicas subyacentes, pero tan inabarcable consideración produciría mucho mareo y poca luz.

En cualquier caso, no parece haber la más mínima razón para aceptar una pluralidad infinita (y ni siquiera finita) de universos diferentes y desconectados del Universo que habitamos. Desde luego, tales universos no son lógicamente imposibles, pero tampoco lo son los extraños mundos de la mitología. Incluso partidarios del principio antrópico, como Carr, son escépticos en este punto: «Tanto la interpretación de una multiplicidad de mundos como la de una multiplicidad de ciclos para el principio antrópico son bastante extrañas y yo no recomendaría que ninguna de ellas se tomase demasiado en serio». Lightman (1991) dice sentirse «incómodo con la postulación de diferentes universos. Nosotros habitamos este único Universo y los argumentos que necesitan salir fuera de este Universo para explicarlo quizá hayan salido también fuera de la ciencia».

Religión disfrazada

Como el principio antrópico fuerte no puede justificarse en términos de física, algunos autores han tratado de justificarlo o bien mediante una interpretación teológica (el Universo debe ser capaz de producir vida, pues Dios lo creó con esa intención) o bien mediante una interpretación basada en la presunta multiplicidad de los mundos (todos los universos posibles existen, incluidos los pocos que, como el nuestro, son adecuados para el desarrollo de la vida; nuestra propia existencia «selecciona» uno de estos como el Universo observable).

El hecho de nuestra existencia explicaría por qué las constantes de la física tienen los valores que tienen (valores compatibles con la vida) solo si se complementase con la dudosa suposición de que hay un dios personal que quiere producir seres humanos o con la no menos dudosa de que todos los mundos posibles existen actualmente.

Las condiciones en nuestro Universo realmente parecen ser las únicas adecuadas para las formas de vida como la nuestra [...]. Pero la cuestión permanece: ¿*está* el Universo hecho a la medida del hombre? O es... más bien el caso que hay una completa variedad de universos de entre los que «escoger» y que por nuestra existencia hemos seleccionado, como en la sastrería, el único que nos sienta bien?⁹³

Los intentos especulativos de justificación metafísica del principio antrópico han ido calando —a través de libros sensacionalistas de divulgación científica— hasta llegar a teólogos y moralistas de un modo distorsionado. Así, ya en 1988 el teólogo William Craig había escrito: «Parece que estamos confrontados con dos alternativas: postular o bien un Diseñador cósmico o bien un número infinito y exhaustivamente aleatorio [*sic*] de otros mundos. Encarados con esas opciones, ¿no es el teísmo una elección tan racional como la multiplicidad de mundos?». El filósofo moral Derek Parfit comenzó su curso de ética y metafísica en Harvard (al que yo asistía) en 1993 con las palabras: «La física moderna nos enseña que o bien Dios existe y quiere producir seres humanos o bien todos los mundos posibles existen actualmente y, por tanto, también este, adecuado para nosotros». El año anterior había escrito: «De estas diferentes posibilidades globales, una y solo una debe cumplirse. [...] Por eso, más bien que creer que el Big Bang meramente resultó ser adecuado para la vida, deberíamos creer en Dios o en la multiplicidad de universos».

Recensionando el libro de Barrow y Tipler, Helge Kragh (1987) comentó: «Amparándose en la autoridad de la ciencia y de cientos de referencias, Barrow y Tipler [...] contribuyen a una cuestionable [...] mistificación de las consecuencias sociales y espirituales de la ciencia moderna. Este tipo de física escapista, también cultivado por autores como Wheeler y Dyson, apela al instinto religioso del hombre en una época científica». William Press, en su reseña del mismo libro en *Nature*, hizo observaciones de una dureza inusual:

Los autores arden en deseos de ser los teóricos doctrinales fundadores de un «nuevo» resurgimiento de la

creencia teológica en la ciencia. [...] Su meta no es otra que la fusión de los asuntos científicos con los de la fe y la creencia individual. [...] Hemos necesitado mucho tiempo para separar estos asuntos. No deberíamos permitir a la ligera que de nuevo se volvieran a confundir. [...] Aquí hay deshonestidad intelectual fundamental, se nos quiere dar gato por liebre. Los autores [...] no siempre juegan limpio con sus lectores. [...] Hay una cantidad abrumadora de lo que parece ser blablablá matemático, es decir, citas de resultados precisos de un modo diseñado para confundir a los lectores menos matemáticos...⁹⁴

Algunos teólogos usan las obvias dificultades de la idea de la multiplicidad de universos, en conjunción con el pseudoresultado científico de que o Dios existe o todos los mundos posibles existen, para llevar agua a su propio molino teísta.

Algunos cosmólogos de fuertes convicciones religiosas están dispuestos a ir aún más lejos que los teólogos en defensa de su fe. Frank Tipler (un físico de la Universidad de Tulane y coautor con Barrow del libro clásico sobre el principio antrópico) se dedicó luego a hacer propaganda del fundamentalismo cristiano y a predicar la resurrección de los muertos en el programa de televisión titulado *Soul* (1992), en el cual predecía que en el futuro la vida acabará tomando el mando de todo el Universo físico y lo usará para llevar a cabo la resurrección de los muertos en alma y cuerpo a través de una programación informática gigantesca impulsada por Dios. Tipler aparecía en la pantalla del televisor y aclaraba que «lo que entiendo por resurrección es exactamente lo mismo que se enseña en las iglesias». Explicaba que la vida se reduce al procesamiento de la información y que el alma es un programa del cerebro. El futuro supercomputador divino ejecutará el programa correspondiente a cada ser humano que haya vivido en el pasado, con lo cual este resucitará y volverá a tener las impresiones y recuerdos que tuvo antes de morir. Una voz en *off* resumía el mensaje del programa: «La teología se ha convertido en una rama de la física». Estas ideas fueron desarrolladas después y publicadas por Tipler en un nuevo libro de 500 páginas lleno de fórmulas de relatividad general, *The Physics of Immortality* (1994),⁹⁵ en el que pretendía probar matemáticamente que todas las personas muertas serán resucitadas al final de los tiempos. Las reseñas del libro en la prensa científica fueron unánimemente devastadoras y coincidieron en considerarlo una estafa intelectual.

En cualquier caso, la teología no parece haberse convertido todavía en una rama de la física. Tampoco el principio antrópico se ha convertido en parte de la física y ni siquiera de la teología. La tradicional imagen teológica de Dios es la de un monarca absoluto y omnipotente, que puede satisfacer de un modo directo e inmediato cualquiera de sus deseos. La visión «antrópica» degradaría a Dios al mero papel de monarca constitucional, obligado a aceptar los límites de una constitución (las leyes de la física y el modelo cosmológico estándar) que él no puede cambiar, y reducido su poder a la mera especificación de algunos detalles de su aplicación. Es como si Dios fuera incapaz de crear seres humanos directamente y se viera obligado a recorrer el largo y complicado camino de andar retocando y ajustando los valores de los parámetros de la física con la esperanza de que, tras miles de millones de años, en algún rincón insignificante del

inmenso cosmos finalmente su voluntad se realizara. Tal Dios no se parecería al Dios de la Biblia. No es, pues, de extrañar que algunos teólogos muestren escaso entusiasmo por el principio antrópico.

En su versión débil, el principio antrópico es una tautología estéril, que no nos permite explicar nada ni predecir cosa alguna que no conociéramos ya de antemano. En su versión fuerte, el principio antrópico es una especulación gratuita, sostenida solo por la previa fe religiosa. En palabras de McMullin (1994), «el principio antrópico débil es trivial [...] y el principio antrópico fuerte es indefendible». Si todavía alguien intenta resucitar el cadáver del antropocentrismo, necesitará un remedio más potente que el principio antrópico.⁹⁶

Notas:

- ⁷². Véase la cita en *Time*, 18-01-1993.
- ⁷³. Steven Weinberg, *Facing Up*. Harvard University Press, 2001. Traducción en español: *Plantar cara*. Paidós, Barcelona, pág. 57, 2003.
- ⁷⁴. Sin embargo, en agosto de 2001 John Webb y otros anunciaron en *Physical Review Letters*, número 87, que habían encontrado indicios astronómicos de un ligerísimo aumento con el tiempo (de un 0,001% en varios miles de millones de años) del valor de la constante de estructura fina, $\alpha = e^2/2\epsilon_0 hc \approx 1/137$. Esta constante desempeña un papel importante en la electrodinámica cuántica.
- ⁷⁵. Dingle, H. «Modern Aristotelianism». *Nature*, 139: 784-786, 1937.
- ⁷⁶. Comunicación personal.
- ⁷⁷. Gribbin, J. y Rees, M., *Cosmic Coincidences: Dark Matter, Mankind and Anthropic Cosmology*, Bantam Books, Nueva York, 1989. Traducción en español: *Coincidencias cósmicas*, Pirámide, 1991.
- ⁷⁸. Aguirre, A. «Cold Big-bang Cosmology as a Counterexample to Several Anthropic Arguments», *Physical Review D* 64, 2001, 043516.
- ⁷⁹. Carr, B. y Rees, M. *Cosmic Coincidences: Dark Matter, Mankind and Anthropic Cosmology*, pág. 13.
- ⁸⁰. Carter, B. «Large Number Coincidences and the Anthropic Principle in Cosmology», en M. Longair (ed.), *Confrontation of Cosmological Theories with Observational Data*, págs. 291-298, 1974.
- ⁸¹. Greenstein, G. *The Symbiotic Universe*. William Morrow, Nueva York, pág. 47, 1988.
- ⁸². Gribbin, J. y Rees, M. *Cosmic Coincidences: Dark Matter, Mankind and Anthropic Cosmology*, pág. 13, 1989.
- ⁸³. Kragh, H. «The anthropic cosmological principle», *Centaurus*, 30: 191-194, 1987.
- ⁸⁴. Carter, B. «The anthropic principle and its implications for biological evolution». *Philosophical Transactions of the Royal Society of London*, A 130: 347-363, 1983. Para una versión más reciente, véase D. Spiegel y E. Turner, «Bayesian analysis of the astrobiological implications of life's early emergence on Earth». *Proceedings of the National Academy of Sciences (USA)*, vol. 109, págs. 395-400, 2012.
- ⁸⁵. Bromberger, S., *On What We Know We don't Know*. The University of Chicago Press, 1992. Habla de nueve planetas, pues incluye Plutón.
- ⁸⁶. Carr, B. y Rees, M. «The anthropic principle and the structure of the physical world». *Nature*, 278: 605-612, 1979.
- ⁸⁷. Gale, G. «The Anthropic Principle». *Scientific American*, 245 (junio): 154-171, 1981.
- ⁸⁸. Swinburne, R., «Argument from the fine tuning of the Universe». En *Leslie 1990*, págs. 154-173, 1990.
- ⁸⁹. Wheeler J., «Genesis and Observership». En J. Butts y J. Hintikka (ed.), *Foundational Problems in the Special Sciences*, Reidel, Dordrecht, págs. 3-33, 1977.
- ⁹⁰. Earman, J., «The SAP also rises: A critical examination of the anthropic principle». *American Philosophical Quarterly*, 24: 307-317, 1987.
- ⁹¹. Bostrom, N., *Anthropic Bias: Observation Selection Effects in Science and Philosophy*. Routledge, Nueva York, 2002.

- [92](#). Ellis, G. y Brundrit, G., «Life in the infinite universe». *Quarterly Journal of the Royal Astronomical Society*, 20: págs. 37-41, 1979. Leslie, J., *Universes*. Routledge, Londres, Nueva York, 1989.
- [93](#). Gribbin, J. y Rees, M., *Cosmic Coincidences: Dark Matter, Mankind and Anthropic Cosmology*. Bantam Books, Nueva York, 1989.
- [94](#). Press, W., «A place for teleology?». *Nature*, 320: 315-316, 1986.
- [95](#). Tipler, F., *The Physics of Immortality*, Doubleday, 1994. Hay edición en español: *La física de la inmortalidad*. Alianza Editorial, Madrid, 2005.
- [96](#). Resúmenes del estado actual de la polémica sobre el principio antrópico pueden encontrarse en el libro de Helge Kragh, *Higher Speculations: Grand Theories and Failed Revolutions in Physics and Cosmology*, Oxford University Press, 2011, sobre todo en su capítulo 9, «Anthropic Science»; y también en Jesús Mosterín, «Le principe anthropique», en el libro de Cyrille Baudouin y Olivier Brosseau, *Enquête sur les créationnismes*. Éditions Belin, París, págs. 41-44, 2013.

Profesionales y aficionados

Premios Nobel

El químico sueco Alfred Nobel (léase Nobél) fue un hombre culto y creativo, políglota refinado y viajero incansable. En 1867, inventó la dinamita, un explosivo basado en la nitroglicerina y mucho más potente que la pólvora, que fue adoptado rápidamente en la minería y las obras públicas. El éxito del invento hizo millonario al inventor, pero las muertes producidas por la manipulación y el uso militar de la dinamita amargaron los últimos años de Nobel, que trató de aplacar su mala conciencia dejando su fortuna para premiar los esfuerzos por la paz y el progreso de la humanidad. El 27 de noviembre de 1895, un año antes de su muerte, escribió en París su testamento. En él legaba sus 33 millones de coronas para la creación de un fondo cuyos intereses se distribuirían entre las personas que el año anterior «hubieran aportado los mayores beneficios a la humanidad», en concreto en los campos de la física, la química, la medicina, la literatura y la paz. Con los intereses de ese legado se sufragaban los Premios Nobel (excepto el de Economía, creado en 1968 y financiado por el Banco Central de Suecia).

Los nombres de los premiados se anuncian en otoño. Los premios se entregan el 10 de diciembre (aniversario de la muerte de Nobel): el de la Paz, en Oslo; los demás, en una ceremonia solemne previamente ensayada y luego representada en el Teatro Real de Estocolmo, donde cada premiado recibe una medalla y un cheque de un millón de euros (o la parte alícuota, si es compartido). Por último, se celebra una cena y un baile de gala, a la que acuden todos los invitados vestidos de etiqueta rigurosa. Hace unos años presencié todo el ceremonial, y me pareció excesivamente formal y estirado, aunque se aprecia la buena intención de los organizadores de darle el máximo realce. Además, ¿por qué limitarse a celebrar las victorias militares o los campeonatos de fútbol? ¿Por qué no celebrar una vez al año con toda pompa —como hacen en Estocolmo— los descubrimientos científicos?

La fiesta del Nobel coincide con la celebración en Suecia de la festividad de Santa Lucía y la llegada del invierno. La costumbre tradicional quiere que los infantes suecos se levanten ese día a las cinco de la madrugada, se pongan una corona de velas encendidas en la cabeza y vayan a cantar. Más de un premio Nobel alojado en el Gran Hotel de Estocolmo ha sido sorprendido con esta inesperada serenata tras haber pasado una agitada noche.

Está muy bien que existan los Premios Nobel. Siempre están bien los incentivos, los premios, incluso los sueños de casi imposible consecución, pero que están ahí en el horizonte, como un acicate a sacarnos del apoltronamiento, a esforzarnos, a dar lo mejor de nosotros mismos. Un político puede soñar con llegar a ser presidente del Gobierno, un ciclista con ganar el Tour. ¿Con qué puede soñar un científico? Con ganar el Premio Nobel. Ningún científico trabaja para ello. Pero a nadie le amarga un dulce de un millón de euros ni el prestigio que lo acompaña.

Los Premios Nobel se conceden a individuos por sus propios méritos personales y con independencia de su nacionalidad. Los escritores de lengua española han conseguido once Premios Nobel de Literatura (cinco concedidos a españoles y seis a latinoamericanos), es decir, bastantes más que los de cualquier otra lengua, excepto el inglés, el francés y el alemán. Los últimos escritores hispanos laureados han sido el colombiano Gabriel García Márquez (1982), el español Camilo José Cela (1989), el mexicano Octavio Paz (1990) y el peruano Mario Vargas Llosa (2010). Cinco hispanoamericanos han recibido el Premio Nobel de la Paz, el más discutido, sin duda, pero quizá el más próximo al corazón del fundador. Los dos últimos han sido el costarricense Óscar Arias (1987) y la guatemalteca Rigoberta Menchú (1992). Si existiera un Premio Nobel de Pintura, seguro que los hispanos habríamos recibido varios. Si existiera un Premio Nobel de Matemáticas, seguro que no habríamos conseguido ninguno.

La cosecha científica hispánica ha sido escasa, pero no nula. Los hispanos han conseguido 5 Premios Nobel de Fisiología o Medicina, de los cuales dos han ido a parar a los españoles Santiago Ramón y Cajal (1906), por sus estudios del tejido nervioso, y a Severo Ochoa (1959), por la síntesis artificial de ácidos nucleicos; y otros dos a los argentinos Bernardo Houssay (1947), por sus estudios sobre el páncreas y la glándula pituitaria, y César Milstein (1984) por sus descubrimientos en inmunología. El de 1980 recayó en el venezolano Baruj Benacerraf, por su descubrimiento de la determinación genética de la respuesta inmune individual frente a ciertos antígenos. Ochoa y Benacerraf efectuaron sus descubrimientos en Estados Unidos; Milstein, en Gran Bretaña. El Premio Nobel de Química recayó en 1970 en el argentino Luis Leloir, por su descubrimiento de los compuestos químicos que afectan el almacenamiento de energía en forma de ATP en los organismos, y en 1995 en el mexicano Mario Molina, por sus investigaciones sobre la química de la destrucción del ozono en la estratosfera. Molina realizó sus investigaciones en Estados Unidos. Ningún hispano ha recibido todavía el Premio Nobel de Física, quizá el más prestigioso de todos, ni tampoco el de Economía.

No es por casualidad que Estados Unidos acapare más Premios Nobel que nadie, al menos desde la Segunda Guerra Mundial. Los Premios Nobel son un espejo (aunque deformado) de la realidad. Si el predominio norteamericano en los Premios Nobel era de

esperar, resulta admirable y sorprendente la gran presencia entre los galardonados de los judíos, cuyo florecimiento científico es reciente, de apenas hace un siglo y medio. Hasta el siglo XIX la presencia de los judíos entre los científicos creativos era prácticamente nula. Tras su emancipación y salida del gueto, los judíos protagonizaron una auténtica explosión de creatividad científica. De todos los físicos del mundo que han recibido el Premio Nobel de Física, el 26% han sido judíos; de entre los americanos, el 38%. El 40% de los miembros de la división de física de la National Academy of Sciences de Estados Unidos son judíos. La presencia de los judíos en otros premios famosos de física es aún mayor que en el Nobel. Han sido judíos el 28% de los galardonados con la medalla Max Planck, concedida en Alemania; el 38% de los receptores del Daniel Heineman Prize for Mathematical Physics, concedido en Estados Unidos por la American Physical Society y el American Institute of Physics; el 44% de los galardonados con la medalla Dirac, concedida por el ICTP en Italia; y el 51% de los agraciados con el premio Wolf de Física, concedido en Israel. El 20% de los galardonados con el Premio Nobel de Química son judíos; entre los americanos, el 28%. De los ganadores del Premio Nobel de Fisiología y Medicina, el 29% han sido judíos. De entre los galardonados americanos, el 42% han sido judíos. (También el argentino Milstein y el venezolano Benacerraf eran judíos.)

Recientemente, otros millonarios han tratado de emular a Alfred Nobel, creando premios generosamente dotados para científicos sobresalientes.⁹⁷ Así, el magnate ruso de Internet Yuri Milner (de Digital Sky Technologies), que había estudiado física teórica en su juventud, decidió crear un premio de Física Fundamental, dotado con 3 millones de dólares y especialmente abierto a las ideas especulativas. En 2012, y para empezar, concedió nueve de estos premios (de 3 millones de dólares cada uno) a otros tantos físicos, incluyendo a Stephen Hawking y a teóricos de las supercuerdas, como Edward Witten y Juan Maldacena, y de la inflación cósmica, como Alan Guth y Andrei Linde, así como a los directores de los experimentos del LHC que condujeron al descubrimiento del bosón de Higgs. Además, anunció que a partir de entonces se concedería un nuevo premio cada año. El de 2013 ha recaído en el físico teórico de supercuerdas Alexander Polyakov. Todos estos premios se entregaron en 2013 en Ginebra en un acto aparatoso, que ha sido comparado a la gala de los Óscar. Milner se pregunta que por qué los físicos creativos tienen que ganar menos que los deportistas famosos o los ejecutivos. También en 2013, varios empresarios exitosos de Internet, como Mark Zuckerberg (de Facebook), Sergey Brin (de Google) y el mismo Yuri Milner, han creado un premio para Avances en las Ciencias de la Vida (Breakthrough Prize in Life Sciences), dotado también con 3 millones de dólares. En 2013, han concedido once de estos premios (de 3 millones cada uno) a otros tantos biólogos que han hecho descubrimientos genéticos y biológicos que pueden conducir a alargar la vida humana. Por comparación, cada Premio Nobel está

dotado actualmente con 1,2 millones de dólares. De todos modos, todavía no sabemos si estos nuevos premios perdurarán en el tiempo ni si llegarán a adquirir el prestigio de los Premios Nobel, del que de momento carecen. En parte ello dependerá del acierto que tengan en sus concesiones.

Científicos aficionados

La comunidad científica está formada por un gran número de personas, por cientos de miles de profesionales, que trabajan en numerosas instituciones (universidades, empresas, centros de investigación, observatorios, etcétera); solo una proporción mínima recibe el Premio Nobel, o alguno de los otros premios citados, a los que tampoco hay que dar demasiada importancia. Además de los científicos famosos y de los profesionales competentes, la actividad científica, con frecuencia, recibe el estímulo e incluso la contribución intelectual de los aficionados, cuya aportación desinteresada hay que elogiar.

La ciencia, como el sexo, no es patrimonio de los profesionales. Casi toda la ciencia clásica fue obra de aficionados. Ya en el siglo XVII (y por poner dos ejemplos muy distintos) tanto el matemático y filósofo René Descartes como la pintora y entomóloga María Sibylla Merian, que contribuyó decisivamente al descubrimiento de la metamorfosis de los insectos y a la comprensión y descripción del papel de las orugas y crisálidas en la vida de las mariposas, investigaron por su cuenta y con independencia de universidades o instituciones. En los siglos XVIII y XIX desempeñaron un papel crucial los científicos privados (llamados en Inglaterra *gentleman scientists*), que se autofinanciaban por su cuenta y realizaban sus investigaciones por gusto y curiosidad, con independencia de universidades, academias o gobiernos. En el siglo XVIII, Henry Cavendish, un típico *gentleman scientist*, hizo muchos descubrimientos, como el del elemento hidrógeno, al que dio nombre Antoine Lavoisier, el fundador de la química moderna, que también sufragaba de su bolsillo sus investigaciones. Lo mismo podríamos decir de Benjamin Franklin. En el paso al siglo siguiente, los hermanos Caroline y William Herschel, astrónomos independientes y heroicos, que se ganaban la vida con la música y construían sus propios telescopios, confeccionaron los primeros catálogos de galaxias y pusieron en marcha la astronomía actual. Todavía en el siglo XIX el monje Gregor Mendel fundaba la genética mientras se entregaba a su *hobby* botánico, cultivando y cruzando guisantes de diversos tipos en el huerto del convento. Los profesionales no le hicieron el menor caso, y sus leyes tuvieron que ser redescubiertas en 1900 por De Vries. El mismo Charles Darwin nunca dio clase en una universidad, sino que investigaba en su casa, financiándose con sus propios medios (y los de su mujer).

Esta tradición no se rompió en el siglo XX. En 1905, Albert Einstein estaba empleado en la oficina de patentes de Berna y, aunque alejado de toda institución académica, daba vueltas en su cabeza a los grandes problemas de la física de su tiempo. En ese *annus*

mirabilis 1905 descubrió el efecto fotoeléctrico (por el que más tarde recibiría el Premio Nobel de Física), explicó el movimiento browniano e inventó la teoría especial de la relatividad. Incluso después de haber publicado estos resultados, todavía tendría que esperar cuatro años más para que alguien le ofreciese una modesta posición universitaria, como veremos en el próximo capítulo.

El argentino Luis Leloir financiaba con su propio dinero el instituto de investigación bioquímica que dirigía en Buenos Aires y los experimentos que le valieron el Premio Nobel de Química de 1970. El correspondiente premio de 1978 lo obtuvo Peter Mitchell, que descubrió el mecanismo de la síntesis de ATP por fosforilación oxidativa. Desde 1965 investigaba por su cuenta en una casa que había restaurado como vivienda y laboratorio en la península de Cornwall. También el famoso James Lovelock, autor de la hipótesis Gaia y de múltiples descubrimientos e invenciones, trabajaba por su cuenta en su casa de la campiña inglesa. Jane Goodall y Jordi Sabater Pi descubrieron la cultura de los chimpancés cuando aún carecían de estudios. En 1952, el joven arquitecto británico Michael Ventris, criptógrafo aficionado, descifró la escritura lineal B, abriendo así para la ciencia histórica varios siglos de cultura griega prehomérica, la cultura micénica.

Incluso en un campo tan dependiente de costosas instalaciones como la astronomía, los aficionados desempeñan un gran papel. En 1993, el astrónomo aficionado gallego Francisco García Díaz descubrió la supernova más brillante vista en el hemisferio norte en los últimos 23 años (la SN 1993J). En 1995, el aficionado británico George Sallit encontró un pequeñísimo planeta con su telescopio de 30 centímetros instalado en el jardín trasero de su casa. El descubrimiento fue luego verificado por astrónomos de la Universidad de Harvard y del Smithsonian Institute. En enero de 1996, el aficionado japonés Hyakutake Yuji descubrió el brillante cometa que lleva su nombre (el C 1996B2). Una vez comunicado su hallazgo, el cometa fue objeto de intenso seguimiento por los astrónomos profesionales de todo el mundo. El cometa Hale-Bopp, visible a simple vista en la primera mitad de 1997, había sido descubierto simultáneamente por un profesional (Hale) y por un aficionado de Arizona, Thomas Bopp. El observatorio astronómico privado de Blackbird ha permitido a astrónomos independientes obtener imágenes profundas de galaxias próximas que en varios casos han superado a las de los observatorios oficiales.

Desde hace dos o tres décadas, las colaboraciones entre astrónomos profesionales y aficionados se han multiplicado. El astrónomo Joe Patterson (de la Universidad de Columbia) ha mantenido desde 1991 una fecunda relación de cooperación científica con un grupo de unos 30 aficionados serios de todo el mundo, que han contribuido eficazmente al estudio de los sistemas binarios de variables cataclísmicas, en los que una enana blanca, más pequeña y densa, atrae hidrógeno y otros materiales de su compañera cercana, más grande y menos densa. La materia así atraída va cayendo hacia la enana

blanca siguiendo una trayectoria espiral que forma un disco de acreción elíptico. Estos sistemas pueden servir de modelo para entender la formación de sistemas solares o los procesos que tienen lugar en el centro de muchas galaxias, donde un agujero negro atrae grandes cantidades de materia circundante. Estudiar el funcionamiento de las variables cataclísmicas requiere reconstruir sus trayectorias en el tiempo a base de muchos registros espectroscópicos, que indican los cambios en su velocidad radial respecto a nosotros. Coleccionar tales datos de múltiples sistemas binarios variables, requeriría mucho más tiempo de observación del que ningún astrónomo recibe en los grandes observatorios, donde la competición por el escaso tiempo disponible es enorme. Joe Patterson ha solucionado el problema sugiriendo a diversos aficionados que observen los sistemas que él les indica, y analizando luego sus resultados. Así los aficionados, que disponen de equipos pequeños pero sofisticados, pueden registrar cientos de datos cada noche, y unir sus nombres al de Patterson en los artículos que este escribe con sus datos. Otros varios grupos de aficionados a la astronomía realizan ahora trabajos en colaboración con profesionales, coordinados a través de Internet.

Ya hemos mencionado las contribuciones del científico independiente James Lovelock a la teorización del funcionamiento global de la biosfera. De todos modos, además de ideas globales, necesitamos información detallada y localizada. La enorme biodiversidad y complejidad de la biosfera supera con mucho las posibilidades de estudio de campo de los profesionales y el tiempo que pueden dedicar a la observación y la recolección de datos sobre los ecosistemas, los animales y las plantas. Aquí resulta imprescindible la contribución de cientos de miles de naturalistas aficionados, voluntarios y entusiastas, que en muchos países hacen censos de aves, las anillan y registran el ritmo de sus migraciones; que observan y toman nota del desove de las tortugas, que determinan la distribución espacial de las diversas especies de plantas y que documentan y fotografían todo tipo de especímenes y fenómenos que sin ellos habrían permanecido desconocidos. Hay miles de casos. Por ejemplo, en junio de 2013 la sociedad ornitológica SEO/Birdlife presentó el primer *Atlas de las aves en invierno en España*, que recoge los datos inéditos recogidos por 2600 voluntarios que han pateado incansablemente durante tres años las costas, campos, bosques, montes y ciudades de España identificando a cuanta ave individual han encontrado y anotando con precisión su localización, fecha y características. También ellos forman parte esencial de la empresa científica.

Notas:

[97](#). Merali, Z., «The New Nobels». *Nature*, vol. 498, págs. 152-154, (13-06-2013).

Albert Einstein

Vida familiar

Albert Einstein (1879-1955) nació y se crió en la ciudad alemana de Ulm, en el seno de una familia judía bien avenida e industrial de pequeños empresarios eléctricos. Como judíos alemanes liberales, los Einstein eran tolerantes y escépticos respecto a su propia religión, que no se tomaban demasiado en serio y cuyos ritos no practicaban. A la edad de once años, Einstein aprendió los elementos del judaísmo de un pariente y recibió educación religiosa en el colegio (el Luitpold Gymnasium), lo que provocó en él una fase de religiosidad ortodoxa, que no duró mucho. «La lectura de libros de divulgación científica me convenció pronto de que las historias de la Biblia no podían ser ciertas.» De hecho, Einstein no recibió el *bar mitzvá* (la confirmación religiosa que marca la entrada del muchacho judío de trece años en la comunidad), lo cual es síntoma de gran desinterés por la religión. A pesar de todo, su condición de judío fue uno de los factores que dificultaron su búsqueda de un empleo académico, incluso después de sus sensacionales contribuciones de 1905.

Trasladado a Suiza, Albert completó su formación secundaria con un año en la escuela cantonal de Aarau. En 1896, a los 17 años de edad, renunció a la nacionalidad alemana para no tener que hacer el servicio militar. Ese mismo año ingresó en la famosa Escuela Superior Federal de Tecnología (Eidgenössische Technische Hochschule, ETH) de Zúrich, una de las mejores universidades politécnicas del mundo, cuyos profesores y alumnos han obtenido 21 Premios Nobel. Einstein siguió los estudios de matemáticas y física de la ETH. La única mujer en su curso era Mileva Marich, con la que leía libros de física y filosofía. En 1900 Einstein pasó los exámenes finales de licenciatura en la ETH, pero no así Mileva, a la que suspendieron en matemáticas.

Einstein nunca fue un hombre de familia y siempre reconoció su fracaso como marido y padre. Durante su época de estudiante en la ETH, Albert se enamoró de su compañera de estudios Mileva Marich, una serbia tres años mayor que él y con un defecto en la cadera que la hacía cojear ligeramente. Sus padres se opusieron frontalmente a esta relación y a su posterior boda. A pesar de ello, Albert y Mileva se casaron en 1903 en Berna, donde Einstein había obtenido su primer trabajo estable como empleado de la Oficina Federal de Patentes. Para entonces, Mileva había ya dado a luz a una hija de Einstein, Lieserl, a la que había dejado en su pueblo de Novi Sad y a la que Einstein

nunca llegó a ver. Albert y Mileva tendrían dos hijos más, Hans Albert y Eduard, nacidos en 1904 y 1910, respectivamente. El primero tuvo una carrera académica normal, que concluyó en la Universidad de California. El segundo se volvió esquizofrénico y acabó sus días en un manicomio. Einstein apenas tuvo relación con ellos.

A pesar de que Mileva fue la única mujer de la que Einstein llegó a enamorarse, con la que podía hablar de física y con la que tuvo hijos, el matrimonio pronto acabó mal. Apenas establecido en Berlín en 1914, Einstein decidió separarse de Mileva, que tuvo que volver con sus hijos a Zúrich. En los dos años siguientes, Einstein trabajó con enorme intensidad y concentración en la puesta a punto de la teoría general de la relatividad. Quedó exhausto y enfermó. Su prima Elsa Einstein, tres años mayor que él (como Mileva) y divorciada, lo cuidó durante su larga enfermedad, haciendo a la vez de cocinera y enfermera. En 1919, Einstein obtuvo el divorcio de Mileva, bajo la condición de que tendría que entregarle el importe del futuro Premio Nobel (que ya se daba por descontado), pues Mileva asumía en solitario la crianza de los hijos. Inmediatamente después Einstein se casó con Elsa, más por razones instrumentales que sentimentales. Aunque no llegaron a intimar en ningún sentido, fue una relación cómoda para ambos. En 1933, Albert y Elsa emigraron a Estados Unidos, donde ella murió tres años después de problemas cardíacos y renales.

Tras la muerte de Elsa en 1936, Helen Dukas, secretaria de Einstein desde 1928, se convirtió también en su ama de llaves, ocupándose de él y de su casa con eficacia y devoción. Tras la muerte de Einstein en 1955, Helen Dukas se dedicó a crear el Archivo Einstein, que reunió todos sus papeles y correspondencia, con lo que prestó un gran servicio a la posterior edición de sus obras completas. La hermana de Einstein, Maja, vivió también con él desde 1939 hasta su muerte en 1951. Einstein tuvo diversos ligues con mujeres más jóvenes, como el recientemente descubierto con la espía rusa Margarita Konenkova hasta 1945.

Vida profesional

Una vez acabados sus estudios, Einstein tardó nueve años en encontrar un trabajo académico. Para ganarse la vida, en 1902 se trasladó a Berna, donde obtuvo una plaza de empleado examinador de las solicitudes de patentes de aparatos eléctricos en la oficina federal de patentes de Berna. Allí se familiarizó con las cuestiones prácticas de la sincronización y la emisión de señales que tan gran papel desempeñarían en la génesis de la teoría especial de la relatividad. En Berna conoció a un par de jóvenes interesados por la física y la filosofía (como el matemático rumano Maurice Solovine), con los que se reunía periódicamente en su vivienda para discutir hasta la madrugada sobre esos temas en lo que ellos denominaban en broma la Academia Olimpia.

En los ratos libres que le dejaba su trabajo en la oficina de patentes y alejado de toda

institución académica, Einstein daba vueltas en su cabeza a los problemas de la física de su tiempo. En el *annus mirabilis* 1905, además de introducir un método para medir el tamaño de las moléculas, que presentó como tesis doctoral en la ETH de Zúrich, Einstein realizó cuatro importantes descubrimientos, presentados en otros tantos artículos publicados en *Annalen der Physik*, la revista de física más prestigiosa en aquel momento: Einstein explicó el movimiento browniano, descubrió el fotón o cuanto de luz, explicó el efecto fotoeléctrico (por lo que en 1921 se le concedería el Premio Nobel de Física) e inventó la teoría especial de la relatividad.

El botánico Robert Brown había observado el movimiento aleatorio y en zig-zag de granos de polen sumergidos en un líquido. Este movimiento browniano se da en todo tipo de partículas relativamente grandes, como granos de polvo, suspendidas en un fluido formado por partículas más pequeñas, como moléculas, en constante agitación térmica. Einstein explicó el movimiento browniano como producido por los choques de las moléculas del fluido con los granos de polvo. En torno a sus investigaciones sobre el tamaño de las moléculas, la mecánica estadística, la difusión y el movimiento browniano, logró también calcular el número de Avogadro $N_A \approx 6 \times 10^{23}$ (el número de átomos o moléculas en un mol de una sustancia). Estas investigaciones tuvieron muchas aplicaciones prácticas y contribuyeron a la aceptación generalizada de la realidad de átomos y moléculas.

Einstein aplicó la mecánica cuántica a la luz, que él consideró constituida por cuantos o partículas localizadas de luz, los fotones. Calculó que la energía de los fotones asociados a una onda luminosa de frecuencia ν es νh , donde h es la constante de Planck. Hubo mucha resistencia a aceptar la existencia de los fotones, incluso después de que los experimentos de Millikan la confirmaran en 1914. El efecto fotoeléctrico consiste en la emisión de electrones por una placa metálica iluminada; es decir, la luz hace saltar electrones de la placa. Mediante su concepción cuántica de la luz, Einstein logró explicar el hasta entonces inexplicable efecto fotoeléctrico, que fue la contribución por la que en 1921 le fue concedido el Premio Nobel de Física.

Incluso después de estos descubrimientos y publicaciones, Einstein todavía tendría que esperar cuatro años más hasta obtener en 1909 una modesta posición académica como profesor asociado de la ETH de Zúrich. En 1911, se trasladó a Praga, en cuya universidad de lengua alemana obtuvo una cátedra. Al año siguiente volvió a Zúrich. En 1914, finalmente, alcanzó una posición acorde con su valía y prestigio: una plaza especial de profesor de investigación en la Academia de Ciencias de Prusia, en Berlín, así como la dirección del Instituto de Física Kaiser Wilhelm, que ocuparía hasta justo antes de la llegada de Hitler al poder en 1933.

Teoría especial de la relatividad

Como vimos en el capítulo 10, a principios del siglo XX los físicos se dieron cuenta de la incompatibilidad entre la electrodinámica de Maxwell y la mecánica de Newton. Las ecuaciones de la mecánica de Newton son invariantes bajo transformaciones de Galileo, pero las ecuaciones del electromagnetismo de Maxwell no lo son; en vez de ello, son invariantes bajo transformaciones de Lorentz. La transformación de Galileo del tiempo (entre las coordenadas t y t') es simplemente: $t' = t$. La transformación de Lorentz del tiempo es:

$$t' = \frac{1}{\sqrt{1-\frac{v^2}{c^2}}} \left(t - \frac{vx}{c^2} \right)$$

Cuando la velocidad v se aproxima a 0, la transformación de Lorentz del tiempo se aproxima a la transformación de Galileo, $t' = t$. Pero a grandes velocidades, ambas fórmulas divergen muchísimo y arrojan valores completamente diferentes. La inconsistencia percibida entre la mecánica newtoniana y el electromagnetismo de Maxwell indujo a Albert Einstein a crear en 1905 la teoría especial de la relatividad.

Como ya indicamos en el capítulo 7, la teoría especial de la relatividad de Einstein se basa en dos principios. El primero de ellos es el principio de relatividad especial, que da su nombre a la teoría. Este principio dice que las leyes de la física son las mismas en todos los sistemas inerciales, o, equivalentemente, que las leyes de la física son invariantes respecto a transformaciones de Lorentz. El segundo principio dice que la velocidad de una señal u objeto físico no puede exceder la velocidad de la luz en el vacío; que es una constante c idéntica para todos los observadores e independiente del movimiento relativo de esos observadores. Esta teoría involucraba un cambio decisivo en nuestras nociones de tiempo y de simultaneidad, que ya no eran absolutas, sino relativas y dependientes del marco de referencia.

A pesar de su genialidad, Einstein con frecuencia malinterpretaba los trabajos de los demás. Eso le pasó inicialmente con Hermann Minkowski (1864-1909), que había sido su profesor de matemáticas en la ETH de Zúrich y de cuyas enseñanzas Einstein guardaba un excelente recuerdo. En 1902, Minkowski se había mudado a la Universidad de Göttingen. En su famosa conferencia «Zeit und Raum» («Tiempo y espacio»), pronunciada en Colonia en 1908, introdujo el espaciotiempo, un espacio 4-dimensional que sustituiría para siempre en la física al espacio y al tiempo separados: «Las ideas de espacio y tiempo que deseo exponer ante ustedes han surgido del suelo de la física experimental y en ello radica su fuerza. Son radicales. A partir de ahora, el espacio mismo y el tiempo mismo están destinados a desaparecer como meras sombras, y solo una especie de unión entre ambos preservará una realidad independiente». Esta unión es el espaciotiempo. El espacio es relativo al observador y a su sistema de referencia, y el

tiempo también, pero la distancia o intervalo espaciotemporal es absoluto. Por eso Minkowski llama mundo absoluto al espaciotiempo y subraya que el principio de relatividad es un principio de absolutidad.

También en 1908 presentó Minkowski una nueva, simplificada y más elegante manera de concebir la teoría especial de la relatividad. Minkowski dio a las ecuaciones de Maxwell-Lorentz su moderna forma tensorial e introdujo los términos de vector espaciotemporal y temporal, cono de luz y cosmológica. La teoría especial de la relatividad pasó a ser considerada como la teoría de las invariancias respecto al grupo de Lorentz en el espaciotiempo 4-dimensional de Minkowski. El carácter Lorentz-invariante de las leyes quedaba asegurado por la mera forma de su formulación. Al principio, y durante varios años, Einstein no comprendió ni apreció la hazaña de Minkowski y su concepción del espaciotiempo. Inicialmente consideró la reformulación de su teoría por Minkowski en forma tensorial como «erudición superflua» («überflüssige Gelehrsamkeit»). Más tarde sí la comprendió, y la usó esencialmente para construir la teoría general de la relatividad. En 1912 el mismo Einstein adoptó los métodos tensoriales. En 1916, finalmente, reconoció su deuda con Minkowski por haberle facilitado la transición de la teoría especial a la teoría general de la relatividad; pero, para entonces, Minkowski llevaba ya siete años muerto.

Teoría general de la relatividad

La teoría especial de la relatividad encaja como un guante con las ecuaciones del electromagnetismo de Maxwell, pero es incompatible con las de la mecánica newtoniana. La ley de la gravitación universal de Newton no es invariante bajo transformaciones de Lorentz, y por tanto, es irreconciliable con la relatividad especial. Einstein enseguida se dio cuenta de que sería necesario crear una nueva teoría de la gravedad, una empresa de titánica dificultad. En los años de búsqueda, Einstein se dejó guiar por la intuición del principio de equivalencia: no es posible distinguir mediante experimentos físicos entre un laboratorio (encerrado en una gran caja sin ventanas) en caída libre en un campo gravitacional uniforme dirigido hacia el suelo y un laboratorio en movimiento uniformemente acelerado dirigido hacia el techo, como un ascensor. La inercia y la gravitación son lo mismo.

Adoptando el enfoque geométrico y la métrica de Minkowski, las partículas en movimiento inercial describen geodésicas (líneas «rectas» del espaciotiempo de Minkowski). Yendo más allá de la geometría plana y uniforme de Minkowski, y usando los recursos de la geometría diferencial del espacio curvo de curvatura variable de Riemann, Einstein efectuó una unificación inédita de física y geometría y creó una nueva teoría de la gravitación: la teoría general de la relatividad. Esta teoría se llama “general” porque en ella las leyes de la física son invariantes no solo respecto a los marcos de

referencia inerciales, como en la relatividad especial, sino también respecto a los acelerados, es decir, son invariantes respecto a marcos de referencia cualesquiera, en general. Además, y siguiendo a Mach, la inercia y la gravitación dependen de la distribución de las masas. Como más tarde resumiría John A. Wheeler, «el espaciotiempo le dice a la materia cómo moverse; la materia le dice al espaciotiempo cómo curvarse».⁹⁸

Después de ocho años de esfuerzos extenuantes y de varios intentos fallidos de desarrollar una teoría de la gravitación compatible con la relatividad especial, en noviembre de 1914, Einstein encontró finalmente la solución y ese mismo mes entregó en la Academia de Ciencias de Prusia el manuscrito «Die Feldgleichungen der Gravitation» («Las ecuaciones del campo gravitacional»), que contiene ya las ecuaciones correctas de la teoría general de la relatividad. Quedó exhausto por el esfuerzo y en los años siguientes cayó varias veces enfermo.

La teoría general de la relatividad de Einstein se aplica a realizaciones o modelos constituidos por una variedad diferenciable 4-dimensional con ciertas propiedades (Hausdorff, conectada y paracompacta). Esta variedad está provista de una métrica lorentziana g_{ab} con signatura $(-+++)$. En ella vale el principio einsteiniano de equivalencia entre gravedad y curvatura del espaciotiempo. Las ecuaciones de campo de Einstein describen cómo la distribución de la energía determina la métrica del espaciotiempo, y por tanto, su curvatura:

$$R_{ab} - \frac{1}{2} g_{ab} R + \Lambda g_{ab} = \frac{8\pi G}{c^4} T_{ab}$$

donde R_{ab} es el tensor de Ricci, g_{ab} es la métrica, R es el escalar de curvatura, Λ es la constante cosmológica, G es la constante gravitacional de Newton, c es la velocidad de la luz y T_{ab} es el tensor de energía.

El eclipse total de Sol del 29 de mayo de 1919, ofrecía la ocasión de poner a prueba la nueva teoría, pues permitiría medir el desplazamiento de la luz de las estrellas cercanas (en la línea de visión) al Sol por efecto de la atracción gravitatoria del Sol, tal y como predecía la teoría general de la relatividad. Una expedición a la isla de Príncipe (en África) dirigida por Arthur Eddington y otra a Sobral (en Brasil) permitieron medir el desplazamiento de la luz de esas estrellas por el Sol. Estas medidas confirmaron las predicciones de Einstein de un desplazamiento de 1,7 segundos de arco. Este espectacular resultado fue noticia de primera página en la prensa de todo el mundo, catapultando inmediatamente a Einstein a una fama sin precedentes para un científico. Desde entonces, Einstein siempre fue un héroe mediático. Cuando, dos años después, realizó su primer viaje a Nueva York, fue recibido en olor de multitud. Einstein acabó

convirtiéndose en el científico más popular de todos los tiempos. Cuando la revista *Time* pidió a sus lectores que eligieran al hombre más importante de todo el siglo XX, Einstein fue con diferencia el personaje que más votos obtuvo.

Ya hemos hablado de la falta de comprensión inicial por parte de Einstein de la contribución de Minkowski a la relatividad especial. Lo mismo le pasó con Karl Schwarzschild (1873-1916) respecto a la general. En 1915, Schwarzschild estaba en el frente ruso de la Primera Guerra Mundial. Allí leyó el artículo de Einstein sobre la relatividad general y enseguida lo aplicó a las estrellas. Ese mismo año, 1915, propuso la primera solución conocida (que lleva su nombre) de las ecuaciones de Einstein para el campo gravitatorio en torno a una estrella esférica en reposo (en su propio sistema inercial). Esta solución permitía no solo deducir las ecuaciones relativistas de las órbitas planetarias, sino además explicar la precesión anómala en el perihelio de Mercurio. En 1916, propuso la solución para el interior de la estrella, un espacio curvado. Poco después murió, todavía joven, de una enfermedad contraída en el frente.

Ya en el siglo XVIII, John Mitchell y Pierre-Simon Laplace habían deducido de la mecánica newtoniana, suponiendo la naturaleza corpuscular de la luz, cuál sería la circunferencia crítica de una estrella de masa dada, es decir, la circunferencia mínima que permitiría salir a la luz. Para circunferencias más pequeñas de una estrella de la misma masa, la velocidad de escape (que es inversamente proporcional a la circunferencia) sería superior a la velocidad de la luz, por lo que la estrella no emitiría luz alguna. Para una estrella de la masa del Sol, la circunferencia crítica sería de unos 18,5 kilómetros. La solución de Schwarzschild de las ecuaciones de Einstein también predice que, a partir de cierta circunferencia crítica y para cierta masa, la luz no puede salir. El espaciotiempo se alabea o curva tan intensamente que el tiempo se para y el corrimiento de la luz hacia el rojo se hace infinito, con lo que la luz deja de existir. Se trata de las «singularidades de Schwarzschild», más tarde bautizadas por Wheeler como “agujeros negros”.

Einstein nunca aceptó los agujeros negros de Schwarzschild. Durante las décadas de 1920 y 1930, tanto Einstein como Eddington se opusieron vehementemente a ellos. Primero Einstein ignoró la hipótesis de las singularidades de Schwarzschild. En 1939, publicó un artículo técnico tratando de mostrar que eran imposibles: «el resultado esencial de esta investigación es una comprensión clara de por qué las “singularidades de Schwarzschild” no existen en la realidad física». Sus cálculos eran correctos, pero estaban interpretados equivocadamente, pues excluía la posibilidad de que la estrella colapsara e implosionara, al superar la gravitación a cualquier otra fuerza que se le pudiera oponer. Con ello negaba una consecuencia de su propia teoría. Hasta 1970, la comunidad física no se tomó en serio los agujeros negros. Desde entonces se han convertido en uno de los temas centrales de la relatividad general. Aunque imposibles de detectar directamente, hay una amplia evidencia indirecta de su abundancia en el

Universo. El centro mismo de nuestra galaxia, y el de la mayoría de las galaxias, parece estar constituido por un gran agujero negro.

Otro caso de incomprensión inicial de Einstein se refiere a Alexander Friedmann (1888-1925). En 1922, Friedmann propuso el modelo de un Universo en expansión, mostrando que las ecuaciones de campo de Einstein admiten una solución no estática, sino dinámica, con distribución homogénea de la materia y un Universo en expansión. Einstein creyó que la solución de Friedmann era incorrecta y publicó una crítica negativa, diciendo que contenía errores. Friedmann le escribió una larga carta, explicándole sus cálculos y mostrando que el error no era suyo, sino de Einstein. Einstein no leyó la carta, pero un año más tarde se dio cuenta de su propio error y se retractó, llamando clarificadora a la aportación de Friedmann, aunque negándole toda relevancia física. La solución de Friedmann a las ecuaciones de la relatividad general, inicialmente rechazada por Einstein, acomodaba naturalmente un universo en expansión, como el nuestro, y ahora es la base del modelo cosmológico estándar del Big Bang, que tiene métrica FRW. La “F” de “FRW” se refiere a Friedmann.

El caso más famoso e importante de incomprensión por parte de Einstein se refiere a la mecánica cuántica. Einstein fue, junto con Max Planck (1858-1947) y Niels Bohr (1885-1962), uno de los descubridores de la cuantización de la energía; introdujo el fotón o cuanto de radiación electromagnética e hizo contribuciones esenciales a la inicial teoría cuántica. Sin embargo, cuando la mecánica cuántica se constituyó en 1925, Einstein se negó a aceptarla por considerarla incompleta y meramente probabilista, aferrándose así a la noción determinista de la causalidad. Los continuos esfuerzos de su amigo Niels Bohr no bastaron para hacerle cambiar de opinión. De todos modos, este asunto es demasiado profundo y complejo como para despacharlo aquí en unas líneas; quede solo apuntado.

El Institute for Advanced Study (IAS) de Princeton

A finales del siglo XIX y principios del XX, Estados Unidos tuvo un considerable desarrollo económico, impulsado por la libertad de mercado y por la actividad de muchos empresarios ambiciosos, con frecuencia pobres emigrantes que lograban amasar enormes fortunas a base de iniciativa y tesón. Esas fortunas superaban las posibilidades de consumo individual o familiar, y con frecuencia acababan siendo devueltas a la sociedad en forma de donaciones o fundaciones filantrópicas. Andrew Carnegie, por ejemplo, emigró a América a los doce años junto a sus padres, tejedores escoceses en paro. Con el tiempo, el espabilado joven acabó convirtiéndose en el hombre más rico del mundo, cuando vendió su gran empresa siderúrgica por 480 millones de dólares, la mayor parte de los cuales (350 millones) la dedicó a fundar instituciones científicas, museos, salas de conciertos y 2500 bibliotecas públicas. Otros muchos empresarios famosos, como los Ford o los Rockefeller, participaron también en esa tradición americana de filantropía

ilustrada. Y no solo se desarrolló la industria, sino también el comercio. Entre los primeros y más famosos grandes almacenes americanos hay que mencionar los de Marshall Field en Chicago y los de R.H. Macy en Nueva York. Marshall Field fue también un filántropo, que entre otras cosas donó a su ciudad el magnífico Museo Field de Historia Natural.

Hacia 1925, Louis Bamberger y su hermana, dueños de otros grandes almacenes, decidieron ponerlos en venta y dedicarse a la filantropía. En 1929, justo antes del derrumbe de la Bolsa, los vendieron a R.H. Macy. Los Bamberger se pusieron en contacto con Abraham Flexner, un conocido experto en temas de enseñanza superior e investigación y hermano del director del Rockefeller Institute for Medical Research, para que los aconsejase. Aunque su primera idea consistía en fundar otra escuela de medicina, Flexner los convenció de que lo mejor sería crear un centro de estudio e investigación de nuevo cuño, donde las mejores mentes pudieran dedicarse con total libertad a desarrollar sus propios pensamientos. Una vez aceptado el plan, los Bamberger querían situar la institución en la capital (Washington, D.C.), pero Flexner los convenció de que sería mejor situarla en un lugar más tranquilo, como Princeton. Se trataba de crear una institución dedicada al avance del pensamiento, un paraíso para sabios, un lugar donde los genios más creativos pudieran dedicarse a su actividad intelectual sin el incordio y la distracción de las clases y las reuniones, gozando de la tranquilidad, la libertad y los medios que requiriesen. El sueño de Flexner se hizo realidad en 1930 con la incorporación legal como fundación filantrópica privada de ese paraíso para sabios: el Institute for Advanced Study (IAS) de Princeton, cuyo primer director fue Flexner.

Aunque la física experimental ya había logrado un notable desarrollo en Estados Unidos a finales de los años veinte, todos los progresos en física teórica se estaban realizando en Europa. Por ello existía un gran interés en elevar el nivel teórico, trayendo a América a algunos de los grandes físicos matemáticos europeos. La Universidad de Princeton había obtenido fondos para ello. El físico Karl Compton y el matemático Oswald Veblen fueron los encargados de fichar a cerebros famosos. Einstein y Werner Heisenberg recibieron ofertas, pero las rechazaron. En 1929, invitaron a John Von Neumann y a su amigo Eugene Wigner a ir a Princeton durante un semestre. Von Neumann aceptó y quedó encantado con el dinamismo y optimismo que allí se respiraba. Durante los años siguientes alternaría su residencia entre Alemania y Estados Unidos, pasando un semestre en Berlín y otro en Princeton.

Desde 1930, el creciente antisemitismo y auge del nazismo empezaron a preocupar seriamente a Einstein. Por si acaso, estableció la costumbre de visitar anualmente el Instituto Tecnológico de California en Pasadena y la Universidad de Oxford. En 1932, Flexner visitó a Einstein en Pasadena y en Oxford, y lo convenció para que aceptase ser miembro del nuevo Institute for Advanced Study. En principio, su contrato sería parecido

al de Von Neumann, permitiéndole alternar su trabajo entre Berlín y Princeton. Sin embargo, las cosas en Alemania iban de mal en peor. En diciembre de 1932, Einstein y Elsa tomaron el barco hacia América y ya no regresaron a Alemania, quedándose definitivamente en Estados Unidos.

En 1933, tras la llegada de los nazis al poder, todos los científicos judíos, muchos de los cuales formaban la flor y nata del mundo académico alemán, fueron expulsados de sus respectivos institutos y universidades. Quienes ya estaban medio establecidos en América, como Von Neumann, pusieron todo su interés en encontrarles trabajo allí, cosa nada fácil, dado el periodo de depresión por el que atravesaba la economía americana. El Instituto de Estudios Avanzados de Princeton empezó a funcionar en 1933. Se pensó que lo más conveniente sería poner el acento inicial en la física y la matemática, donde la excelencia era más fácil de evaluar. Como primeros profesores del IAS fueron nombrados Albert Einstein, Oswald Veblen, John Von Neumann, Hermann Weyl y James Alexander. Otros, como Kurt Gödel, fueron invitados como miembros temporales. En los años siguientes, otros muchos excelentes pensadores y científicos acabaron recalando allí.

En Alemania, Hitler había alcanzado el poder en enero de 1933. Tres meses después, todos los profesores judíos fueron expulsados de las universidades alemanas. Algunas, como las de Berlín o Frankfurt, perdieron hasta un tercio de su profesorado. Martin Heidegger, flamante rector nazi de la Universidad de Friburgo, saludaba el nuevo destino del pueblo alemán. Einstein había «huido de la quema» un mes antes.

Einstein y Gödel

Einstein era más bien un hombre de la *Belle Époque*, la época previa a la Primera Guerra Mundial. Kurt Gödel (1906-1978), veintisiete años más joven, se asocia con los años treinta y la Segunda Guerra Mundial. A pesar de su diferencia de carácter y de edad, se pueden trazar algunos paralelismos entre ellos. Tanto Einstein como Gödel se criaron en familias bien avenidas e industriosas de pequeños empresarios. Ambas familias eran un poco forasteras en su propia tierra: judíos en Alemania los Einstein, alemanes en Moravia los Gödel. Y ambas eran tolerantes y escépticas respecto a su religión, judía en el caso de Einstein y luterana en el de Gödel. Ninguno de los dos fue un hombre de familia. Tanto Einstein como Gödel fueron pensadores, no profesores. No les gustaba dar clases, no se adaptaban a la disciplina académica, nunca llegaron a dar una asignatura completa y ni siquiera dirigieron una tesis doctoral. Siempre estaban pensando y dando vueltas a los difíciles problemas que trataban de resolver. Ya hemos mencionado la gran popularidad de Einstein. Por el contrario, Gödel, aun siendo el lógico más importante del siglo XX, apenas fue conocido fuera del círculo restringido de la élite matemática. Ambos tuvieron trayectorias bien distintas, pero el destino quiso juntarlos a partir de 1933 en el Instituto

de Estudios Avanzados de Princeton, donde trabaron amistad.

Ante las noticias que llegaban de Alemania en 1933, los nazis austriacos se envalentonaron. Gödel daba la impresión a sus conocidos de vivir esos años turbulentos como un zombi o un extraterrestre, sin enterarse de los dramáticos desarrollos políticos y de las tragedias humanas que tenían lugar a su alrededor. Einstein, por el contrario, seguía atentamente la actualidad política del mundo y se comprometía con todo tipo de causas, como el pacifismo y el sionismo. Ya instalado en América a principios de 1940, Gödel solicitó la nacionalidad americana, que le fue concedida ocho años más tarde. Antes de obtener la nacionalidad y de hacer el correspondiente juramento, los aspirantes han de prestar declaración ante el juez en presencia de dos testigos, para mostrar que saben lo que dicho acto significa. En diciembre de 1947 le tocó el turno a Gödel. Sus testigos serían Einstein y el economista Oskar Morgenstern. Gödel se preparó con característica seriedad para las posibles preguntas del juez sobre el sistema político estadounidense, e incluso creyó descubrir una inconsistencia en la Constitución Americana, con gran alarma de Morgenstern, que temía que Gödel se pusiera a hablar de eso ante el juez y echase a perder su proceso de nacionalización. Einstein y Morgenstern hicieron cuanto pudieron por mantener a Gödel entretenido y callado y, afortunadamente, contaron con la complicidad del juez de Trenton, Forman, que cortó a Gödel cuando este ya empezaba a exponer sus teorías políticas. Por fin, en 1948 Gödel prestó su juramento y se convirtió en ciudadano americano.

Einstein se instaló definitivamente en Princeton en 1933 y allí permaneció hasta su muerte, en 1955. Después de varias estancias previas en el IAS, también Gödel se quedó a vivir en Princeton y siguió allí desde 1940 hasta su muerte, en 1978. Gödel había conocido a Einstein durante su primera estancia en Princeton, en 1933. Más adelante tuvieron trato frecuente durante los quince años seguidos de coincidencia en el IAS. Ambos estaban considerados como genios extravagantes y un poco fuera del mundo, ensimismados en sus respectivas ideas, y enseguida congeniaron. Ambos compartían la antipatía por el indeterminismo, los dos eran muy inteligentes, iban directamente al núcleo de las cosas y se entendían bien. Einstein, famoso y cordial, protegía a Gödel, que tan desvalido parecía. Con frecuencia paseaban juntos, como recuerdan los otros residentes del Instituto, aunque nadie sabía de qué hablaban.

Einstein, el creador de la teoría general de la relatividad, y Hermann Weyl, uno de sus mayores expertos, fueron contratados como profesores del IAS ya desde el momento mismo de su fundación. También había pasado por el instituto Howard Robertson, que, junto con el inglés A. Walker, había deducido en 1935 la forma más general de las métricas para un espaciotiempo espacialmente homogéneo (las métricas llamadas de Friedmann-Robertson-Walker o FRW, que constituyen la base matemática de la cosmología del Big Bang). Con tan eminente compañía, no es de extrañar que a Gödel

acabase contagiándosele el interés por la teoría general de la relatividad y por la cosmología.

En 1946, Arthur Schilpp, el editor de la Library of Living Philosophers, encargó a Gödel una colaboración para el volumen dedicado a Einstein. Como siempre, Gödel se atrasó considerablemente. Schilpp había esperado poder ofrecer el volumen ya impreso a Einstein con motivo de su 70 cumpleaños (el 14 de marzo de 1949), pero no pudo ser. A petición de Schilpp, Gödel entregó a Einstein su manuscrito el día de la celebración del cumpleaños. Schilpp había supuesto que Gödel se limitaría a escribir una nota personal sobre su amistad con Einstein, pero le sorprendió con una contribución técnica de gran interés. De hecho, Gödel se tomó muy en serio la tarea y se concentró en la investigación del tiempo en la relatividad general. Descubrió soluciones de las ecuaciones de campo de Einstein que determinan un modelo de universo rotatorio en el que es imposible encajar los tiempos locales de los observadores particulares en un tiempo cósmico. Su artículo, en el que sacaba las consecuencias filosóficas de los resultados matemáticos que acababa de obtener, apareció en 1949 bajo el título «A remark about the relationship between relativity theory and idealistic philosophy» («Nota sobre la relación entre la teoría de la relatividad y la filosofía idealista»), publicado en el volumen *Albert Einstein, Philosopher-Scientist*, editado por Schilpp.

Einstein y Gödel sostenían posturas filosóficas y epistemológicas muy distintas. Gödel era un campeón del platonismo y el apriorismo. Einstein, por el contrario, subrayaba la autoridad última de la experiencia empírica. Incluso las matemáticas, en la medida en que se refieran a la realidad, carecen de certeza alguna a priori:

«Estoy convencido de que los filósofos han tenido un efecto perjudicial sobre el progreso del pensamiento científico, al remover ciertos conceptos fundamentales del dominio de la experiencia, donde están bajo nuestro control, a las alturas intangibles de lo a priori. [...] Esto es especialmente cierto de nuestros conceptos de espacio y tiempo, conceptos que los físicos se han visto obligados por los hechos a bajar del Olimpo de lo a priori para ajustarlos y ponerlos en condición de ser utilizables.»⁹⁹

En la medida en que las proposiciones de la matemática se refieren a la realidad, no son ciertas; y en la medida en que son ciertas, no se refieren a la realidad.»¹⁰⁰

Religión cósmica de Einstein

Einstein adquirió conciencia de su judaísmo como reacción al antisemitismo. «Cuando llegué a Alemania hace quince años, descubrí por primera vez que era judío», escribió en 1929. Incluso apoyó el programa sionista de Herzl, que más bien iba contra sus convicciones universalistas: «Si no estuviéramos obligados a vivir entre gente intolerante, estrecha de miras y violenta, yo sería el primero en rechazar cualquier nacionalismo a favor de la humanidad universal».¹⁰¹ En 1921, fue a Nueva York con Chaim Weizmann

para recaudar fondos para el Fondo Nacional Judío y la Universidad Hebrea de Jerusalén. Tras la creación del Estado de Israel en 1948, Weizmann fue elegido como su primer presidente. A la muerte de Weizmann en 1952, el primer ministro, David Ben-Gurión, ofreció a Einstein la presidencia de Israel, cosa que este rechazó, pues no tenía tiempo para nada excepto la ciencia. De todos modos, fue la única vez que la presidencia de Israel haya sido ofrecida a alguien como un regalo, y ello muestra el prestigio incomparable de que Einstein gozaba entre los judíos, a pesar de su escepticismo doctrinal.

La religiosidad de Einstein era profunda e interesante, pero apartada de cualquier ortodoxia o tradición. La expuso en una serie de artículos y entrevistas de los años treinta. La suya era una «religión cósmica», como la de Spinoza, que identificaba a Dios con la naturaleza. Einstein distinguía esa auténtica religión cósmica de la religión supersticiosa, basada en el miedo y en la creencia en un Dios personal que se preocupa por cada uno de nosotros y en el que podemos influir mediante oraciones y ritos. «En el hombre primitivo es el miedo lo que despierta emociones religiosas. [...] En este estadio [...] la mente humana crea seres ilusorios más o menos análogos a ella misma y de cuyos deseos y acciones dependen las cosas que nos aterrorizan. Uno trata de ganarse el favor de esos seres». ¹⁰² Con esta «religión del miedo», estabilizada y mantenida «por una casta sacerdotal», Einstein no quiso tener nada que ver.

Entre la auténtica religiosidad, la cósmica, y la ciencia no solo no hay oposición alguna, sino que la primera es el motor de la segunda. La religiosidad de Einstein estaba basada en el intento de comprensión del Universo y en la admiración e identificación emocional con el Universo.

Este conocimiento y esta emoción constituyen la verdadera religiosidad; en este sentido, y solo en este sentido, yo soy un hombre profundamente religioso. No puedo concebir a un Dios que premia o castiga a sus criaturas o que posee una voluntad como la nuestra. Tampoco puedo concebir a un individuo que sobrevive a su muerte física. [...] El individuo siente la futilidad de los deseos y fines humanos y el orden sublime y maravilloso que se revelan en la naturaleza y en el mundo del pensamiento [...] y quiere experimentar el Universo como un todo único y lleno de significado.

Einstein atribuye esta religiosidad a Demócrito, Buda, San Francisco de Asís y Spinoza, así como a los científicos creativos. En efecto, «El sentimiento religioso cósmico es el motivo más poderoso y más noble de la investigación científica», el que había inspirado a Kepler y Newton y seguía inspirando al mismo Einstein. «Como se ha dicho, y no sin razón, en esta época materialista nuestra los trabajadores científicos serios son la única gente profundamente religiosa.» ¹⁰³

Notas:

⁹⁸1. Wheeler J.A., *Geons, Black Holes, and Quantum Foam: A Life in Physics*. Norton, Nueva York, pág. 235, 1998.

- [99.](#) Einstein, A., *The Meaning of Relativity*, Princeton University Press, pág. 2, 1922.
- [100.](#) Einstein, A., «Geometry and Experience», en *Ideas and Opinions*, Crown Publishers, pág. 233, 1954.
- [101.](#) Einstein, A., *Ideas and Opinions*, págs. 171-172.
- [102.](#) En *The New York Times*, 9-11-1930. También en Einstein, A., *Ideas and Opinions*, pág. 36.
- [103.](#) Einstein, A., *Ideas and Opinions*, págs. 39-40.

16

Karl Popper

La vida de Karl Popper (1902-1994) coincidió aproximadamente con el siglo XX. Nació el mismo año que Paul Dirac, el creador de la teoría cuántica de campos. El año anterior, 1901, habían nacido Werner Heisenberg, autor del primer formalismo de la mecánica cuántica (con quien Popper siempre polemizaría) y Alfred Tarski (a quien Popper conocería en 1934, y de quien escribió «he aprendido más de Tarski que de ninguna otra persona»).

¹⁰⁴ El año siguiente, 1903, nacieron John Eccles (el neurólogo que descubrió la transmisión química de las señales nerviosas en las sinapsis entre neuronas, y con el que Popper colaboraría), John Von Neumann y Konrad Lorenz (de cuya epistemología solo discreparía el Popper tardío en la cuestión de la inducción). Popper sobrevivió a todos ellos. Otros dos héroes suyos, Bertrand Russell (nacido en 1872), «tal vez el más grande filósofo desde Kant», y Albert Einstein (en 1879), «una influencia dominante en mi pensamiento, tal vez la influencia más importante de todas», pertenecían a una generación anterior.

Juventud y madurez

Como Ludwig Wittgenstein, Konrad Lorenz y tantos otros pensadores decisivos del siglo XX, Karl Popper nació en Viena, centro político y cultural de aquella *Mitteleuropa* en la que se fraguaban las vanguardias intelectuales de principios del siglo XX, en el seno de una familia culta y acomodada. Allí estudió matemáticas, física y filosofía. Al mismo tiempo realizó el aprendizaje práctico del oficio de ebanista. En 1928 presentó su tesis doctoral, y a continuación dio clases de matemáticas y física en la enseñanza media. Pronto se puso en relación con el famoso Círculo de Viena, con cuyas tesis discrepaba, lo que dio lugar a una serie de discusiones y polémicas, en las que se forjó su posición filosófica inicial.

Fruto de sus primeras investigaciones, Popper escribió *Die beiden Grundprobleme der Erkenntnistheorie* (Los dos problemas fundamentales de la teoría del conocimiento), que permanecería inédita hasta 1979, y, sobre todo, *Logik der Forschung* (Lógica de la investigación científica), publicada en 1934 y llamada a convertirse en una de las obras capitales de la epistemología del siglo XX. En ella presenta ya su criterio de demarcación entre ciencia (cuyas tesis son refutables) y no-ciencia, así como su crítica de la inducción

y su concepción del método científico.

Aunque sus padres habían abandonado el judaísmo hacía tiempo, el origen judío de Popper lo ponía en peligro y, en cualquier caso, hacía casi imposible que su carrera académica transcurriera con normalidad en un momento en que los nazis sometían Austria a creciente presión. «Había frecuentes disturbios antisemitas en la Universidad y constantes protestas contra el excesivo número de profesores judíos. Llegó a resultar imposible que una persona de origen judío lograra ser profesor de universidad». ¹⁰⁵ En 1935-1936 pasó largas temporadas dando conferencias en Inglaterra. En 1937 abandonó Austria y se marchó a Nueva Zelanda, contratado como profesor por el Canterbury University College. Allí permaneció hasta el fin de la Segunda Guerra Mundial. La emigración de Popper fue un caso más de aquel gran movimiento migratorio de la flor y nata de la intelectualidad centroeuropea hacia el mundo anglosajón, que a partir de ese momento pasaría a sustituir al mundo germánico como nuevo centro mundial de la ciencia y la filosofía.

La anexión de Austria por la Alemania nazi en 1938 indujo a Popper a concentrar su atención filosófica en los temas políticos, criticando implacablemente el marxismo, el nazismo y todas las filosofías sociales (especialmente las de Platón y Hegel) basadas en el determinismo y conducentes a la supresión del pensamiento crítico y la libertad. Fruto de estas reflexiones son sus dos libros de 1945, *The Open Society and its Enemies* (La sociedad abierta y sus enemigos) y *The Poverty of Historicism* (La miseria del historicismo). Con anterioridad a la guerra no publicó nada contra el marxismo para no perjudicar a los socialdemócratas centroeuropeos, la última fuerza que se oponía al avance del nazismo. Una vez anexionada Austria, la situación varió. Popper quería contribuir a la derrota del nazismo y a prevenir la nueva amenaza marxista que ya apuntaba: «*La miseria del historicismo* y *La sociedad abierta* fueron mi contribución a la guerra. [...] Yo pensaba que la libertad habría de convertirse en un problema central, especialmente bajo la renovada influencia del marxismo [...] y así estos libros iban a significar una defensa de la libertad contra las ideas totalitarias y autoritarias». ¹⁰⁶

Popper ya había hablado en 1936 sobre el tema de la miseria del historicismo en el seminario de Von Hayek en la London School of Economics, antes de emigrar a Nueva Zelanda. Al final de la guerra, Von Hayek ofreció a Popper un puesto de profesor en Londres.

En 1945 regresó Popper a Europa, aceptando la oferta de la London School of Economics and Political Science, de la que fue nombrado catedrático de Lógica y Método Científico en 1949. Empezaba sus clases de Método Científico explicando que tal cosa no existe. Durante los 20 años que ocupó esa cátedra ejerció una influencia inmensa sobre generaciones enteras de estudiantes, filósofos, economistas y científicos diversos. En esa fecunda etapa precisó y desarrolló su filosofía de la ciencia, basada en la

idea de que no se debe buscar la seguridad ni tener miedo del error, sino que hay que lanzarse con audacia intelectual a formular hipótesis arriesgadas, aunque, una vez formuladas, éstas han de ser sometidas al severo control de la crítica y la contrastación empírica. En los años cincuenta preparó la traducción inglesa de *Logik der Forschung*, ampliada con diversos apéndices y titulada *The Logic of Scientific Discovery* (1959). En esos mismos años escribió la mayor parte del material del *Postscript to the Logic of Scientific Discovery*, gran obra epistemológica que permanecería inédita hasta 1982. Entre sus obras de este periodo se encuentra también *Conjectures and Refutations: The Growth of Scientific Knowledge* (Conjeturas y refutaciones: el desarrollo del conocimiento científico), publicada en 1963, en la que expone sus ideas sobre la ciencia con singular claridad y brillantez.

No hay método infalible

Desde Parménides y Platón hasta Bacon, Descartes y Husserl, muchos filósofos han tratado en vano de asentar la ciencia y la filosofía sobre bases indudables e inasequibles al error. La historia entera de la filosofía es un cementerio de intentos fallidos de asegurar la verdad definitiva, de establecer certezas absolutas e inquebrantables. Popper, sin embargo, partía del supuesto de que siempre cometeremos errores, y de que lo importante es el esfuerzo incansable por corregirlos.

Los antiguos griegos habían contrapuesto la ciencia (*epistème*), que constituiría un saber seguro y definitivo, a la mera opinión conjetural (*dóxa*). Aristóteles había descrito el método científico como la deducción rigurosa a partir de verdades necesarias. Descartes había creído encontrar el camino de la certeza, basado en la evidencia indudable. Kant había pretendido garantizar para siempre la verdad de la física newtoniana, considerando sus teoremas como juicios sintéticos a priori, necesariamente válidos en cualquier experiencia posible. Francis Bacon y John Stuart Mill veían en la inducción el método infalible de la ciencia empírica. Pero Popper nos ha enseñado que no hay método infalible ni ciencia segura. No hay *epistème*, solo *dóxa*; no hay saber definitivo, solo conjeturas provisionales. Esta postura radical ha acabado por calar tan hondo que ya no nos parece radical, sino algo obvio y compartido. Cuando oíamos las cautelas y dudas con que en 1994 se anunciaba el descubrimiento del quark *top* en el Fermilab y la consiguiente confirmación (provisional) del modelo estándar de la física de partículas, parecía como si la sombra de Popper se cerniese sobre los propios descubridores. Y lo mismo volvió a ocurrir en 2012 con la detección del bosón de Higgs en el CERN.

La refutabilidad

Otra tesis epistemológica tradicional que Popper sometió a crítica destructiva en su gran obra de 1934 es la noción de que una ley general pueda ser definitivamente verificada, confirmada o justificada. Esa confirmación es imposible. Lo que sí es posible es la refutación de la teoría. Basta con que una sola de sus predicciones o consecuencias no se cumpla para que la teoría quede refutada. Pero, por muchas que sean las predicciones que se cumplan, estas no verifican ni confirman en modo alguno la teoría. Por eso el científico no debe tratar de buscar casos en los que su teoría se cumpla, sino al revés, casos en que no se cumpla.

Los neopositivistas del Círculo de Viena habían pensado que la verificación caracterizaba la ciencia, constituyendo el criterio de demarcación entre la ciencia (lo verificable) y la pseudociencia (inverificable). Popper se opuso a esa concepción. La ciencia no se diferencia de la pseudociencia porque sus enunciados sean verificables, sino porque son refutables. El carácter refutable y no verificable de las leyes científicas se debe a la asimetría lógica entre la confirmación y la refutación de los enunciados generales: ningún número de instancias positivas, por grande que sea, permite confirmar una ley general, mientras que un solo caso negativo sí permite refutarla. Dado un enunciado general (todos los *A* son *B*), basta una sola instancia negativa (un caso en que no se cumpla, o sea, un *A* que no sea *B*) para que el enunciado general quede refutado, pues su negación se sigue lógicamente de esa sola instancia negativa (de «este *A* no es *B*» se sigue «no todos los *A* son *B*»). Sin embargo, su afirmación no se sigue de ningún número finito de instancias positivas (casos en que sí se cumple). Por tanto, una ley científica puede a veces ser refutada, pero nunca puede ser verificada. Este criterio de demarcación llevó a Popper a rechazar como pseudociencias la astrología, la frenología, el marxismo y el psicoanálisis.

El progreso científico procede no por (imposibles) verificaciones, sino por sucesivas conjeturas y refutaciones. Esta concepción popperiana estuvo decisivamente influida por el estudio atento de las revoluciones einsteinianas en mecánica. Curiosamente, ya Einstein había anticipado ideas similares, cuando (en su correspondencia inédita) escribía que la naturaleza solo contesta que *no* o que *quizá* a las preguntas del científico, pero nunca que *sí*.

Contra la inducción

Tradicionalmente se pensaba que la ciencia parte de la observación empírica de casos singulares para obtener luego por inducción (a partir de esos datos concretos) las leyes generales y las teorías abstractas características de la ciencia avanzada. Hume ya había probado dos siglos antes que la inducción es un procedimiento lógicamente injustificable. Pero, a pesar de todo, esa seguía siendo la concepción estándar del método científico, y todavía Carnap y los neopositivistas seguían tratando de desarrollar una lógica inductiva.

En su obra de 1934, Popper sometió el presunto método inductivo a un análisis demoledor, mostrando, por un lado, que era irremediabilmente incorrecto e inconclusivo, y, por otro, que no tenía nada que ver con la práctica científica real. El método de la ciencia no es inductivo, sino hipotético-deductivo.

Popper siempre se opuso al método inductivo, al que consideraba lógicamente inválido, sosteniendo sonadas polémicas con Carnap y otros inductivistas. La ciencia no procede por inducción, saltando de la observación de casos singulares a la formulación de una ley general. La inducción ni siquiera sirve para establecer la probabilidad de las leyes. El genuino método científico es hipotético-deductivo. Consiste en la formulación de hipótesis y conjeturas audaces (cuanto más improbables y arriesgadas, tanto mejor) y en su subsiguiente crítica implacable. Esa crítica se basa en la deducción de consecuencias a partir de las hipótesis y en los intentos denodados por refutar experimentalmente dichas consecuencias, contrastándolas con los resultados de observaciones y experimentos.

La fecundidad del error

La filosofía de Karl Popper es una filosofía de la fecundidad del error. Ni en la ciencia ni en la política puede haber métodos infalibles cuya aplicación excluya el error. De lo que se trata no es tanto de evitar los errores (meta condenada al fracaso de antemano), sino de detectarlos y criticarlos, de sacarles todo el jugo posible y, en definitiva, de aprender de nuestros errores. Ningún otro filósofo ha valorado tanto ni ha analizado tan finamente el papel que el error juega en la empresa científica, en el aprendizaje, en la política y en todos los órdenes de la vida. En esto estriba también el elemento más original y profundo de su epistemología.

El progreso de la ciencia requiere —según Popper— una gran audacia, imaginación y creatividad a la hora de formular hipótesis, y un implacable rigor a la hora de criticarlas y contrastarlas. El miedo a equivocarnos, a cometer errores, puede coartar nuestra imaginación y conducirnos a la timidez teórica, prefiriendo seguir la senda segura de algún método establecido. Pero ningún método garantiza el acierto. Nada garantiza el acierto. Las buenas ideas pueden surgir de cualquier manera: por tradición, por observación, por intuición intelectual, por una corazonada, por cualquier método o falta de método. A Paul Dirac se le ocurrió su famosa ecuación (base de la teoría cuántica de campos) en medio de una discusión, sin seguir método alguno (y, desde luego, no el método inductivo). No todo el mundo tiene la suerte (o la genialidad) de Dirac, pero nadie debería tener miedo a equivocarse. Solo corriendo el riesgo de equivocarnos tendremos la oportunidad de acertar. Lo único importante, según Popper, es que las hipótesis sean luego sometidas a crítica implacable, a contrastación vigorosa.

Contra el subjetivismo y el determinismo

Aunque la realidad no nos sugiere las teorías con que describirla (que son creaciones nuestras libres), se reserva el derecho de veto. Cuando una teoría no concuerda con ella, la realidad (en forma de resultado negativo de un experimento) la rechaza, la desbarata, le dice *no*. Por eso Popper siempre se opuso tanto al dogmatismo como al subjetivismo. Se opuso al dogmatismo, porque una teoría nunca puede ser definitivamente confirmada. Se opuso al subjetivismo, porque la realidad objetiva desbarata frecuentemente las propuestas que le hacen los sujetos. Si no hubiera una instancia objetiva, no podría haber refutación, ni, por tanto, eliminación de errores, ni progreso, ni ciencia.

La crítica del error requiere libertad para ejercerse. Y, como es bien sabido, la defensa de la libertad constituye uno de los ejes centrales del pensamiento de Popper. Por eso se opuso también al determinismo. Si todo estuviera predeterminado, si nuestras acciones dependieran de un modo inevitable de causas anteriores, la libertad sería una mera ilusión. Esa postura —conocida en la filosofía con el nombre de determinismo— ha atraído a muchos pensadores, pero ha sido severamente criticada por Popper. No es cierto que todo esté predeterminado en la naturaleza. Gracias a la mecánica cuántica, sabemos que el mundo subatómico es esencialmente indeterminista. No es solo que seamos incapaces de predecir con seguridad los eventos subatómicos, sino que esos eventos son ellos mismos de carácter irremediabilmente aleatorio. Ni siquiera es necesario recurrir a la mecánica cuántica para comprobar el carácter indeterminado de muchos procesos físicos, que ya puede ser establecido a partir de los postulados de la mecánica clásica, como muestran las actuales teorías de la inestabilidad y del caos, y como las propias investigaciones de Popper sobre la precisión de las medidas han puesto de relieve.

De todos modos, podría ocurrir que, aunque el mundo físico fuese compatible con la libertad, el mundo social estuviera regido por leyes propias que la hiciesen ilusoria. Popper ha combatido siempre el determinismo social, basado en la presunta existencia de leyes inexorables del cambio social. Oswald Spengler, Karl Marx y otros pensadores han creído descubrir que la evolución histórica discurre necesariamente de acuerdo con pautas fijas y por canales preestablecidos. Pero las profecías de esos profetas sociales no se han cumplido, lo cual invalida ya de por sí las peculiares leyes de desarrollo histórico que ellos propusieron. Popper fue más allá, negando la posibilidad misma de tales leyes.

Según Popper, es imposible predecir con seguridad el curso futuro de la historia. Uno de sus argumentos más fuertes se basa en el papel fundamental que desempeña el conocimiento en la acción. Los humanos del futuro sabrán cosas que nosotros no sabemos, y en función de ese conocimiento harán cosas que ahora no podemos predecir. La hipótesis de que pudiéramos saber ya ahora lo que se descubrirá en el futuro es contradictoria. En efecto, si pudiéramos predecir ahora lo que se descubrirá en el futuro, el mero hecho de predecirlo equivaldría a hacer ya ahora el descubrimiento, con lo cual

no se trataría de un descubrimiento futuro. Lo que descubriremos dentro de diez años es algo que ahora no sabemos; si pudiéramos predecirlo ahora, ya lo sabríamos; lo descubriríamos ahora, no dentro de diez años. El progreso del conocimiento es imprevisible y, con él, la evolución histórica y social.

Filosofía política

La evolución de la sociedad, que depende en parte de la evolución del conocimiento, es impredecible. El determinismo social es falso. Y las ideologías que pretenden haber descubierto las leyes del desarrollo social y haber encontrado la fórmula de la sociedad perfecta son inaceptables y conducen al sufrimiento y al desastre. Nunca llegaremos a poseer un conocimiento perfecto ni una sociedad perfecta. Solo tiene sentido hacer reformas político-sociales parciales, evaluar sus resultados y, eventualmente, dar marcha atrás y probar nuevas soluciones. El camino del progreso no pasa por la revolución total, sino por la ingeniería social puntual. Ningún sistema político puede garantizarnos que los gobernantes sean buenos. Lo importante es que el sistema minimice los efectos de los malos gobernantes. La principal ventaja de la democracia liberal sobre la dictadura, según Popper, consiste en que permite cambiar el gobierno sin necesidad de guerras ni revoluciones. En definitiva, somos criaturas falibles y cualquier conclusión teórica o práctica que alcancemos tendrá siempre un valor inseguro y provisional y estará sometida a crítica y revisión.

En la filosofía política, Popper es conocido sobre todo como el filósofo de la sociedad abierta. Otros pensadores han tratado de diseñar el edificio de la sociedad perfecta, para cuya consecución bien valdría la pena renunciar a ciertas libertades. Popper, por el contrario, piensa que la sociedad perfecta es un espejismo peligroso, y que, cada vez que los hombres han tratado de implantar el paraíso en la Tierra, han acabado creando el infierno. Todos los regímenes políticos cometen errores, y ello es inevitable. La superioridad de la democracia liberal sobre la dictadura no estriba en que la primera cometa menos errores, sino en que los errores que comete son más fáciles de detectar, criticar y eliminar. De hecho, la libertad es una fuente de errores. Ser libre significa tener derecho a equivocarse, pero también significa tener derecho a criticar las equivocaciones. Ese doble juego del error y de su crítica es —según Popper— el origen de toda creatividad y de todo progreso.

La ciencia y la democracia no se asientan sobre la certeza, sino sobre el tanteo y la corrección de errores. Puesto que los errores son imposibles de prevenir, lo importante es detectarlos y eliminarlos. El error es inevitable; lo que hay que evitar es el empecinamiento en el error, el «defendello y no enmendallo».

Comparación con la evolución biológica

En la última etapa de su vida, a Popper cada vez le gustaba más comparar su epistemología con el esquema darwinista de la evolución biológica. Así como la selección natural va eliminando los resultados contraproducentes de la creatividad aleatoria de las mutaciones, hasta mantener solo los rasgos de los organismos adaptados a las condiciones de su entorno, así también la crítica, la refutación y la contrastación van eliminando las muchas genialidades erróneas que se nos ocurren, hasta dejar solo las que (provisionalmente) parecen dar en el clavo y reflejar la estructura de la realidad.

La maravillosa y compleja organización de los animales, e incluso nuestra propia naturaleza, no es el resultado de un diseño premeditado ni de una planificación infalible. Es, más bien, el fruto fecundo del azar y la presión selectiva. Las mutaciones aleatorias de los genes y su azarosa recombinación sexual generan una siempre renovada variedad de formas, sobre las que la dura presión selectiva del entorno ejerce un control implacable. El continuo ensayo de nuevas fórmulas y su constante eliminación conduce finalmente a seres tan bien adaptados y complejos como nosotros. Lo que nos separa de las primitivas amebas son millones de errores en la copia del material genético. Somos el fruto de millones de errores. Sin errores, no habría habido progreso biológico y nosotros no estaríamos aquí para contarlos. El ensayo, el error y el riesgo son la fuente de la vida y el origen de la creatividad.

La vida únicamente ha acertado tantas veces, porque se ha equivocado muchas más. Lo mismo ocurre en la ciencia. El miedo enfermizo a equivocarnos puede paralizar nuestro dinamismo intelectual, puede hacernos apocados y poco dispuestos a inventar ideas inéditas y a hacer propuestas arriesgadas. Solo quien asume el riesgo de equivocarse tiene la oportunidad de acertar.

El mundo 3 y la aversión a las definiciones

Popper sorprendió a los asistentes al III Congreso Internacional de Lógica, Metodología y Filosofía de la Ciencia, celebrado en Amsterdam en 1967, con una conferencia en la que presentaba su teoría del mundo 3. El mundo de la cultura y de los contenidos objetivos del pensamiento es un tercer mundo o mundo 3, distinto tanto del mundo de la física (mundo 1) como del mundo subjetivo de las experiencias psicológicas (mundo 2). Es el producto de ciertos organismos (nosotros), pero, una vez producido, adquiere una dinámica propia y una objetividad peculiar, además de estar sometido a una evolución característica y comparable a la evolución biológica. La concepción popperiana de la cultura ha suscitado gran interés y bastantes críticas.

Popper despreciaba la preocupación de muchos filósofos analíticos por el significado de las palabras y el análisis conceptual. Pensaba que los problemas filosóficos serios no se reducían a una mera cuestión de palabras. Wittgenstein nunca fue santo de su devoción, y el único encuentro que tuvieron (en 1946) acabó como el rosario de la aurora. De

todos modos, esta actitud lo llevaba a veces a descuidar la precisión de sus propios conceptos. Así, la noción del mundo 3 no queda claramente delimitada. Popper la usa unas veces para referirse a los contenidos culturales, otras veces a todas las proposiciones posibles, y otras, solo a los textos efectivamente escritos. Al final, no sabemos lo que el mundo 3 abarca. Una de las cosas extrañas que dice Popper acerca del mundo 3 es que entre sus habitantes figuran las proposiciones o las oraciones, pero no los conceptos ni las palabras. Es como si dijéramos que en África hay jirafas, pero no hay cabezas ni patas de jirafas. Una oración es una cierta combinación de palabras. No se entiende cómo uno pueda tener (en el mundo 3 o donde sea) oraciones sin palabras o proposiciones sin conceptos. En cualquier caso, el concepto de mundo 3 queda desdibujado. Popper tiene importantes intuiciones acerca de la autonomía de este mundo 3 y de su interacción con la mente humana y, a través de ella, con el mundo físico, pero se muestra incapaz de (o desinteresado en) analizarlo y definirlo con un mínimo de precisión. Lo mismo ocurre con la libertad: siempre es más elocuente a la hora de defenderla que a la hora de definirla.

Popper siempre ha señalado su aversión por las cuestiones definicionales o de análisis conceptual: «No estoy nada interesado en definiciones o en el análisis lingüístico de palabras o conceptos». «Deberíamos evitar completamente, como una plaga, el discutir los significados de las palabras».¹⁰⁷ En vez de perder el tiempo analizando significados o buscando definiciones, lo que habría que hacer es buscar la verdad, proponiendo conjeturas audaces y poniéndolas a prueba. Pero olvida que solo si los conceptos presentan un perfil preciso podremos someter las proposiciones formuladas con su ayuda a crítica rigurosa. Mantener los conceptos en la vaguedad y la indefinición es una manera de inmunizar las afirmaciones y las teorías contra la crítica y la refutación, y va, por tanto, en contra de la preocupación fundamental de Popper.

A pesar de su profesada aversión por las definiciones, a veces las daba, incluso con pretensiones de precisión formal; y, a pesar de ello, se equivocaba. Así, definió el contenido de un enunciado como «la clase de todos los enunciados que son consecuencias lógicas suyas (su clase de consecuencias, como lo llama Tarski)».¹⁰⁸ De ahí se sigue que todos los enunciados lógicamente válidos o tautológicos forman parte del contenido de cualquier enunciado, ya que son consecuencias de cualquier enunciado. Pero luego define el contenido de falsedad de un enunciado como la clase de todas las consecuencias suyas que no son verdaderas. Por tanto, todas las tautologías, puesto que son verdaderas, quedan excluidas del contenido de falsedad de cualquier enunciado. Por consiguiente, el contenido de falsedad no es un contenido (en el sentido de la definición previa). Y, sin embargo, Popper añade que el contenido de falsedad «es un contenido, aunque sea un contenido relativo», lo cual contradice la definición anterior suya. Por otro lado, define el contenido de verdad como «la clase de todos los enunciados verdaderos y

no-tautológicos que se siguen de un enunciado dado». ¹⁰⁹ Pero a continuación dice que «el contenido de verdad de una tautología es cero: consta solo de tautologías». Según la definición previa, el contenido de verdad de una tautología es la clase vacía, ya que sus consecuencias son todas tautológicas y, por tanto, están excluidas. Si eso significa “cero”, está bien. Pero, por ello mismo, ese contenido es vacío, no consta de nada, y, desde luego, no consta de tautologías; pues, si no, no sería vacío.

La presunta transposición automática de la definición tarskiana de verdad de los lenguajes formales al lenguaje natural es problemática. Y una de las nociones más importantes de la filosofía popperiana, la noción de verosimilitud, definida como está en función de las nociones de contenido de verdad y de falsedad, no solo se bambolea con las arenas movedizas de las nociones en que se basa, sino que incluso se derrumba. Popper pensaba que en la ciencia buscamos teorías lo más verosímiles posible, y define que una teoría es más verosímil que otra si su contenido de verdad es mayor y su contenido de falsedad es menor. Pero David Miller mostró que ambos contenidos crecen juntos. El propio Popper reconoció el fiasco en un apéndice añadido en 1978 a la segunda edición de *Objective Knowledge*: «Debo admitir inmediatamente que mi propuesta de definición de verosimilitud es defectuosa. También hay un fallo serio en las consideraciones heurísticas intuitivas que originariamente me condujeron a mi propuesta... Lamento profundamente el haber cometido algunos errores muy serios en conexión con mi definición de verosimilitud...» El reconocimiento de sus errores definicionales honra a Popper y es consecuente con su filosofía. Lo que no lo es tanto es su desprecio por los análisis conceptuales y por las definiciones precisas. En concreto, a su teoría del mundo 3 no le habría venido mal un poco más de precisión y claridad conceptual, aunque nadie puede negarle su vigor y originalidad, ni su carácter precursor de la actual concepción informacional de la cultura.

Vejez y reconocimiento

Tras su jubilación en 1969, Popper siguió trabajando en su casa, primero en Fallowfield y luego en Kenley (en el condado de Surrey, al sur de Londres). Después de quedarse viudo, la London School of Economics puso a su disposición una asistente científica, Melitta Mew, que le visitaba cada día y le ayudaba en su trabajo. A pesar de sus múltiples problemas de salud, continuó llevando un tren de vida activísimo hasta el final de sus días, viajando por todo el mundo, discutiendo y escribiendo sin parar. Lo único que no soportaba era que alguien fumase en su presencia.

En esta etapa de su vida, Popper escribió una serie de importantes trabajos, como *Objective Knowledge: an Evolutionary Approach* (Conocimiento objetivo: un enfoque evolucionista), de 1972, donde desarrolla su teoría del mundo de la cultura como un

mundo 3, objetivo y distinto tanto del mundo físico (mundo 1) como del subjetivo-psicológico (mundo 2). En 1977 escribió *The Self and its Brain* (El yo y su cerebro), en colaboración con el neurólogo John Eccles. En 1982 se publicaron sus anteriores escritos inéditos, que forman los tres volúmenes del *Postscript to the Logic of Scientific Discovery*: 1. *Realism and the Aim of Science* (Realismo y el objetivo de la ciencia), donde defiende el realismo contra el idealismo; 2. *The Open Universe: An Argument for Indeterminism* (El Universo abierto. Un argumento a favor del indeterminismo); y 3. *Quantum Theory and the Schism in Physics* (La teoría cuántica y el cisma en la física), contra las interpretaciones subjetivistas de la mecánica cuántica. Sus últimas obras fueron: *Auf der Suche nach einer besseren Welt* (En busca de un mundo mejor, 1984) y *A World of Propensities* (Un mundo de propensiones, 1990), dedicada esta última, como gran parte del *Postscript*, a desarrollar su interpretación de la probabilidad como propensión.

Los filósofos clásicos siempre se han enfrentado directamente a los problemas que les planteaba la realidad; los escolásticos, por el contrario, han sido más bien dados a rumiar los comentarios de otros filósofos. Popper fue un filósofo clásico, con escasa paciencia para las cuestiones de palabras o meramente intrafilosóficas. Consideraba que «al menos hay un problema filosófico que interesa a todos los humanos reflexivos: el problema de la cosmología, el problema de entender el mundo».¹¹⁰ Y resumía su posición en la frase: «Todos los problemas filosóficos interesantes están fuera de la filosofía».

Además de ser un clásico de la filosofía, Popper intervino activamente en las controversias de la ciencia de su tiempo. En sus acaloradas discusiones con Popper, Schrödinger se excitaba tanto que daba gritos y se arrancaba pelos de la cabeza. Yo mismo he podido comprobar cómo al ya anciano Popper se le iluminaban los ojos cuando conversaba sobre la interpretación de la mecánica cuántica. Al principio, Popper solo se interesaba por la física y tenía una actitud crítica hacia la teoría darwinista (por considerarla no refutable). Sin embargo, a lo largo de su vida fue acercándose más y más a la biología, que en sus últimos años pasó a ocupar el primer plano de su atención. Cuando, en 1983, fue elegido miembro de la Academia de Ciencias de Estados Unidos, Popper pidió ser adscrito al Departamento de Biología Evolutiva. Además, colaboraba entusiastamente (mediante sus consejos metodológicos) con el bioquímico alemán Günther Wächtershäuser, que estaba elaborando una nueva hipótesis sobre el origen de la vida basada en la formación de los primeros compuestos orgánicos en cristales de piritita. También la fundamentación de la teoría de la probabilidad era un tema que le apasionaba, desde sus años mozos hasta el final de su vida. Ya vimos que su última publicación (dos años antes de su muerte) trataba precisamente de su teoría de las propensiones como probabilidades objetivas.

Hoy día, casi todos estamos de acuerdo con Popper en que el método de la ciencia

teórica no es inductivo y en que una teoría nunca puede ser definitivamente confirmada. Sobre lo que sí caben dudas es sobre que las teorías de la física matemática y otras ciencias avanzadas sean conjuntos de enunciados unívocamente interpretados sobre el Universo entero, y, por tanto, susceptibles de refutación total y definitiva si falla una sola de sus aplicaciones (como pretendían Popper y sus discípulos). En efecto, también se puede considerar que las teorías son tinglados más abstractos, susceptibles de interpretaciones distintas en ámbitos diversos y con dominios de validez posiblemente limitados, por lo que lo único que refutaría un fallo predictivo en un sistema dado sería la afirmación de que la teoría fuese aplicable a ese sistema. Una teoría ya no sería el tipo de entidad susceptible de ser confirmada o refutada, sino, más bien, una función que a cada sistema físico concreto aplicaría una historia o interpretación particular de la teoría abstracta. Las aplicaciones exitosas de la teoría constituirían su ámbito de validez, cuyo alcance y límites debería explorar la investigación empírica. El descubrimiento de que, a velocidades próximas a la de la luz, los sistemas macroscópicos no satisfacen las predicciones de la mecánica clásica y los sistemas microscópicos no satisfacen las de la mecánica cuántica normal (no relativista) no significa que la mecánica clásica y la cuántica hayan sido refutadas, sino solo que no son aplicables a (o válidas en) dichos ámbitos. De todos modos, si entendemos que, cuando Popper habla de teorías, quiere decir interpretaciones o aplicaciones de teorías a sistemas físicos determinados, entonces hay que darle la razón.

Cuando hay varias teorías en competición, y solo una de ellas hace predicciones contradichas por los hechos, esa teoría se abandona en favor de sus competidoras, como quería Popper. Sin embargo, cuando todas las teorías presentan dificultades y anomalías, la comunidad científica preserva la teoría con menos problemas, mientras no se ofrezca alguna mejor. Estas situaciones provocan tensión y desasosiego, que nos inducen a revisar las mediciones, los datos y los modelos. Pero, mientras corregimos el plano, un plano defectuoso es mejor que ningún plano. Popper acabó en desacuerdo con gran parte de la ciencia avanzada de nuestro tiempo, pero sus severas advertencias siguen siendo un poderoso antídoto contra nuestra tendencia a la autocomplacencia y a esconder las dificultades debajo de la alfombra.

Popper ha ejercido una inmensa influencia en el pensamiento contemporáneo, sobre todo en los campos de la teoría del conocimiento, la filosofía de la ciencia, la teoría de la probabilidad, la filosofía de la cultura, la crítica de las ideologías, la filosofía política y el pensamiento social en general. Sus obras han sido traducidas a muchos idiomas y se han reeditado frecuentemente. Aunque siempre se consideró a sí mismo como un filósofo de la ciencia, y a la epistemología dedicó la mayor parte de sus obras y afanes, quizá su gran popularidad final se debió a su filosofía política. Antes de morir, Popper tuvo la satisfacción de contemplar el triunfo de sus ideales políticos y de verse reconocido y

aplaudido en todo el mundo. Ya en 1964, la reina Isabel II lo nombró caballero (*knight*) y le confirió el tratamiento de *Sir*. Fue elegido miembro de las más prestigiosas academias y recibió numerosos premios y doctorados *honoris causa*.¹¹¹ En el momento de su muerte era ya un clásico viviente.

Al final de su vida, Popper era universalmente reconocido como el teórico por excelencia de la democracia liberal. Su filosofía de la democracia, lúcida y sin ilusiones, aparecía como mucho más realista que las concepciones de Rawls o de Habermas, basadas en situaciones ideales. Según Popper, la democracia no es el gobierno del pueblo, sino de los dirigentes de los partidos. Con frecuencia, los políticos que resultan elegidos son ineptos, demagogos y corruptos. La ventaja de la democracia es que permite corregir sus errores y retirar del gobierno a esos políticos sin necesidad de pasar por baños de sangre, guerras civiles o revoluciones.

Bastantes filósofos e intelectuales del siglo XX se dejaron seducir por las ideologías totalitarias. Unos, como Martin Heidegger, habían apoyado activamente al nazismo. Otros, como Jean-Paul Sartre, habían sido compañeros de viaje del comunismo. Otros, como Wittgenstein, se habían abstenido de tomar posiciones públicas. Al final del siglo, solo Popper aparecía como limpio de polvo y paja, sin cadáveres en el armario, y habiendo defendido siempre las buenas causas, la sociedad abierta y la libertad.

En una época que está de vuelta de los dogmas y las utopías, el racionalismo crítico de Popper se nos presenta como la expresión de la falibilidad irremediable del ser humano y la provisionalidad de todas sus ideas. Popper nos ha exhortado a no dar ninguna cuestión por zanjada y a no aceptar ninguna solución como definitiva. Sin embargo, esa posición no le condujo a ningún fácil escepticismo. Aunque no podamos soslayar cometer errores, podemos evitar permanecer en ellos e incluso podemos aprender de ellos. Es así, a través del ensayo y del error, de la fantasía y de la crítica, como recorremos el camino del progreso científico y social, por el que Popper siempre apostó.

Notas:

¹⁰⁴. Todas las citas de este párrafo proceden de su autobiografía, *Unended Quest*, concretamente de las páginas 119, 147 y 50 de la traducción en español, *Búsqueda sin término* (Tecnos, Madrid, 1977).

¹⁰⁵. *Ibidem*, pág. 144.

¹⁰⁶. *Ibidem*, pág. 153.

¹⁰⁷. Popper, K., *Objective Knowledge: An Evolutionary Approach*. Clarendon Press, Oxford, 1972, pág. 309. Hay traducción en español: *Conocimiento objetivo: Un enfoque evolucionista*. Tecnos, Madrid, 1982.

¹⁰⁸. *Ibidem*, pág. 47.

¹⁰⁹. *Ibidem*, pág. 48.

¹¹⁰. Prólogo a la edición inglesa de *The Logic of Scientific Discovery*, 1959.

¹¹¹. Incluso en España, donde ya había venido en 1968 a un seminario semiclandestino sobre su obra en Burgos, se lo honró en sus últimos años con invitaciones a simposios en su honor en Madrid (1984) y en Santander (1991). En 1989, se le concedió en Barcelona el primer Premio Internacional Catalunya, dotado con 100 000 dólares. Poco después fue nombrado Doctor *honoris causa* por la Universidad Complutense de Madrid.

Entrevista con Karl Popper

Karl Popper vivía en el condado de Surrey, al sur de Londres. Lo visité en un día soleado de mayo de 1989, y llegué a su casa después de atravesar praderas multicolores bordeadas de espinos albares tan recubiertos de flores blancas que parecía que acabase de nevar. Tras la muerte de su mujer hacía pocos años, Popper, que no había tenido hijos, vivía solo. Su biblioteca incluía ejemplares de las primeras ediciones de los libros de Galileo, Newton y otros clásicos de la ciencia, que él me mostró con orgullo. También ocupaba un lugar prominente el piano de cola, testimonio de la afición de Popper por la música, heredada de su madre.

A sus casi 87 años de edad y después de haber sufrido cinco ataques de apoplejía, Popper seguía desplegando una sorprendente actividad. El día anterior a mi visita, acababa de regresar de la Universidad de Stanford, en California, y, por tanto, es de suponer que estaba afectado por el *jet-lag* (diferencia de horario). En un par de días volaría a Barcelona a recoger el primer Premio Internacional Catalunya. La London School of Economics ponía a su disposición una secretaria y ayudante de investigación, Melitta Mew, que le ayudaba a ordenar la copiosa correspondencia que le llegaba de todo el mundo y que se había apilado sobre la mesa durante su estancia en California.

Aprovechando el raro buen tiempo, le hice la entrevista a Popper al aire libre, en el jardín trasero de su casa, donde el césped solo es interrumpido por los abedules de plateada corteza. Popper, que tenía dificultades para oír, hablaba en voz baja, a veces apagada por los cantos estruendosos de los numerosos mirlos. En contraste con ellos, los planeadores del cercano aeropuerto de Croydon surcaban el cielo como fantasmales pájaros silenciosos. La lucidez y energía de Popper, insólitas en un hombre de su edad, se manifestaron durante nuestra larga conversación de más de cinco horas, no interrumpidas por un solo minuto de descanso. Es obvio que los grandes problemas de la ciencia, y en especial de la física, le apasionaban, y que no vacilaba en sostener opiniones tajantes al respecto, incluso a sabiendas de que estas con frecuencia iban contra corriente.

JM: Sir Karl, ¿sigue siendo el Universo el tema que más le interesa?

KP: Como ya dije en mi *Lógica de la investigación científica*, lo que más me interesa es el Universo, pero no hay que olvidar que el Universo incluye también los animales y las plantas, la humanidad, e incluso cosas tales como el conocimiento y la bondad

humana. Todo eso pertenece al Universo, y hace al Universo más difícil de entender. Sí, sigo estando muy interesado en el Universo y en todo lo que ha emergido en él.

Mecánica cuántica

JM: En su larga vida, usted ha sido un testigo apasionado de los cambios y progresos de la física contemporánea y ha intervenido en las polémicas relativas a la mecánica cuántica. ¿La evolución de la física ha seguido por los derroteros que usted esperaba?

KP: No, la física ha seguido un camino distinto al que yo esperaba. De hecho, la evolución de la física no ha sido correcta. Oficialmente los físicos todavía creen en la interpretación de Copenhague. Pero la interpretación de Copenhague es manifiestamente errónea. Le voy a dar un argumento fácilmente comprensible. Yo no entiendo el principio de complementariedad de Niels Bohr. Einstein tampoco lo entendía. Pero aunque no lo entiendo, puedo refutarlo. En efecto, Bohr dijo que del principio de complementariedad se sigue como consecuencia algo que sí entiendo, a saber, que ningún experimento (por ejemplo, con electrones o fotones) puede presentar a la vez propiedades de partícula y de onda.

Bohr pensaba que un experimento que presentase características de partícula no podría presentarlas de onda. Ambos tipos de experimentos son complementarios, es decir, ambos tipos de experimentos se excluyen mutuamente. Su principal ejemplo era el experimento de las dos ranuras. Proyectamos un haz de luz sobre una pantalla con dos ranuras estrechas y observamos su efecto sobre una segunda pantalla situada detrás. Bohr dijo: si tenemos las dos ranuras abiertas, entonces sobre la segunda pantalla aparecen franjas brillantes y franjas de sombra alternativas, que son un típico efecto de onda y de la interferencia de ondas, y no un efecto de partículas. Este experimento exhibe propiedades de onda, no de partícula. Ahora bien, si pregunto por propiedades de partícula, por ejemplo, por cuál de las ranuras ha pasado una partícula concreta, solo puedo responder que ha pasado por una de las dos ranuras, pues no puede partirse y pasar por las dos. Si tapo una de las dos ranuras, entonces la partícula solo puede pasar por la otra ranura, y el experimento exhibe propiedades de partícula.

JM: ¿Qué tiene usted que objetar al experimento?

KP: El experimento con dos ranuras y el experimento con solo una ranura abierta son mutuamente exclusivos. Pero el principio de complementariedad es trivialmente falso, pues ambos experimentos exhiben tanto propiedades de onda como de partícula. Las franjas brillantes son resultado de la densidad de las partículas que impactan. Si la intensidad de la luz se reduce y se hace menor y menor, veremos los impactos singulares de partículas aquí y allá sobre la segunda pantalla, y tendremos que esperar un largo tiempo antes de ver que los impactos son más frecuentes en las franjas brillantes y menos frecuentes entre las mismas, en las franjas oscuras. Obviamente, las franjas

brillantes son meramente zonas de alta densidad de impactos de partículas.

El experimento de las ranuras muestra tanto propiedades de onda como de partículas. De hecho solo hay partículas, y las franjas brillantes son zonas de alta densidad de impactos de partículas. Exactamente lo mismo ocurre con el experimento con una ranura. Si nos preguntamos cuál es la probabilidad de la densidad de los impactos, tenemos que aplicar la ecuación de Schrödinger y encontramos la función de distribución de las intensidades de luz y sombra. No tiene ningún sentido decir que el experimento de las dos ranuras solo tiene propiedades de onda, y el de una ranura, de partícula. Ambos experimentos tienen fundamentalmente propiedades de partícula y solo adquieren las de onda si suministramos un número suficientemente alto de partículas. La interpretación probabilista de Max Born es la correcta, y de hecho todo el mundo la acepta.

En el primer experimento, las propiedades de onda se exhiben de un modo dramático; pero también se exhiben en el segundo, aunque de un modo menos dramático. La ecuación de Schrödinger se aplica a ambos, y ambos exhiben propiedades de partículas. Es cierto que ambos experimentos se excluyen mutuamente, pero no en el sentido de que uno solo exhiba propiedades de onda y el otro de partículas. La consecuencia del principio de complementariedad es simplemente falsa.

JM: Si el principio de complementariedad es tan obviamente insostenible, ¿cómo llegó Bohr a formularlo?

KP: La explicación hay que buscarla en la situación histórica. Primero Heisenberg desarrolló una teoría de partículas. Luego Schrödinger presentó una teoría de ondas. Inicialmente esto creó gran excitación e incluso insatisfacción en Copenhague, pero al final hubo que aceptar su ecuación de onda. Schrödinger fue invitado a ir a Copenhague y a explicar allí su teoría. Su viaje tuvo lugar antes de que Born diese su interpretación probabilista de la ecuación de onda en función de las partículas. Las sesiones de Copenhague fueron tormentosas. Schrödinger explicaba su teoría y Bohr, muy excitado, le interrumpía y casi no le dejaba hablar. Como consecuencia de ello, Schrödinger se puso enfermo y hubo de guardar cama; sin embargo, Bohr le siguió hasta su lecho y continuó hablando y argumentando sin parar. Al final, se llegó a un compromiso, el principio de complementariedad, que equivalía a decir que los dos tenían razón, y que las dos soluciones —la de Heisenberg y la de Schrödinger— eran complementarias. Bohr era indudablemente un gran físico, y tenía tal reputación y autoridad entre los físicos, que la interpretación de Copenhague de la mecánica cuántica, que incorpora el principio de complementariedad, fue y todavía es ampliamente aceptada. Pero, como usted ve, es trivialmente falsa. No hay experimentos complementarios.

JM: Los experimentos de Aspect parecen haber dado la razón a la mecánica cuántica ortodoxa, frente a las teorías de variables ocultas. La interpretación de Copenhague parece haber triunfado. ¿Qué opina usted?

KP: Los experimentos de Aspect se basan en la opinión de que la mecánica cuántica no solo permite, sino que exige la acción a distancia. Esta opinión ya tiene 62 años. El colapso del paquete de ondas fue inicialmente sugerido por Einstein en 1926 o 1927 en Bruselas durante una discusión con Heisenberg. (Einstein, más tarde, aceptó la mecánica cuántica. Es un mito que no la aceptase nunca. Lo que pasa es que solo la aceptaba como teoría estadística, que es lo correcto, pues la mecánica cuántica es una teoría estadística, una teoría sobre densidades.) En aquella discusión con Heisenberg, Einstein trataba de reducir al absurdo la mecánica cuántica. Einstein proponía un experimento consistente en un haz de luz dividido por un prisma en dos haces igualmente intensos. Si encuentro en uno de los haces una partícula singular, esta partícula está de algún modo sometida a la ecuación de Schrödinger. La partícula no se divide, pero sí la onda. Cada una de las ondas tiene una intensidad de $\frac{1}{2}$. Si encuentro la partícula en uno de los haces (por ejemplo, mediante una placa fotográfica), la otra onda inmediatamente pasa a tener intensidad 0 y desaparece. En el momento en que encuentro la partícula y una onda pasa a tener intensidad 1, la otra pasa a tener intensidad 0. Einstein dijo: puesto que no hay acción a distancia, hemos refutado su teoría. Pero el joven Heisenberg replicó: tiene usted razón, mi teoría exige la acción a distancia.

Esta conversación (sostenida más en broma que en serio) es el origen del mito de que la mecánica cuántica exige acción a distancia. Ya en mi *Lógica de la investigación científica* defendí que esto no tiene sentido.

La teoría de Aspect (en realidad se trata de un experimento, pero toda interpretación de un experimento es una interpretación en función de teorías) es una interpretación equivocada que interpreta falsamente el experimento. Yo no sé cuál es la interpretación correcta de ese experimento, pero, por razones teóricas, no creo que la interpretación de Aspect sea correcta. Nadie habría aceptado esa interpretación de no haber sido por el hecho de que, desde hace 62 años, los físicos han creído que la mecánica cuántica exige la acción a distancia. El experimento de Aspect está basado en el supuesto de que debe haber acción a distancia y trata de exhibir esa acción a distancia. Nunca habría sido aceptado si no fuera por este hábito (de 62 años). Mi opinión sobre el experimento de Aspect es que ha sido mal interpretado.

JM: ¿Qué piensa del colapso del paquete de ondas?

KP: Ahora quiero refutar el llamado colapso del paquete de ondas. La mejor refutación consiste en seguir la descripción de Louis de Broglie, uno de los mayores físicos cuánticos. Él descubrió que tanto los electrones como los fotones tienen a la vez propiedades de partícula y de onda. Como ya hemos visto, no es cierto que —como pretendía Bohr— estos dos tipos de propiedades no puedan ser manifestados a la vez, sino que siempre son exhibidos conjuntamente. Yo acepto la teoría de De Broglie, el dualismo de fotones y electrones, que exhiben a la vez propiedades de ondas y de

partículas. Son partículas y ondas al mismo tiempo, no de un modo complementario o exclusivo.

De Broglie explicó el colapso del paquete de ondas del siguiente modo. Uno construye una máquina que consiste en una caja que puede partirse en dos partes por el medio. La división que parte la caja tiene espejos en sus lados interiores. Así que tenemos dos cajas con espejos en sus lados. Empezamos con la caja inicial y una partícula dentro, para lo que De Broglie da las ecuaciones. La partícula se mueve muy deprisa entre las dos partes. Dividimos la caja en dos, y enviamos una a Tokio y otra a París. Se pueden describir estas cajas. Abrimos la caja en Tokio y encontramos la partícula dentro. En ese mismo momento —dice De Broglie— la onda en París colapsa. Esa es la descripción que ofrece De Broglie del colapso del paquete de ondas. Imaginemos ahora una situación parecida, con una caja provista de aislamiento acústico en vez de espejos. Ponemos un guisante dentro y dividimos la caja con una pared acústicamente aislante. No sabemos dónde está el guisante. Enviamos una caja a Tokio y otra a París. Abrimos la caja de Tokio y encontramos el guisante. En ese mismo momento la probabilidad de encontrar el guisante en París (que hasta entonces había sido $\frac{1}{2}$) se vuelve cero. Y los guisantes no siguen las leyes de la mecánica cuántica, sino las de la clásica. Por tanto, no se trata de un efecto cuántico, sino de un simple asunto probabilista.

Cuando cambian las circunstancias experimentales, cambian las probabilidades condicionales. No hay colapso alguno del paquete de ondas ni acción a distancia. La historia del guisante muestra que no nos las habemos con efectos cuánticos, sino simplemente con el cálculo de probabilidades en función de nuevas informaciones. La opinión de que se da el colapso del paquete de ondas como acción a distancia es un error.

Probabilidad y determinismo

JM: Usted ha propuesto una nueva interpretación física del cálculo de probabilidades, en la que estas son consideradas como propensiones.

KP: Así es. En el caso recientemente considerado, la partícula tiene una propensión de $\frac{1}{2}$ a encontrarse en una mitad u otra de la caja. La propensión es una función de dos variables: la posición y la configuración total del experimento. La propensión no lo es de la partícula sola, sino de la partícula en una situación. La propensión de una moneda a caer de cara es de $\frac{1}{2}$; pero, si el suelo es de arena mojada, entonces es de menos de $\frac{1}{2}$, porque puede quedar de canto. La propensión depende de la situación física total, incluyendo la humedad.

JM: ¿La propensión la tiene una moneda singular?

KP: La propensión se refiere a cada experimento singular, a cada vez que arrojamus una moneda al aire bajo ciertas circunstancias. Una misma moneda puede tener propensiones distintas a caer de un modo u otro en circunstancias diversas. La

probabilidad de morir o propensión a morir de una persona varía si se descubre un nuevo medicamento o si se difunde una nueva enfermedad o si una nueva guerra amenaza, aunque el sujeto en cuestión no se vea afectado.

JM: Según el determinismo, el mundo entero sería como una película cuyos fotogramas anteriores permiten calcular los posteriores. Usted se ha opuesto vigorosamente a esa concepción.

KP: Sí, tiene razón. Se puede comparar la visión del mundo del determinismo con una película que vemos en el cine. Aunque en cada momento solo vemos unas imágenes de la película, sabemos que toda la película y su final están ya grabados y fijados en el film. ¿Somos solo actores de una película predeterminada? Creo que no. Los recientes resultados de la física matemática del caos, muestran que la física determinista es casi contradictoria, en el sentido de que ciertas aplicaciones suyas conducen al caos, y el caos no solo es impredecible, sino que convierte todo en indeterminado. Hay cosas determinadas y otras indeterminadas, especialmente en biología. En biología es absurdo pensar que cuando millones y millones de espermatozoides salen a fecundar un óvulo, ya está predeterminado cuál de ellos lo fecundará.

JM: Alguien podría decir que en la película de la vida está determinado qué espermatozoide alcanzará al óvulo, pero que es imposible encontrar la fórmula para calcularlo.

KP: Eso sería metafísica e incluso metafísica falsa. Es una metafísica basada en varios mitos. Uno es el mito «científico» de que todo es predecible, otro es el mito religioso de un dios omnisciente que todo lo conoce por adelantado. Hay muy buenos argumentos en contra, como el de Hadamard, que cito en mi libro *El Universo abierto*.

JM: Si consideramos el cono de luz relativista correspondiente a nuestra situación, hay muchos puntos en el pasado que no pueden ser alcanzados desde el presente. ¿No le parece que hay cierta similitud entre esos puntos del pasado que no son accesibles desde el presente y los puntos del futuro?

KP: Ciertamente hay una similitud. Todo habla a favor del indeterminismo, excepto ciertos prejuicios. Los pensadores religiosos, desde el momento en que aceptaron el libre albedrío y la responsabilidad individual, tuvieron conflictos con el determinismo basado en la omnisciencia divina. Un conflicto similar existe en la física del caos: aunque las ecuaciones siguen siendo aparentemente deterministas, los fenómenos descritos no lo son. El determinismo es insostenible.

JM: Usted tuvo discusiones con Einstein en Princeton sobre este tema. ¿No era Einstein un determinista?

KP: Sí, lo era inicialmente. Pero Pauli visitó a Einstein un año después de nuestras discusiones y Einstein le dijo que había abandonado su determinismo, según escribió Pauli en una carta a Max Born. No sé si luego volvió a cambiar de idea.

JM: ¿Es cierto que Einstein es el pensador que usted más ha admirado?

KP: Sí, es cierto. Todavía lo admiro enormemente.

JM: También tuvo usted discusiones con Schrödinger sobre la flecha del tiempo.

KP: Schrödinger pensaba que no había más flecha del tiempo que la termodinámica y que esta era completamente explicable en términos estadísticos, tal y como lo había hecho Boltzmann. Pero yo creo que hay muchos procesos irreversibles en la naturaleza. Toda acción siempre empieza a partir de un centro. No se puede regular un experimento si no es a partir de un centro. Un experimento es satisfactorio solo si puede ser repetido. Para que un experimento pueda ser realmente repetido, hace falta una regulación central. Por ejemplo, podemos experimentar con la dirección de las ondas. Puedo hacer un experimento enviando ondas desde uno de los focos de un elipsoide. Las ondas se reflejarán en el borde y volverán a contraerse en el otro foco. Pero para que las ondas se contraigan así, tienen que haber sido enviadas desde el otro foco. Esto no ocurrirá con ondas que lleguen del Universo. Ha de haber coherencia.

El problema es si podemos leer la dirección del tiempo a partir de la dirección de las ondas. Lo que pasa en el segundo foco podría hacer pensar que se ha invertido la dirección del tiempo, pero ello no es así, pues depende de una emisión central previa. Sin ella, tendríamos que poner una infinidad de emisores coherentes en el borde del elipsoide. Estos emisores tendrían que «conspirar» para emitir sus ondas conjuntamente, coherentemente. Aunque para ello sería necesario un control central previo.

Mi argumento contra la reversibilidad del tiempo es que hay cosas físicas, como las ondas globulares mencionadas, que no son reversibles. Hay procesos, como arrojar una piedra en un estanque, que no son reversibles. Contra esto protestaba Schrödinger dogmáticamente. Aunque no sabía responder a mi argumento, lo rechazaba. Era un hombre con mucho temperamento. Se excitaba mucho cuando discutíamos, me decía que lo volvía loco; incluso se arrancaba pelos de la cabeza en gesto de desesperación. Más adelante se volvió más calmado e hicimos las paces.

El final de la física

JM: En los últimos años, se observa un gran fermento y expectación entre los físicos teóricos debido a los avances en la unificación de las teorías de las fuerzas fundamentales. Muchos piensan que la integración de la mecánica cuántica y de la relatividad general en algún tipo de superteoría está a la vuelta de la esquina. Stephen Hawking ha dicho que el final de la física teórica está a la vista. Otros físicos han expresado su esperanza de llegar pronto a la teoría definitiva total, en forma de teoría de la supergravedad o de las supercuerdas. ¿Cuál es su evaluación de tales esperanzas?

KP: La unificación de las varias fuerzas es una tarea concreta muy importante, que todavía no ha sido realizada, pero para la que ya se han dado los primeros pasos. Sin

embargo, la opinión de que esto significa acercarse al final de la física me parece increíblemente estrecha de miras. La idea de que, el día que se consiga la gran unificación, ya no quedarán cuestiones abiertas me parece totalmente equivocada. Con cada nueva teoría surgen nuevos problemas. Estoy a favor de ir hacia la unificación, pero su consecución planteará nuevos e insospechados problemas.

Heisenberg creyó que él había llegado al final de la física con su principio de incertidumbre, que ponía límites definitivos a nuestra capacidad de medir. Pero desde entonces hemos seguido mejorando nuestras mediciones. Este tipo de ilusiones son típicas de los grandes descubridores. Piensan que su descubrimiento solucionará todos los problemas. Es algo que ha ocurrido muchas veces en la historia de la ciencia. Ya Parménides pensó eso. Es muy ingenuo pensar que algún día habrá una teoría definitiva, que no pueda ser mejorada y que no contenga un gran número de problemas no resueltos. Una buena solución siempre abre nuevos problemas. De hecho, el descubrimiento de nuevos problemas es algo aún más importante y creativo que la solución de viejos problemas. Por ejemplo, Heisenberg creía que solo había dos tipos de partículas: electrones y protones, y se planteaba el problema de reducir un tipo al otro. Dirac dijo que el protón no era más que un agujero en un mar de electrones. Luego se descubrió el neutrón. Se lo interpretó como una combinación de protón y electrón. El siguiente descubrimiento fue el positrón. Todavía se trató de salvar la teoría. Pero luego se vio que a cada partícula corresponde una antipartícula. A Feynman se le ocurrió que un positrón es un electrón que viene del futuro y va hacia el pasado, que es lo mismo que decir que mis deudas son mis ingresos futuros, de camino hacia el pasado. Matemáticamente es lo mismo, consiste en cambiar los signos. Todas estas teorías son tremendos gazapos. La teoría cuántica está llena de gazapos. No creo en la unificación final, aunque sí creo en los esfuerzos para obtenerla.

Cosmología

JM: ¿Qué le parece la actual cosmología del Big Bang, basada en la teoría general de la relatividad de Einstein?

KP: Pienso que la teoría de Einstein es muy buena, pero ya empezamos a ver puntos en que estaba equivocada. Creo que la presente teoría del Big Bang acerca del origen del Universo ha sido ya refutada. Se han detectado galaxias que están físicamente conectadas y que, por tanto, deben estar aproximadamente en el mismo sitio y, sin embargo, tienen corrimientos hacia el rojo muy diferentes.

JM: ¿Se refiere usted a las fotografías de Halton Arp?

KP: No recuerdo el nombre exactamente, pero desde hace veinte años se están haciendo tales fotografías. Hay unos 32 casos de ese tipo. Es más que suficiente para refutar la teoría de que el corrimiento hacia el rojo nos permite determinar la distancia.

JM: Hay una explicación diferente para esas fotografías. Dos objetos colineales con el observador aparecerán juntos en la fotografía, aunque estén separados por grandes distancias.

KP: Desde luego, pero se trata de galaxias físicamente conectadas entre sí. Es difícil explicar de otra manera los 32 casos conocidos.

JM: Por tanto, usted considera que la ley de Hubble está también refutada.

KP: Sí, eso es lo que pienso. En cualquier caso, no se trata de una ley sin excepciones. Déjeme que le recuerde el origen histórico de la teoría del Big Bang. La teoría de Einstein contenía originalmente una constante cosmológica cuyo único propósito era evitar soluciones que implicaban la contracción o expansión del Universo. Luego vino el descubrimiento de la ley de Hubble, que el mismo Hubble no se acababa de creer. El ruso Friedmann mostró cómo, eliminando la constante cosmológica, la teoría de Einstein así simplificada daba cuenta de la ley de Hubble. Se trataba de una unificación maravillosa y que resultaba muy convincente. Por eso todo el mundo la aceptó. Calculando hacia atrás en términos de este modelo simplificado se llegaba a un punto en donde todo debía haber empezado, el Big Bang. Sin embargo, esta teoría, tan simple inicialmente, se ha convertido en algo enormemente complicado. Incluso en sus versiones más recientes contiene un gran número de dificultades y problemas sin solucionar. En cualquier caso ha perdido su simplicidad originaria. Weinberg considera que en el inicio había un objeto homogéneo y en equilibrio termodinámico de varios años luz de diámetro. Cree que estaba en equilibrio fracciones de segundo después de la explosión, lo cual implicaría de nuevo acciones a distancia. Esta teoría se basa en acciones momentáneas a distancia, con lo que contradice a los propios supuestos einsteinianos en los que se basa.

JM: Estos problemas del horizonte de eventos a los que usted se refiere pueden haber sido solucionados por el modelo cosmológico inflacionario.

KP: No, no. El equilibrio no puede establecerse en estas teorías sin asumir una acción a distancia.

JM: La acción a distancia es necesaria para establecer el equilibrio, si el radio del Universo es suficientemente grande en relación al tiempo transcurrido desde el Big Bang, pero en el Universo inflacionario ese radio es inicialmente muy pequeño y no requiere acciones a distancia.

KP: No sé. En cualquier caso, fue precisamente su gran simplicidad lo que condujo inicialmente a la aceptación de esta teoría del Big Bang. Ahora se ha vuelto extremadamente complicada y ya no hay razón para aceptarla. Creo que deberíamos empezar de nuevo en cosmología.

JM: Así que usted considera que tanto la ley de Hubble como el modelo cosmológico del Big Bang están refutados. ¿Se da cuenta de que esta posición suya no es nada

estándar y que va en contra de las opiniones más extendidas hoy en día?

KP: Sí, mi posición es muy poco estándar. Pero son los otros los que se aferran dogmáticamente a una teoría que ha cambiado tanto que ha perdido los motivos que llevaron a su aceptación original.

JM: Usted tiene fuertes objeciones tanto contra la mecánica cuántica en su interpretación de Copenhague como contra la cosmología del Big Bang. ¿Cree usted, en general, que la física actual anda descarriada?

KP: En parte, sí. De todos modos, no anda más descarriada que en épocas pasadas. Lo que ocurre es que, precisamente debido a sus grandes éxitos anteriores, los físicos con frecuencia sostienen sus teorías con una gran dosis de dogmatismo.

Epistemología

JM: Su visión del desarrollo de la ciencia tiene muchos puntos en común con la concepción darwiniana de la evolución de las especies. Usted mismo ha destacado esas similitudes. Darwin asumió como dada la variabilidad de los organismos y explicó su evolución por selección natural. Usted asume como dada la variabilidad de las teorías y explica su evolución por la presión selectiva de la crítica racional. ¿En qué medida acepta usted que su epistemología sea llamada evolucionista o darwinista?

KP: No me importa cómo se quiera llamar a mi epistemología. Es cierto que algunos han calificado de evolucionista o darwinista a mi epistemología, pero las cuestiones de palabras me interesan muy poco. Es una teoría evolutiva en el sentido de que es una teoría del crecimiento del conocimiento.

Es muy importante darse cuenta de que nuestro conocimiento científico tiene mucho en común con el conocimiento de los animales. Desde luego los animales tienen conocimiento, pues son capaces de anticipar acontecimientos en su entorno y son capaces de resolver problemas. La construcción del nido por un pájaro implica una gran cantidad de conocimientos. El conocimiento de los animales no es idéntico al nuestro, pero comparte con él muchas características. Cualquier teoría del conocimiento que no tenga esto en cuenta es insatisfactoria. Nuestra teoría tiene que dar cuenta de los rasgos que nuestro conocimiento comparte con el conocimiento animal y de cómo puede haber evolucionado a partir de él. Es un hecho histórico que nuestro conocimiento ha crecido, y mi epistemología es una teoría del crecimiento del conocimiento.

La historia solo puede entenderse mediante la lógica situacional, que consiste en la comprensión de las acciones de los agentes históricos en función de sus creencias e intenciones, que son parte de la situación en que se encuentran. Mi epistemología aplica la lógica situacional.

Nuestra situación epistemológica es la de un negro que, en una habitación oscura, trata de encontrar un sombrero negro que quizá no se encuentre allí. ¿Qué puede hacer? Solo

puede mover las manos en la oscuridad y tratar de dar con el sombrero. Incluso si encuentra el sombrero, no puede estar seguro de que sea el sombrero negro el que ha encontrado. Quizá ha encontrado un sombrero rojo. En definitiva, nunca puede tener la certeza de haber resuelto el problema. Cuando alguien descubre algo nuevo, previamente estaba en la situación descrita del negro. Para obtener conocimiento hay que comportarse activamente; sin actividad, no se puede llegar a nuevos conocimientos. Si esperamos a que el mundo nos revele sus secretos, nos moriremos esperando. Solo nuestra acción conduce a descubrimientos, y estos siempre son hasta cierto punto imprevisibles.

Pienso que esta lógica situacional también existe en la teoría de la evolución. Así es también como los animales adquieren su conocimiento. Esto se observa incluso en animales unicelulares que tratan de buscar comida o de huir de un peligro. Aprenden por ensayo y error, que es un tipo de actividad congénita. Básicamente, cuando conocemos, estamos haciendo lo mismo que los animales unicelulares, solo que de un modo mucho más sofisticado. Desde la ameba hasta Einstein no hay más que un paso. Ambos actúan por ensayo y error. ¿Cuál es la gran diferencia? La gran diferencia es que la ameba no desea ser refutada, mientras que Einstein busca someter sus ideas a la refutación. La ameba se apega a sus teorías, mientras que Einstein trata de contrastarlas con los hechos, trata de ponerlas a prueba. Lo que es nuevo es la crítica racional, la autocritica y la crítica de teorías, que solo pueden darse sobre la base de un cierto grado de consciencia. Esto requiere también la existencia de un lenguaje descriptivo que permita la formulación explícita de las teorías y su constitución como objetos independientes de investigación. A diferencia de un lenguaje que solamente sirva para advertir de peligros o expresar estados de ánimo, el lenguaje humano es descriptivo. Es la existencia de ese lenguaje descriptivo y de la consciencia lo que diferencia a Einstein de la ameba y le permite formular teorías y criticarlas situacionalmente.

JM: Su paisano Konrad Lorenz también ha iniciado una fecunda línea de epistemología evolutiva. ¿Qué piensa usted de las ideas de Konrad Lorenz sobre el conocimiento humano?

KP: La principal diferencia entre Konrad Lorenz y yo es que Konrad Lorenz acepta la inducción. Ambos aceptamos el método hipotético-deductivo y la crítica racional, pero, además, él acepta también la inducción, y yo no. Me ha explicado con mucho detalle por qué cree en la inducción, pero sus razones son inválidas. Según Konrad Lorenz, solo el hombre que ha visto muchas veces a diversos tipos de gansos puede distinguir las diversas especies de gansos mediante una intuición basada en la inducción. En realidad aprendemos por corrección, no por inducción. Y esta diferencia tiene grandes consecuencias. Todos estamos de acuerdo en que tenemos una gran cantidad de conocimiento congénito. Lorenz piensa que lo hemos obtenido por inducción de las generaciones previas. Yo creo que nuestro conocimiento congénito es el resultado de la

eliminación de teorías erróneas de las generaciones previas. Por tanto, yo soy más darwinista que Lorenz. El aprender por inducción suena más a lamarckismo. La inducción corresponde al lamarckismo, y la eliminación al darwinismo.

JM: Puesto que estamos hablando de la inducción, quería hacerle una pregunta sobre este tema. La mayoría de los filósofos de la ciencia aceptan su crítica devastadora de la inducción. Sin embargo, algo parecido a la inducción parece existir a nivel psicológico en todos nosotros, incluso en los niños y en los animales. Desde luego, no se trata de un mecanismo que sirva para justificar hipótesis científicas, pero sí podría tratarse de un mecanismo heurístico que sirva para llegar a proponer hipótesis. ¿Aceptaría usted que la inducción tiene un valor heurístico?

KP: No. Si alguien me roba una sola vez, esto cambiará grandemente mis expectativas respecto a él. No necesito esperar a que me robe varias veces para formarlas. Piense en el proceso de la impronta, estudiado por Konrad Lorenz. La impronta es un buen ejemplo de formación de hipótesis basándose en la experiencia de un solo caso. Otros procesos de aprendizaje pueden ser menos dogmáticos y definitivos que la impronta, pero no se basan en la inducción.

La inducción se basa en la idea de que uno aprende mirando u oyendo, recolectando sensaciones. Y puede probarse que esto es falso. Las sensaciones mismas tienen el carácter de hipótesis. Nuestros ojos contienen un cierto esquema euclídeo del espacio. Los sentidos son del tipo de las expectativas, que a su vez tienen carácter de teoría. Las sensaciones no son nada definitivo, sino el resultado de las teorías plasmadas en nuestros sentidos. A veces se piensa que el conocimiento empieza con lo que vemos. Pero eso no es así; para ver, necesitamos tener ya problemas previos y teorías previas. Un niño recién nacido tiene que dedicar mucho tiempo a aprender a ver. Debe desarrollar lentamente las coordinaciones necesarias. Las teorías tienen el carácter de las expectativas. Hay dos tipos de expectativas: las generales, plasmadas en nuestro cerebro y nuestros sentidos, y las específicas, que formamos en circunstancias concretas. Las primeras están dadas genéticamente, las segundas nos ayudan a formarnos una imagen del Universo, tal como este aparece en nuestra situación. La inducción no funciona nunca y el inductivismo es una filosofía completamente falsa y equivocada.

JM: La «nueva síntesis» ha complementado la teoría darwiniana original con una explicación del origen de la variabilidad genética mediante mutaciones aleatorias en el DNA. Su epistemología está más relacionada con la crítica de las hipótesis disponibles que con las maneras de llegar a nuevas hipótesis. ¿Cree usted que la invención creativa de nuevas teorías es un proceso aleatorio, comparable con las mutaciones de los genes? ¿O cree usted que se trata de un proceso teleológico, para el cual se puedan dar reglas y directrices?

KP: Probablemente no se trata de un proceso puramente aleatorio. Es algo que no

entendemos, y que tampoco vamos a entender cuando se logre la teoría superunificada de las cuatro fuerzas fundamentales. No entendemos el origen de la vida, ni el origen de la conciencia o del lenguaje o de ese tipo de creatividad al que usted se refiere. De todos modos, cuando uno se pregunta cómo creamos las teorías, normalmente lo que quiere preguntar es cómo creamos las buenas teorías. Siempre es fácil crear malas teorías. Las buenas teorías son las que tienen éxito, aunque no por ello sean necesariamente verdaderas. La obtención de buenas teorías es también un asunto de ensayo y error.

JM: ¿En qué medida considera a Imre Lakatos como un discípulo suyo?

KP: Desde luego, fue un alumno y discípulo mío. Utilizó mis ideas y trató de cambiarlas en un sentido que yo no creo que fuera adecuado. Incluso utilizó mi terminología, por ejemplo, acerca de los programas de investigación, que trató de convertir en el centro de una moda filosófica y de una escuela. Pero yo estoy contra las modas y las escuelas.

Teoría de la evolución

JM: Usted ha sido un crítico severo de la teoría darwiniana de la evolución por selección natural, de la que ha escrito que no tiene el carácter de una ley científica, sino simplemente el de un enunciado particular histórico. También la ha llamado un «programa metafísico de investigación», pues sus ideas no son falsables. ¿Cómo evaluaría hoy el estatus epistemológico de la teoría darwiniana?

KP: Yo diría ahora que la teoría darwiniana corresponde esencialmente a la lógica situacional. La lógica situacional depende de que conozcamos cada vez más y más acerca de la situación considerada. Esto explica el carácter peculiar de la teoría de la evolución. Creo que la teoría de Darwin no ha sido ni será refutada. Una peculiaridad suya es que carece de alternativas. Ninguna otra teoría explica las cosas que explica la de Darwin. No tiene apenas contenido empírico, aunque está muy bien apoyada en la experiencia. En realidad, quien en cierto modo la refutó fue el propio Darwin con su teoría de la selección sexual. Hay cosas, como la espectacular cola del pavo real, que no contribuyen en nada a la supervivencia y que solo se explican por selección sexual. Esa cola es más bien un peligro para el animal que la porta y, por tanto, es difícilmente explicable en términos de selección natural. De todos modos no puede ser excesivamente peligrosa, pues los pavos reales no se han extinguido. La teoría darwiniana era originariamente utilitaria, pero la selección sexual introdujo rasgos no utilitarios en la misma. La introducción de la selección sexual representa una verdadera corrección de sus ideas por el propio Darwin. En la vida no todo es utilitario, también hay algo así como el espíritu de aventura y la búsqueda y ensayo de nuevas soluciones. Quizá esto es el origen de esa misteriosa creatividad de la que hablábamos antes.

El principio básico de la teoría dice que, si hay varios progenitores y unos están mejor

adaptados que otros al entorno, entonces los que estén mejor adaptados tendrán una probabilidad mayor de dejar descendencia que a su vez sobreviva. Pero esto es trivial, casi lógico. Cuando el ambiente cambia, ciertos cambios en los organismos pueden ser necesarios para su supervivencia y, como consecuencia, solo los animales que responden a esta necesidad logran sobrevivir. Esto es lo que explica los casos de melanismo industrial, en que las mariposas que habitan zonas contaminadas por el carbón se vuelven negras, o el que las bacterias desarrollen resistencia a los antibióticos. Solo sobreviven las mariposas que tienen genes para el color negro o las bacterias cuyos genes las hacen inmunes al antibiótico. En resumen, aunque la teoría es muy lógica, no es del tipo de las teorías empíricas. Entre paréntesis, toda la teoría de la evolución no tiene ningún apoyo inductivo. Solo después de que uno tiene las ideas y conceptos de la teoría de la evolución, puede uno empezar a pensar en posibles conexiones empíricas de la misma. La teoría darwinista de la evolución es una teoría lógica y especulativa, pero muy convincente. Una vez que nuestros ojos han sido abiertos por la teoría de la evolución, resulta muy difícil no aceptarla, en especial teniendo en cuenta que no existen alternativas reales.

JM: Cuando usted fue recientemente elegido como miembro de la Academia de Ciencias de Estados Unidos, escogió ser adscrito al Departamento de Evolución Biológica de la Academia.

KP: ¿Cómo lo sabe usted?

JM: Me lo dijo Francisco Ayala, el Director del Departamento.

KP: Qué casualidad, precisamente estuve con Ayala hace cuatro días.

JM: En cualquier caso, ¿significa esa elección suya que usted está ahora especialmente interesado en la biología?

KP: Sí, la evolución me interesa mucho. Además, en estos últimos años estoy colaborando desde un punto de vista metodológico con el bioquímico alemán Günter Wächtershäuser, que está elaborando una nueva y muy prometedora teoría sobre el origen de la vida. Por cierto, Ayala me decía que él también está interesado por esta teoría.

Lenguaje

JM: Gran parte de la filosofía de nuestro siglo gira en torno al lenguaje y al significado de las palabras. Sin embargo, usted siempre ha despreciado este tipo de análisis lingüísticos.

KP: En efecto. Muchas de mis otras posiciones filosóficas han tenido influencia y han sido ampliamente aceptadas. Pero una opinión mía que no ha sido aceptada por ningún filósofo es la de que las preguntas sobre qué es tal o cual cosa carecen de interés. Me temo que ello se deba a que aceptar esta opinión les obligaría a cerrar la tienda. Preguntas tales como qué es la vida son menos interesantes de lo que parece a primera

vista y, en cualquier caso, no pueden ser respondidas mediante algo así como un análisis del significado. La vida es para nosotros una especie de milagro que no acabamos de entender. Una definición o un análisis del significado no cambian mucho la situación, a pesar de lo que puedan pensar esencialistas o wittgensteinianos. Esos filósofos tratan de resolver el problema del conocimiento analizando la palabra «conocimiento» a partir de la forma verbal «yo conozco» y preguntándose por cuáles son las condiciones para decir que yo conozco algo. Pero eso no lleva a ninguna parte, ni a la comprensión del conocimiento animal, ni a la del conocimiento científico, ni a la de ningún tipo de conocimiento.

JM: A pesar de su desprecio por esas cuestiones, usted mismo ha sido víctima de malentendidos causados por la confusión de significados. Estoy pensando en la llamada polémica sobre el positivismo, durante la cual Adorno y Habermas le acusaron a usted de positivismo, aunque de hecho, usted se ha pasado la vida luchando contra todas las formas de positivismo. Mirando hacia atrás, ¿no cree que una clarificación previa del significado del término “positivismo” podría haber evitado esa confundente polémica?

KP: No, no creo que eso hubiera servido para nada. Lo que esa gente quería era atacarme y golpearme. Si la clarificación del significado del término “positivista” hubiera hecho imposible que me acusaran de positivismo, entonces me habrían acusado de alguna otra cosa, por ejemplo de fascismo. Habrían dicho que todo el que no es socialista es fascista, y que, por tanto, yo soy un fascista. La polémica no era seria, solo querían darme una patada.

JM: Usted es un hablante nativo del alemán y ha escrito obras importantes tanto en alemán como en inglés. ¿En cuál de esas lenguas se siente usted más a gusto, si es que hay alguna diferencia?

KP: Me siento bien en las dos, aunque ahora me siento más en casa con el inglés. De todos modos, y a causa de los ataques de apoplejía que he padecido, para algunos conceptos a veces solo recuerdo la palabra alemana y otras veces solo la palabra inglesa.

JM: Algunos filósofos alemanes, como Hegel o Heidegger, han cultivado un modo opaco y complicado de escribir. ¿Cree usted que esa oscuridad de estilo tiene algo que ver con la estructura de la lengua alemana o meramente refleja la oscuridad de las ideas de esos autores?

KP: No es que la lengua alemana haya presentado problemas a esos autores que usted menciona, sino al revés: lo que ha ocurrido es que esos autores han destruido la lengua alemana. Muchos intelectuales alemanes de esa tradición son incapaces de utilizar el alemán con un mínimo de claridad y corrección. En mi opinión, el tipo de lengua utilizado por Hegel es una de las razones que explican el surgimiento de Hitler y su régimen. En ese tipo de lengua y de filosofía, todo vale. En esa lengua, nada puede ser excluido. Los argumentos no son posibles. Solo hay aserciones. Uno puede afirmar

cualquier cosa que se le ocurra. Los argumentos no cuentan. Este lenguaje conduce directamente al relativismo, a la opinión de que todo da igual y de que no hay nada tal como la corrección o incorrección. En un clima espiritual de ese tipo es fácil que florezca un movimiento como el de Hitler. Las universidades no opusieron ninguna resistencia a Hitler. Los grandes intelectuales que se resistieron estaban aislados. Alemania tuvo que decidir entre Kant y Hegel, y se decidió por Hegel. Ranke, el teórico del nacionalismo alemán, era un hegeliano. Esta teoría absurda no podía ser racionalmente discutida, porque era presentada en ese horrible lenguaje hegeliano. Una tarea muy importante que se le presenta a la filosofía alemana es la de restaurar un lenguaje claro que permita la discusión racional, tal como el que existía en Alemania antes de Hegel y Fichte, y que ha pervivido en otros autores posteriores, como Frege.

JM: Su teoría del mundo 3 como un dominio autónomo de información y contenido lingüístico constituye una vigorosa filosofía de la cultura. Entre otras cosas, el mundo 3 abarca todas las proposiciones posibles (expresadas o no) y todos los problemas y soluciones matemáticos (encontrados o no). Aunque usted ha criticado mucho a Platón, ¿no le parece que esta concepción tiene mucho de platónica?

KP: Sí, y yo mismo he señalado desde el principio que esta teoría tiene similitudes con la platónica. Lo digo al principio de mis escritos sobre el tema. Pero el origen de mi teoría no está en Platón, sino en Bolzano. El mundo 3 es el producto de la mente humana, como los nidos son el producto de los pájaros. Los nidos, aunque contruidos por los pájaros, son algo autónomo, objetivo, que está ahí con independencia de ellos. El lenguaje es un producto de la mente humana, pero tiene una objetividad propia, independientemente de que sobreviva alguien que lo hable o no. Nadie puede leer el etrusco, pero como producto de la mente humana, la lengua etrusca sigue formando parte del mundo 3.

Mente y cerebro

JM: Usted ha defendido, contra Hume, la existencia del yo. ¿En cuál de los tres mundos que usted distingue (el 1, el 2 y el 3), sitúa usted al yo?

KP: Lo sitúo en el mundo 2, que es el mundo de la conciencia y de la psicología. Cuando yo hablo con usted, nuestros yos, que pertenecen al mundo 2, interaccionan con el lenguaje, que pertenece al mundo 3. Pero nuestra comprensión del lenguaje pertenece al mundo 2. A través de esa comprensión nuestra, el mundo 3 puede tener efectos causales en el mundo 1 de las cosas físicas. Objetos físicos como los aviones realizan esquemas y planos del mundo 3. Las teorías pertenecen al mundo 3, pero pueden ser escritas en forma de libros impresos que pertenecen al mundo 1. Son productos de la mente humana que pertenecen al mundo 1. Pasa lo mismo que con las telarañas que construyen las arañas.

JM: ¿Qué es lo que le llevó a cooperar con Eccles en el libro *El yo y su cerebro*?

KP: Conocí a Eccles durante mi estancia en Nueva Zelanda. Allí había una Facultad de Medicina muy buena. Yo recomendaba a mis mejores alumnos que no estudiaran filosofía, sino medicina, para aprovecharse de la buena facultad disponible. Yo enviaba a mis alumnos a la Facultad de Medicina, y ellos hablaron a Eccles de mis teorías. Fui invitado por Eccles a dar una serie de conferencias en su facultad. Eccles me pidió consejos metodológicos, que posteriormente agradeció con generosidad cuando le fue concedido el Premio Nobel de Medicina.

JM: Como usted sabe, *El yo y su cerebro* ha irritado a muchos filósofos y psicólogos materialistas, que le han acusado de propagar ideas espiritualistas de origen religioso. ¿Es usted un hombre religioso? ¿Cree en Dios?

KP: Esa es una pregunta muy delicada. Solo diré lo siguiente. Pienso que la teología es impía, en la medida en que pretende saber algo acerca de Dios. La teología es incompatible con la creencia en Dios. Quien realmente cree en Dios no puede decir nada acerca de él. Si creemos en Dios, no podemos saber nada de él; por ejemplo, no podemos saber que sea omnipotente. Quien cree honradamente en algo así como Dios tiene que reconocer que no sabe nada acerca de él. La teología es la ciencia de Dios y, por tanto, es incompatible con el reconocimiento de que no sabemos nada acerca de Dios.

Política y sociedad

JM: Es fácil encontrar ejemplos de buenas teorías científicas en las ciencias naturales. ¿Hay también ejemplos de buenas teorías científicas en las ciencias sociales?

KP: Podríamos conocer más acerca de la sociedad, sobre todo si los sociólogos fueran más modestos. Por desgracia, muchos no lo son y algunos tratan incluso de obtener una especie de tutoría sobre las ciencias naturales, sobre todo en la llamada sociología de la ciencia. Algunos de estos sociólogos consideran, por ejemplo, que la verdad es lo que piensa la mayoría dentro de un grupo, que no hay una verdad objetiva, sino simplemente opiniones subjetivas. Esto es una teoría estúpida y quienes la mantienen son realmente incapaces de entender nada acerca de la ciencia y, por tanto, de hacer sociología de la ciencia en un sentido serio de la palabra.

JM: En su juventud, usted fue socialista. Luego, concluyó que la libertad es incompatible con la igualdad y más importante que la igualdad. Así abandonó el socialismo y se hizo un demócrata liberal. ¿Es esta una descripción correcta de su postura política?

KP: Yo sigo apreciando los ideales humanitarios del socialismo. El aspecto importante de la igualdad es que todos los seres humanos deben ser iguales ante la ley. Si uno trata de establecer igualdades de otro tipo, como por ejemplo la igualdad de color, ello solo

puede realizarse mediante la violencia. Si se quiere establecer la igualdad de ingresos económicos, ello solo puede conseguirse mediante un gran fortalecimiento del Estado y un gran dominio de los burócratas sobre la vida privada de los ciudadanos. Incluso en un país democrático como Suecia, unos impuestos exagerados han conducido a conceder a los burócratas poderes excesivos, como el de allanar las viviendas de los particulares sin mandamiento judicial alguno, sobre la base de una mera sospecha. Cada aumento de la igualdad se compra al precio de una disminución de la libertad.

La idea de que las condiciones de vida puedan ser iguales para todos es ridícula. Por ejemplo, unas casas necesariamente tendrán mejores vistas que otras. Las condiciones de vista de las viviendas solo pueden igualarse construyendo una pared frente a cada ventana. Si eso no se hace, siempre unos disfrutarán de mejores vistas que otros. Pero no todos aprecian la vista del paisaje por igual. La gente es distinta. Incluso con los mismos ingresos, el uno decide gastárselos en bebidas y fiestas, mientras el otro prefiere comprarse una casa con buena vista.

JM: ¿En qué medida su filosofía política coincide con la de Hayek?

KP: Yo soy menos utopista que Hayek. Hayek admite que su teoría contiene un fuerte elemento utópico. Mi teoría de la sociedad abierta no es utópica. Yo creo que nuestras sociedades avanzadas occidentales son en gran medida abiertas. Aunque ninguna sociedad es totalmente abierta, algunas están bastante cerca de serlo. Poco después del asesinato de Kennedy, en Nueva York se representaba una obra de teatro en la que el entonces presidente Johnson aparecía como el asesino de Kennedy. Es un ejemplo que indica hasta qué punto la sociedad americana es abierta. En mi opinión, a cada libertad ha de corresponderle una responsabilidad y no todo el mundo acepta su responsabilidad; por ejemplo, no se debería utilizar la libertad de expresión para agitar a unos grupos contra otros.

JM: Usted siempre ha negado la posibilidad de predecir el futuro de la evolución social de acuerdo con presuntas leyes necesarias que gobernarían dicha evolución. De hecho, las predicciones sociales que se han hecho no se han cumplido. Es especialmente obvio que las predicciones de los marxistas sobre sus propias sociedades no se han cumplido en absoluto.

KP: En efecto. También mucha gente decía que la guerra atómica era inevitable. Este tipo de predicciones no conducen a ningún sitio.

JM: Usted siempre ha defendido la sociedad abierta y la ingeniería social gradual frente a las revoluciones sociales totalitarias. En el pasado ha sido muy criticado por ello, pero ahora casi todo el mundo le da la razón, incluso en los países llamados socialistas. ¿Cree usted que sus ideas liberales han triunfado?

KP: No, no lo creo. No puedo predecir el futuro y no sé lo que acabará pasando en Rusia. De momento, siguen teniendo el mayor ejército que haya existido en la historia de

la humanidad, mucho mayor que los ejércitos occidentales. Yo no me atrevo a hacer predicciones, pero creo que entre todos debemos seguir tratando de evitar las cosas que a todos nos interesa evitar, como una guerra atómica. Algunas de las cosas que ocurren ahora en la Unión Soviética me parecen correctas, pero no creo haber tenido nada que ver con su realización.

JM: ¿Qué piensa usted de los diez años de gobierno de Margaret Thatcher?

KP: Creo que Margaret Thatcher ha hecho muchas cosas importantes por este país. Hace diez años, todo el mundo hablaba de la enfermedad inglesa. Inglaterra parecía un país enfermo, desanimado, abrumado por todo tipo de problemas económicos y por oleadas continuas de huelgas. Hoy día, a nadie se le ocurre hablar de la enfermedad inglesa. Esto es un hecho objetivo que prácticamente nadie discute. Margaret Thatcher ha curado la enfermedad económico-social de este país, que en un momento dado se llegó a pensar que era incurable. Este reconocimiento no implica, claro está, que yo esté de acuerdo con Margaret Thatcher en todos los puntos.

JM: ¿Considera usted que el mundo de hoy es un sitio mejor para vivir que los periodos anteriores que ha conocido en este siglo, o ha habido épocas mejores antes?

KP: Sí, en conjunto creo que esta es la mejor época, al menos en los países occidentales avanzados. Aunque algunas cosas concretas eran mejores antes, en los periodos anteriores había una situación de pobreza y hambre como la gente ahora no se puede ni imaginar. La gente nunca ha dispuesto de tantas oportunidades de tener éxito y ser feliz como ahora en el mundo occidental. Los graves problemas económicos que yo he conocido en mi juventud ya no existen. Los países occidentales avanzados han solucionado esos problemas, que antes se consideraban insolubles, en un espacio relativamente corto de tiempo.

Thomas Kuhn

El método científico suele pasar por la construcción de modelos matemáticos simplificados de la compleja realidad que tratamos de estudiar, y por el posterior refinamiento de esos modelos, para hacerlos más útiles y precisos. Nadie se cree que la superficie de la Tierra sea una esfera euclídea, ni que la gramática generativa describa la estructura real de los centros lingüísticos del cerebro del hablante. En ambos casos se trata de meras aproximaciones formales, obviamente necesitadas de refinamiento posterior, conforme la investigación empírica lo vaya permitiendo. Los primeros filósofos clásicos de la ciencia (como Carnap, Reichenbach, Popper o Hempel) pretendieron modelar las teorías científicas mediante sistemas formales deductivos y reducir su dinámica a reglas únicas y simples (verificabilidad, refutabilidad, etcétera). Varios historiadores de la ciencia señalaron en los años sesenta que tales modelos eran demasiado simplistas y no daban cuenta de la inmensa complejidad diacrónica de la actividad científica. En definitiva, sus autores no habrían modelado la ciencia real, sino una ciencia ficción mucho más simple, lo cual, por otro lado, no deja de ser habitual en las etapas iniciales de la modelización de cualquier cosa. Sea ello como fuere, y pasado ya el sarampión historicista, no cabe duda de que esa llamada de atención resultó saludable para la filosofía de la ciencia, reorientada a partir de entonces al estudio de las teorías y prácticas efectivas de la ciencia real. Entre esos historiadores-filósofos ninguno alcanzó tanta fama, éxito e influencia como Thomas Kuhn.

Los departamentos científicos de las universidades no exponen las grandes teorías científicas en la forma correosa en que fueron originalmente presentadas por sus creadores o descubridores iniciales, héroes fundacionales como Newton, Maxwell o Darwin, sino de una forma mucho más digerida, coherente y satisfactoria, resultado de su reelaboración y refinamiento por la comunidad científica posterior. Newton expuso su mecánica utilizando los métodos geométricos de Apolonio, hoy en desuso, y preocupado por polémicas teológicas y personales irrelevantes. Lo que hoy se enseña es la forma elegante que alcanzó la mecánica newtoniana tras reformularse en el lenguaje del análisis matemático y pasar por las manos de Laplace, Lagrange y muchos otros. Maxwell expuso su teoría electromagnética en la rara jerga de los cuaterniones y supuso que las ondas electromagnéticas se propagan en el éter. Hoy nadie cree en el éter, pero las ecuaciones de Maxwell, reformuladas en lenguaje matemático más actual, siguen siendo

el centro de la enseñanza del electromagnetismo. Darwin no sabía explicar el origen de la variabilidad biológica ni conocía las leyes de la herencia, pero su idea básica de la evolución por selección natural sigue siendo válida, aunque hoy se expone en combinación con los principios de la genética molecular y de poblaciones, formando así la nueva síntesis de la biología evolutiva.

Thomas Kuhn nació el 18 de julio de 1922 en Cincinnati (Ohio). No estudió historia ni filosofía, sino física, obteniendo su doctorado por la Universidad de Harvard en 1949. Siendo todavía un estudiante de doctorado, tuvo la gran iluminación de su vida a los 25 años, al verse confrontado con los textos de los clásicos. «Mi propia iluminación empezó en 1947, cuando me pidieron que interrumpiera un momento la preparación de mi tesis en física y preparara unas conferencias sobre los orígenes de la mecánica en el siglo XVII». ¹¹² Para entender los antecedentes, se puso a leer a Aristóteles. Lo leía con los ojos de un físico actual, y le parecía que la física aristotélica era una serie de disparates, lo cual no dejaba de sorprenderle. ¡No podía ser! ¿Cómo entender que este gran filósofo, que había dicho cosas muy sensatas sobre otros temas, no dijese más que absurdos y falsedades sobre el movimiento?

Un día memorable (y muy caluroso) de verano, esas perplejidades desaparecieron repentinamente. De inmediato percibí los rudimentos de una manera alternativa de leer los textos. [...] No me convertí en un físico aristotélico, pero aprendí a pensar como si lo fuese. [...] Desde aquel episodio decisivo del verano de 1947, la búsqueda de la mejor manera de leer un texto ha sido central para mi investigación histórica. [...] Mi lectura de Aristóteles parecía revelar una especie de cambio global en la manera como los hombres miraban la naturaleza y le aplicaban el lenguaje.

Ese cambio lo compararía más tarde con el cambio de *Gestalt* en la percepción que experimentamos al observar, por ejemplo, los dibujos de Escher. «Mientras descubría la historia, había descubierto mi primera revolución científica, y mi búsqueda subsiguiente de las mejores maneras de leer ha sido con frecuencia la búsqueda de otros episodios del mismo tipo».

Después de tropezarse con el concepto de “revolución científica” en 1947, se dedicó a acabar su tesis doctoral en física, al tiempo que se interesaba cada vez más por la historia de la ciencia. Pronto renunció a hacer su carrera académica en la física y decidió dedicarse por entero a su historia, tratando de sacar todo el jugo posible de su iluminación de 1947. En Harvard permaneció como asistente de James Conant (presidente de la Universidad), dando cursos de educación general e historia de la ciencia. Como resultado de esos cursos, en 1957 publicó *The Copernican Revolution: Planetary Astronomy in the Development of Western Thought* (La revolución copernicana: la astronomía planetaria en el desarrollo del pensamiento occidental), con prólogo de Conant. Se trata de una descripción clara y competente, dirigida a un público general, del tránsito de la imagen antigua del Universo de las dos esferas, la terrestre y la celeste, a la

nueva astronomía de los siglos XVI y XVII.

Paradigmas

En 1956 Kuhn aceptó un puesto docente en la Universidad de California en Berkeley, donde en 1961 fue nombrado catedrático de historia de la ciencia. Pasó el curso 1958-59 en el Center for Advanced Study in the Behavioral Sciences en Stanford, preparando un libro sobre las revoluciones científicas. Enseguida, y fácilmente, escribió el capítulo sobre el cambio revolucionario; pero le resultó mucho más difícil describir los interludios de ciencia normal, que él trataba de caracterizar mediante el consenso de los científicos. Pronto se dio cuenta de que tal consenso apenas existía, y en cualquier caso no se refería a las definiciones de las nociones empleadas. Sin embargo, los aprendices de científicos eran introducidos en la ciencia mediante ejercicios consistentes en resolver problemas en los que aparecían tales nociones. Estos ejemplos o problemas clásicos desempeñaban el mismo papel que los ejemplos de conjugaciones (*amo, amas, amare...*) y declinaciones en el aprendizaje de las lenguas, a los que a veces se llama paradigmas. Por eso, Kuhn eligió hablar de “paradigmas” en vez de consensos, refiriéndose a esos problemas o aplicaciones ejemplares, en cuya repetida resolución se entrenaban los futuros científicos, adquiriendo así un lenguaje y unos estándares comunes de enfoque y solución de problemas, que luego aplicarían por su cuenta a otros casos.

Kuhn utilizó la palabra “paradigma” por primera vez en 1959 en una conferencia sobre «la tensión esencial», que luego daría título a su libro de 1977. Se refería a la tensión entre los aspectos convergentes y divergentes de la empresa científica, que garantizan, respectivamente, la coherencia de lo que luego llamaría sus periodos de ciencia normal y los cambios conceptuales radicales que más tarde caracterizaría como “revoluciones científicas”.

En 1962 publicó *The Structure of Scientific Revolutions* (*La estructura de las revoluciones científicas*; abreviadamente, *SSR*) como un volumen del gran proyecto neopositivista de la *Enciclopedia de la Ciencia Unificada* (de Chicago University Press). De este libro se han vendido más de un millón de copias, lo que lo convierte en el *best-seller* absoluto entre los libros de filosofía o historia de la ciencia del siglo XX (y quizá de todos los siglos). *SSR*, que se lee como una novela, tiene aspectos históricos y sociológicos, e introduce varias nociones destinadas a meter mucho ruido en la filosofía de la ciencia posterior, sobre todo las de paradigma y revolución científica. Al escribir el libro *SSR*, y según él mismo narra,

Desgraciadamente los paradigmas desarrollaron una vida propia. [...] Habiendo empezado simplemente como soluciones a problemas ejemplares, extendieron su imperio hasta abarcar, primero, a los libros clásicos de los que se habían sacado los ejemplos y, finalmente, el conjunto global de los compromisos compartidos por los miembros de una comunidad científica determinada. Este sentido más global del término es el único que la

mayoría de los lectores del libro han captado, y el resultado inevitable ha sido la confusión, pues muchas de las cosas que allí se dicen sobre los paradigmas solo se aplican al sentido original del término. [...] Está claro que he causado dificultades innecesarias a los lectores.

Kuhn hizo varios intentos para recuperar el sentido original de “paradigma”. En 1974 escribió *Second Thoughts on Paradigms* (Repensando los paradigmas), donde se lamenta de la confusión creada por *SSR*:

Lamento tener que concluir que una parte del éxito del libro consiste en que puede significar todo tipo de cosas para todo tipo de gente. Ningún aspecto del libro es tan responsable de esa excesiva plasticidad como la introducción del término “paradigma”, la palabra que con más frecuencia aparece en sus páginas (aparte de las partículas gramaticales).

El primer crítico del uso de “paradigma” en Kuhn fue su mentor, James Conant. Tras leer *SSR*, Conant se quejó de que Kuhn parecía haberse enamorado del término “paradigma”, al que usaba «como una palabra mágica para explicar cualquier cosa». En 1970 Margaret Masterman describía al menos 22 significados distintos de la palabra “paradigma” en *SSR*, abarcando desde algo tan simple como «un descubrimiento científico concreto» hasta algo tan complejo como todo «un conjunto característico de creencias y preconcepciones», que incluye aspectos instrumentales, teóricos y metafísicos. Kuhn admitió que el análisis de Masterman era correcto. En definitiva, Kuhn quería subrayar que los científicos de una comunidad comparten más que un mero esquema formal (y en eso tenía razón), pero desde su temprana época de Stanford hasta su muerte, y a pesar de que lo intentó repetidamente, fue incapaz de articular de un modo preciso sus ideas al respecto.

Revoluciones científicas

Kuhn nos ha abierto los ojos al aspecto dinámico de la ciencia y nos ha legado una visión dramática de su desarrollo. La empresa científica se articula en torno a comunidades de especialistas que comparten un mismo paradigma (en el sentido más vago y general de la palabra, que abarca presupuestos, conceptos y métodos comunes). Los problemas (o rompecabezas) que van surgiendo se van resolviendo desde los supuestos del paradigma compartido, contribuyendo así al progreso de la ciencia normal. Cuando los problemas sin solución posible (las anomalías) se acumulan, el paradigma entra en crisis y el desasosiego invade a la comunidad. Lo que se requiere y se produce es un cambio de paradigma, un cambio radical de estilos, conceptos y supuestos, una revolución científica. Los revolucionarios verán el mundo de un modo inédito e incomparable con el antiguo, y formarán una comunidad nueva, que sustituirá a la antigua conforme se vayan muriendo los componentes de esta última, incapaces de convertirse o adaptarse al cambio de paradigma. En estos procesos de ciencia revolucionaria, de cambio conceptual radical,

no se puede hablar de progreso, pues ambos paradigmas representan esquemas y lenguajes intraducibles e inconmensurables.

La consolidación inicial de diversas ciencias ha pasado por cambios como los descritos por Kuhn: el paso de la astronomía geocéntrica al sistema copernicano, el paso de la física cualitativa y verbal de Aristóteles a la física matemática y experimental de Galileo, el paso de la química del flogisto de Stahl a la química del oxígeno de Lavoisier. Estos episodios heroicos de cambio de paradigmas inconmensurables fueron acompañados de convulsiones sociales y escenas patéticas, como la quema pública de Bruno o la abjuración y cárcel de Galileo.

Lo que no está tan claro es que el modelo kuhniano de las revoluciones científicas sea aplicable a la ciencia actual. Sin duda, tanto la relatividad especial como la general, por ejemplo, han introducido cambios revolucionarios en la física e incluso en nuestra concepción del mundo. Sin embargo, esos cambios son perfectamente conmensurables y constituyen casos claros de progreso científico. Cuando la velocidad es pequeña en comparación con la de la luz, las transformaciones de Lorentz tienden a las de Galileo, y la teoría de la relatividad especial coincide asintóticamente con la newtoniana. A su vez, cuando las densidades son normales, la relatividad general predice lo mismo que la especial y (con velocidades moderadas) lo mismo que la newtoniana. Por tanto, la relatividad general explica y predice todo lo que explica y predice la especial, y además más cosas (como las lentes gravitacionales), y la relatividad especial explica y predice los efectos newtonianos y además otros (como el aumento de masa de las partículas en los aceleradores). Las tres teorías son conmensurables entre sí, y hay progreso evidente entre ellas. Además, multitud de físicos entienden las tres y trabajan en todas ellas.

En nuestro tiempo se han multiplicado las revoluciones científicas, pero ya no tienen el carácter estridente y dramático de las renacentistas. Así, es frecuente que el mismo científico trabaje al mismo tiempo en diversas teorías alternativas, sin casarse definitivamente con ninguna. Por eso no es cierto, como pretendía Kuhn, que los cambios de *Gestalt* entre paradigmas (llamando tales a la mecánica newtoniana y a la especial relativista o a la cuántica) sean irreversibles. De hecho, todos los estudiantes de física aprenden a revertirlos, cambiando de enfoque cada vez que el problema entre manos lo requiere. El físico Steven Weinberg, en su artículo «The revolution that didn't happen» (*The New York Review of Books*, 8 de octubre de 1998), declaró a este respecto lo siguiente:

En los últimos cuarenta años he participado en cambios revolucionarios en el modo como los físicos entienden las partículas elementales. [...] Nunca he visto signo alguno de la inconmensurabilidad de Kuhn entre distintos paradigmas. [...] Sospecho que, debido a la importancia que tuvo para Kuhn el momento de su vida en que primero leyó a Aristóteles, tomó su idea de cambio de paradigma del cambio de la física aristotélica a la newtoniana. [...] Para Kuhn este parece haber sido el paradigma de todos los cambios de paradigma, la horma a la que trató de ajustar todas las otras revoluciones científicas. El surgimiento de la física newtoniana fue un

mega-cambio de paradigma, pero desde entonces no ha ocurrido nada en nuestra comprensión del movimiento que se corresponda a la descripción que da Kuhn de un cambio de paradigma.

Aunque todos los lectores gozaron leyendo *SSR*, los científicos lamentaron que en las impresionantes descripciones de las revoluciones científicas del pasado, con sus completos cambios en la visión del mundo mediante saltos de *Gestalt*, que se parecían más a las conversiones religiosas que a la práctica científica actual, se perdía de vista el carácter objetivo de los resultados de la mayor parte de la investigación científica. Como ha señalado Weinberg, «son precisamente esas conclusiones las que convirtieron a Kuhn en un héroe de los críticos culturales que cuestionan el carácter objetivo del conocimiento científico, y que prefieren describir las teorías científicas como construcciones sociales, como la democracia o el béisbol».

Kuhn mismo lamentó la utilización irracionalista y constructivista social de su libro, cuya confusión conceptual se prestaba, sin embargo, a ello. Ya en 1965 se quejaba amargamente de que Paul Feyerabend describiese su posición (la de Kuhn) como una defensa de la irracionalidad en la ciencia, lo que le parecía «no solo absurdo, sino obsceno». Acerca del llamado «programa fuerte» del sociologismo de la escuela de Edinburgh, Kuhn señaló en 1991 que «yo me cuento entre los que encuentran absurdas las pretensiones del programa fuerte, un ejemplo de deconstrucción rayano en la locura».

Última etapa

En 1964, Kuhn fue nombrado profesor M. Taylor Pyne (una de esas cátedras bien dotadas por quien les da nombre) de Filosofía e Historia de la Ciencia en la Universidad de Princeton. En 1969 escribió el «Postscript» a *The Structure of Scientific Revolutions*, que apareció en la segunda edición del libro (1970), y en él ya introduce sus primeras correcciones y reservas, amplificadas luego en otros escritos, como el artículo «Second Thoughts on Paradigms» (1974) y el prefacio a *The Essential Tension* (1977), que reúne gran parte de sus artículos anteriores. En 1978, publicó el libro *Black-Body Theory and the Quantum Discontinuity, 1894-1912* (La teoría del cuerpo negro y la discontinuidad cuántica, 1894-1912), en el que introduce una nueva versión de cómo Max Planck llegó a la cuantización de los niveles de energía, tratando de recuperar los pensamientos originales de Planck por debajo de las interpretaciones posteriores. Esta obra, la más técnica de las suyas, tuvo escasa repercusión popular y una acogida más bien fría de la crítica. En ella, las palabras “paradigma” o “revolución científica” no aparecen ni una sola vez. A su reimpresión de 1987 añadió un epílogo, en el que lamenta la relativamente mala recepción que había tenido este libro, «al que considero la mejor y la más representativa de mis obras históricas».

En 1979, Kuhn volvió al área de Boston y se incorporó al MIT, del que fue nombrado profesor Lawrence Rockefeller de Filosofía en 1983. En 1991 se retiró voluntariamente

como profesor emérito. Llevaba años tratando de reorganizar sus propias ideas sobre el desarrollo de la ciencia, y no quería que nada lo distrajera de la tarea que lo obsesionaba. Por eso rechazaba las invitaciones e incluso los nombramientos de Doctor *honoris causa*, como el que le ofrecieron varias universidades españolas en 1992. Yo estaba en el MIT ese año y mi despacho era contiguo al suyo, aunque ya apenas solía ir, encerrado en su casa como estaba. «Ya no me queda tanto tiempo», me decía Kuhn con su hermosa voz grave de senador romano. «Por eso me he castigado a no salir de casa hasta que acabe el libro donde expongo lo que ahora pienso». Murió sin haberlo acabado el 17 de junio de 1996, a los 73 años de edad (le faltaba un mes para cumplir 74) en su casa de Cambridge (Massachusetts), vencido por un cáncer de bronquios y garganta.

Ya antes de morir, Kuhn se había convertido en una leyenda viviente. No es de extrañar que se le hayan dedicado diversos libros colectivos de ensayos, desde *World Changes: Thomas Kuhn and the Nature of Science*, editado por Paul Horwich en 1993, hasta el libro *Alta tensión*, publicado en 1998 y compilado por Carlos Solís.

Aunque las nociones básicas introducidas por Kuhn han resultado ser confusas e insatisfactorias (incluso para su propio autor) y sus tesis principales han resultado ser falsas (al menos en la generalidad por él pretendida), sin embargo la brillantez, la audacia y la riqueza de incitaciones de su obra han sido el punto de partida de innumerables polémicas y desarrollos. Su influencia sobre la filosofía de la ciencia, a la que despertó de su sueño dogmático, ha sido profunda y saludable. Hay un antes y un después de Kuhn, aunque el después más valioso no sea precisamente el de los constructivistas sociales posmodernos puestos en ridículo por Alan Sokal.

Notas:

[112](#). Esta cita y las siguientes proceden del prefacio a Thomas Kuhn, *The Essential Tension*, The University of Chicago Press, 1977. Hay traducción en español: *La tensión esencial*, Fondo de Cultura Económica, 1983.

La epistemología evolutiva de Rescher

Podemos aplicar la filosofía de la ciencia al análisis de la teoría de la evolución, pero también podemos aplicar la teoría de la evolución al análisis de la filosofía de la ciencia. Esta segunda tarea (la aplicación de la teoría de la evolución a la filosofía de la ciencia) puede ser entendida y llevada a cabo de dos maneras diferentes: 1) haciendo uso de la teoría de la evolución para dar cuenta de la estructura y función de nuestro aparato cognitivo; y 2) haciendo uso de la teoría de la evolución para dar cuenta de la evolución de las teorías y los métodos científicos y de la ciencia misma.

Konrad Lorenz ofreció una explicación de nuestras capacidades cognitivas basada en la teoría darwinista de la evolución, en el curso de la cual recuperó tesis kantianas bien conocidas, aunque dándoles la vuelta y transformando el a priori individual kantiano en el a posteriori biológico de la especie. Rupert Riedl, Gerhard Vollmer y otros han seguido en esta senda. Karl Popper desarrolló una concepción evolucionista de nuestro aparato cognitivo, identificó el conocimiento con la expectativa y la adaptación, y mantuvo que el conocimiento es congénito. [113](#)

Donald Campbell, Popper, David Hull y otros usaron la teoría de la evolución para explicar el desarrollo de las teorías científicas. Estos autores han recalcado la notable analogía estructural entre la evolución biológica y la evolución del conocimiento científico. Popper subrayó el método del ensayo y error, así como de la subsiguiente eliminación del error, como el camino para aplicar los principios de la evolución darwinista a la evolución de la ciencia. Campbell enfatizó la variación ciega y la retención selectiva. Popper desarrolló en este contexto su teoría del mundo 3, dedicada a los contenidos objetivos de los procesos de pensamiento, una teoría aquejada por la tensión no resuelta entre darwinismo y platonismo.

Filosofía sistemática

El progreso de la ciencia moderna requiere una especialización cada vez mayor de sus investigadores. Se supone que la ciencia ofrece algún tipo de espejo de la realidad, pero, como consecuencia de esta extremada especialización, el espejo está roto en mil añicos heteróclitos. Una tarea importante de los filósofos y científicos consiste en tratar de reconstruir el espejo entero a partir de sus fragmentos y en ofrecer una visión del mundo

unitaria, global y coherente. No en vano Platón caracterizaba al filósofo como «el que tiene la visión de conjunto» (*synoptikós*).¹¹⁴

Los filósofos clásicos, tales como Platón, Aristóteles o Descartes, trataron de articular una visión global del mundo en la forma de un sistema filosófico. Se suponía que un tal sistema sería de alcance enciclopédico, internamente coherente y externamente compatible con los resultados de la ciencia de su tiempo, además de satisfacer los criterios metodológicos del pensador correspondiente. La mayoría de los pensadores contemporáneos han abdicado de la ambición de construir un tal sistema. Solo unos pocos, como Bertrand Russell, Mario Bunge y Nicholas Rescher, han tratado de los diversos campos de dentro de la filosofía y de fuera de ella y han mantenido encendida la antorcha de la curiosidad universal y de la filosofía sistemática clásica. Bunge siempre ha sentido especial estima por Rescher como filósofo. En una reunión del Institut International de Philosophie celebrada en Moscú en 1993, retado a citar un filósofo mejor que Hintikka y otros candidatos presentes, Bunge mencionó a Rescher.

En el Congreso Mundial de Filosofía celebrado en Boston en 1998, el filósofo finlandés Georg Von Wright, uno de los patriarcas de la filosofía analítica, declaró que ya habíamos exprimido suficiente jugo del análisis del lenguaje y que en el futuro los nuevos retos filosóficos procederían de la ciencia. Pocas ideas han ilustrado, fecundado e incendiado la escena filosófica actual tanto como la teoría darwinista de la evolución. Basta con tomar nota del éxito intelectual y comercial de los autores en la frontera entre la biología evolutiva y la filosofía, como Richard Dawkins o Daniel Dennett, y de las discusiones acaloradas en la prensa e incluso en la política sobre estas cuestiones. En particular, nuevas direcciones de pensamiento se han desarrollado bajo los nombres de epistemología evolutiva o de psicología evolutiva.

La filosofía analítica en sentido amplio implica poco más que un esfuerzo por la claridad y precisión del lenguaje y por la corrección lógica de la argumentación. Desde luego, Rescher puede ser considerado un filósofo analítico en este sentido amplio, pero no es un mero filósofo analítico. También es un filósofo clásico sistemático, interesado por los nuevos desarrollos de la ciencia y consciente del papel crucial que la evolución puede desempeñar en la epistemología.

Epistemología evolutiva

Rescher publicó *Methodological Pragmatism: A Systems-Theoretic Approach to the Theory of Knowledge* (Pragmatismo evolutivo: un enfoque de la teoría del conocimiento desde la teoría de sistemas) en 1977. En especial, los capítulos 8 («Epistemología evolutiva») y 9 («Una crítica del darwinismo de las tesis») estaban dedicados al análisis y la crítica parcial de las explicaciones evolutivas en epistemología. En 1989 publicó *A*

Useful Inheritance: Evolutionary Epistemology in Philosophical Perspective (Una herencia útil: aspectos evolutivos de la teoría del conocimiento), cuyo capítulo 2 recoge los argumentos del capítulo 8 de la obra previa. Como Rescher mismo ha escrito, «una de las inevitables servidumbres de producir una obra sistemática de filosofía [...] es que uno no puede evitar que cada uno de sus libros se solape hasta cierto punto con otros». ¹¹⁵ Tomadas conjuntamente, estas obras ofrecen una importante contribución a la epistemología evolutiva.

Aunque Rescher se involucró seriamente en el desarrollo de la epistemología evolutiva, no se interesó por la aplicación de la teoría darwinista a la evolución de la cultura en general, un tema extensamente tratado por Richard Dawkins, Dan Sperber, Luca Cavalli-Sforza, Marc Feldman, Robert Boyd, Peter Richerson y otros. El primero de los autores citados acuñó el término “memes” (que recuerda a “genes”) para las unidades o trozos elementales de información cultural. El término no aparece en las obras de Rescher que he leído, aunque, desde luego, no las he leído todas; quizá nadie las haya leído todas, dado el carácter tan prolífico del autor. En cualquier caso, la ciencia es parte de la cultura y una epistemología evolutiva no puede quedar al margen de una teoría evolutiva de la cultura.

Rescher distingue repetidamente entre la explicación evolutiva de la estructura y función de nuestro aparato cognitivo (lo que llama «darwinismo cognitivo») y la explicación evolutiva diferente del desarrollo en el tiempo de nuestros contenidos cognitivos (nociones, tesis, teorías, métodos y procedimientos). Lo que dice sobre lo primero («el conocimiento como una herramienta para la supervivencia») es bastante estándar y directo. Lo que escribe sobre lo segundo es más discutible, como a continuación veremos.

Fuerzas como factores explicativos

En la mecánica se distingue claramente entre la cinemática (la descripción del movimiento de los cuerpos) y la dinámica (la explicación de esos movimientos). Para explicar el movimiento hemos de introducir fuerzas, concebidas como factores explicativos, y ofrecer teorías de esas fuerzas. Una fuerza importante es la gravitación, otra es el electromagnetismo, otra lo es la interacción nuclear fuerte. La relatividad general es la teoría de la gravitación; la electrodinámica cuántica es la teoría del electromagnetismo; y la cromodinámica cuántica es la teoría de la interacción nuclear fuerte.

Saltando ahora de la física a la biología, el análogo de la cinemática es la paleontología, que es una empresa descriptiva carente de funciones explicativas. La paleontología describe las formas de vida que existían en diferentes momentos del pasado, tal y como

las revelan los fósiles excavados en los diversos estratos; en consecuencia, describe cómo las formas de vida cambian con el tiempo, es decir, cómo evolucionan. La evolución en este sentido es un hecho indiscutible que no involucra explicación ni teoría alguna. Si queremos dar explicaciones de los cambios evolutivos, tenemos que introducir fuerzas (factores explicativos), como la selección natural o la deriva genética. La teoría darwinista de la evolución es básicamente la teoría de la selección natural. La teoría neutralista de Kimura es la teoría de la deriva genética; afirma que la mayoría de los cambios evolutivos a nivel celular no se deben a la selección natural darwinista, sino a la deriva genética de mutaciones selectivamente aleatorias¹¹⁶. Aunque inicialmente controvertida, la teoría neutralista ha ganado amplia aceptación en la genética y los estudios sobre la evolución, conforme hemos ido adquiriendo un conocimiento molecular más detallado de los genomas de diversas especies. No hay contradicción, sino complementariedad, entre la teoría darwinista que explica la adaptación evolutiva y la teoría neutralista que explica la evolución molecular no adaptativa.

Evolución cultural

También en el caso de la cultura se puede distinguir entre la historia descriptiva de la cultura, que es el análogo de la cinemática y la paleontología, y los intentos de explicación teórica, es decir, los intentos de construir una dinámica cultural. Si queremos dar explicaciones en este campo, habrá que introducir fuerzas de la evolución cultural, fuerzas como la deriva aleatoria en la transmisión, la selección racional y la coerción, entre otras.

Rescher sostiene que, mientras que la variación biológica o genética es producida por las fuerzas del azar, la variación cultural resulta de la actividad teleológica, dirigida a un objetivo. También mantiene que la selección natural es ciega, mientras que la selección cultural es racional. «La variación biológica es indudablemente darwiniana, con una selección natural teleológicamente ciega operando sobre mutaciones aleatorias también ciegas teleológicamente. Por otro lado, la evolución cultural es generalmente teilhardiana, gobernada por una selección racionalmente guiada entre variaciones mutacionales diseñadas intencionalmente».¹¹⁷ Esto es dudoso. Basta con pensar en la evolución lingüística; no en la evolución biológica de la capacidad lingüística, sino en la evolución cultural de las lenguas particulares, como el proceso que lentamente transformó el indoeuropeo en el latín y el latín en el francés o el español, y que continúa cambiando todas las lenguas lentamente. La pronunciación de las palabras se transmite por imitación y aprendizaje con errores frecuentes en la transmisión. Estos errores son inconscientes y no intencionales. Sin embargo, con el paso del tiempo se acumulan y transforman las lenguas. Lo mismo puede decirse de la gramática y el léxico.

Para tomar un caso muy distinto, pensemos en la historia cultural de la distribución de las religiones. Los cambios drásticos en la adopción de religiones suelen ser la consecuencia de guerras de conquista, en que el ejército victorioso impone su propia religión por la fuerza de las armas. El norte de África era cristiano hasta que los árabes lo conquistaron; ahora es musulmán. El catolicismo llegó a México con los conquistadores españoles. La línea que separa a católicos y ortodoxos (o a musulmanes) en la antigua Yugoslavia es el resultado de las batallas entre las tropas austríacas y las rusas (o turcas). Cuando la gente ha cambiado de religión en el pasado, ello rara vez se ha debido a la decisión libre o racional; mucho más frecuentemente se ha tratado del sometimiento a un ejército invasor. Desde luego, algunos individuos se convierten a veces voluntariamente a una nueva religión (como Richard Gere al budismo), pero eso es la excepción más que la regla. En resumen, varias fuerzas impulsan la evolución cultural; y la selección racional es una más, entre otras.

Evolución de la ciencia

Rescher podría reconocer el papel de las fuerzas no racionales en la cultura en general, pero seguir insistiendo todavía en la prevalencia de la racionalidad en esa particular parcela de la cultura que es la ciencia. En efecto, la selección racional es más importante en la ciencia que, por ejemplo, en la moda. Pero, incluso enfocando nuestra atención en la ciencia, es dudoso que tenga lugar una evolución teilhardiana, «gobernada por una selección racionalmente guiada entre variaciones mutacionales diseñadas intencionalmente». En su crítica de la teoría evolutiva de Popper, Rescher ataca repetidamente la tesis popperiana de que las hipótesis son de alguna manera aleatorias y su insistencia en la eliminación de hipótesis como única explicación del progreso de la ciencia. He discutido este asunto con Popper y él nunca ha puesto énfasis en la aleatoriedad. Popper simplemente pensaba que el carácter aleatorio o intencional de una hipótesis es irrelevante. Una hipótesis aleatoria podría resultar verdadera y otra intencional podría ser falsa. Por tanto, lo mejor que podemos hacer es concentrar nuestros esfuerzos en la puesta a prueba. En la jerga de los contextos de descubrimiento y de justificación, Popper quería regular la justificación provisional, pero dejar libre y abierto el contexto de descubrimiento.

August Kekulé contaba que hizo su famoso descubrimiento de la forma de anillo de la molécula de benceno inspirado por la ensoñación de una culebra que se mordía su propia cola. A Popper no le preocupaba el sueño de Kekulé, mientras su hipótesis resistiera los severos y repetidos test a los que fue sometida. Estoy de acuerdo con Rescher en que tenemos una capacidad heurística congénita para la inducción, lo cual constituye un correctivo adecuado de la excesiva polémica popperiana contra la inducción. Mientras Rescher señala correctamente el valor heurístico de la inducción, Popper tiene razón en

negarle valor alguno en el proceso de validación de hipótesis. La relativa y provisional justificación de las hipótesis procede siempre de los repetidos test, experimentos y observaciones a que son sometidas.

A diferencia de la matemática pura, la ciencia (empírica) no es una empresa basada en la mera razón, como se habían imaginado los racionalistas del siglo XVII. La ciencia más bien se basa en la desconfianza de la razón y la confianza en la experiencia. Desde luego, toda la ciencia es una actividad racional que hace frecuente uso de la razón. A pesar de ello, la mera plausibilidad, claridad o evidencia intuitiva no basta para aceptar una idea en el modelo estándar de la ciencia, mientras esta idea no haya sido contrastada empíricamente.

Consideremos el desarrollo de la cosmología. Cada filósofo, físico y astrónomo pensaba que el Universo era algo estático y repetitivo como un reloj. Sin embargo, en 1929, el astrónomo observacional Edwin Hubble descubrió que el Universo es una explosión. A él mismo no le gustaba su descubrimiento y siguió buscando explicaciones alternativas de los datos, pero no las encontró. A mucha gente le disgustaba el modelo del Big Bang y saludó con alivio el incipiente modelo del Universo estacionario en los tempranos años cincuenta. De nuevo, el descubrimiento inesperado y casual de la radiación cósmica de fondo por Arno Penzias y Robert Wilson en 1964 causó la ruina del popular modelo del estado estacionario, para consternación de mucha gente, incluidos Penzias y Wilson mismos. A finales del siglo XX había un consenso completo en la comunidad científica acerca de que la expansión del Universo se estaba frenando, debido a la atracción gravitatoria. En 1998, Saul Perlmutter y Brian Schmidt publicaron los resultados de la medición precisa de la distancia a ciertas supernovas de tipo I_a. Sorprendentemente, esta medida implicaba que la expansión cósmica no se estaba frenando, como había pretendido el consenso de los astrónomos, sino que, al contrario, se estaba acelerando. Algunas veces los cosmólogos han diseñado a propósito hipótesis que han resultado ser ciertas, pero otras muchas veces nuevas observaciones los han forzado a adoptar tesis que nadie había propuesto intencionalmente y que a nadie gustaban. Solo la realidad nos informa acerca de sí misma. Cuando no pueden preguntar directamente a la naturaleza, los científicos andan perdidos. La teoría de supercuerdas — notoriamente desconectada de cualquier contrastación empírica— permite 10^{500} soluciones diferentes de sus ecuaciones, lo cual es un número fantástico, en especial para una teoría que buscaba una solución única.

En el curso de su crítica a Popper por su incapacidad para dar cuenta del progreso científico, Rescher repite que hay muchas más hipótesis científicas que formas (o mutaciones) biológicas: «Pero las mutaciones biológicas son de variedad limitada, a diferencia de las posibilidades de la formación de hipótesis».¹¹⁸ Esto es dudoso. Todas las hipótesis posibles son expresadas en algún lenguaje, por ejemplo, en español. El

conjunto de todas las posibles hipótesis expresadas en español está incluido en el conjunto de todas las posibles combinaciones de letras y otros signos tipográficos del alfabeto latino convenientemente ampliado. Ello implica que la cardinalidad del conjunto de todas las hipótesis es, a lo sumo, denumerable. Como mucho, hay tantas hipótesis como números naturales. Pero el conjunto de todas las mutaciones y de todas las formas genéticas también está incluido en el conjunto de todas las combinaciones posibles sobre el alfabeto de cuatro letras (A, T, C, G) del DNA; consiguientemente, hay a lo sumo tantas mutaciones diferentes como números naturales. El hecho de contar con 4 letras o con 26 o con 80 es irrelevante, mientras el número sea finito. Todos los lenguajes basados en un alfabeto finito pueden reformularse equivalentemente en un lenguaje binario, basado en solo dos letras (por ejemplo, 0 y 1). Desde luego, las expresiones lingüísticas pueden ser extraordinariamente complejas y largas, pero también lo pueden ser los genomas. No hay razón alguna a priori para pensar que el número de posibles hipótesis es mayor que el número de posibles formas genéticas.

Vida e inteligencia extraterrestres

Uno de los aspectos más atractivos del pensamiento de Rescher es su profundo interés —que comparto— por la fascinante posibilidad de que criaturas alienígenas en planetas lejanos hayan desarrollado un tipo de ciencia muy diferente del nuestro. Durante varios periodos he pagado una cuota anual a la Planetary Society y he visitado varios lugares desde los que se practica la búsqueda de la inteligencia extraterrestre (SETI), como el radiotelescopio de Arecibo (Puerto Rico), que lleva a cabo este tipo de investigaciones en el trasfondo de (y simultáneamente con) sus otras tareas. En 1984, Rescher publicó *The Limits of Science* (Los límites de la ciencia), cuyo capítulo 11 está dedicado a la «ciencia extraterrestre». Similares preocupaciones, temas y argumentos aparecen de nuevo en el capítulo 5 de *A Useful Inheritance* (1989). Estoy de acuerdo con Rescher en que una forma extraterrestre de ciencia, si existe, seguramente será muy diferente de la nuestra y quizá incluso incomparable con ella.

La existencia de vida en algún otro lugar del Universo es una condición necesaria para que exista inteligencia extraterrestre. Pero la noción de vida en general es muy poco clara, y seguirá siéndolo mientras no detectemos y tengamos experiencia de formas de vida alienígena. Toda la vida en la Tierra es muy similar. (Sí, las medusas y los humanos somos muy parecidos en aspectos esenciales; de hecho, descendemos de ellas y aún portamos en nuestro genoma algunos de sus genes.) Esta similaridad se basa en la descendencia de un ancestro común, algo que no compartiríamos con formas de vida alienígenas surgidas en otros sistemas planetarios y que, por tanto, podrían ser completamente diferentes.

Aunque las leyes de la física y la química son universales y obedecidas en todas partes,

sin embargo son compatibles con una infinidad de cursos alternativos de eventos. Muchos rasgos intrincados compartidos por todos los organismos vivos de la Tierra no resultan de las leyes de la física ni de otros constreñimientos químicos o estructurales. La única explicación de su presencia ubicua en los organismos terrestres es que esos rasgos han sido heredados de un ancestro común. Todas las criaturas vivas de nuestro planeta comparten multitud de características, desde la química básica de moléculas orgánicas (de carbono) disueltas en agua líquida hasta el código para traducir la información incluida en la secuencia de los nucleótidos del DNA en la estructura de las proteínas. No sabemos cuáles de esas características resultan de regularidades universales y cuáles otras son simples accidentes congelados, surgidos aleatoriamente y luego heredados. ¿Es la vida un chiste cósmico o un imperativo cósmico? ¿Es la vida una excepción extremadamente rara en un Universo abiótico, o es una ocurrencia probabilísima en un Universo rebosante de vida? No lo sabemos. Para averiguarlo necesitaremos algo más que pensar en el sillón.

La vida en la Tierra es una forma química de vida y, como la química se basa en las interacciones electromagnéticas entre los átomos, la vida terrestre se basa en la fuerza electromagnética. Formas de vida extraterrestre podrían basarse en otras fuerzas, como la gravitación o en la interacción nuclear fuerte. Más del 95 % (en peso) de la materia viva de la Tierra se compone de cuatro elementos: hidrógeno, oxígeno, carbono y nitrógeno. Ello podría haber sido de otra manera. La vida que conocemos en la Tierra se basa en los compuestos de carbono. Algunos piensan que cualquier forma de vida usará el carbono como elemento estructural, pero el elemento silicio ha sido sugerido como una alternativa, ya que también se combina con cuatro átomos de hidrógeno, como el carbono. La vida que conocemos se basa en el agua como solvente. El agua líquida proporciona un medio estable en el que las moléculas orgánicas pueden disolverse e interactuar. Las reacciones de la vida tienen lugar en el agua, sus productos y residuos son transportados por el agua y los seres vivos (bacterias o humanos) somos agua en dos tercios de nuestro peso. Solventes distintos del agua son concebibles en procesos vitales extraterrestres. Desde luego, un solvente tiene que ser capaz de disolver otros compuestos químicos. Como candidatos alternativos plausibles se han sugerido el amoníaco líquido (NH_3), el alcohol metílico o metanol (CH_4O) y el fluoruro de hidrógeno líquido (HF). Para ser útil como solvente en otros planetas, es necesario permanecer líquido en un amplio abanico de temperaturas típicas de las superficies planetarias, de tal modo que el solvente no se congele ni entre en ebullición a esas temperaturas.

Durante mi estancia en el Center for Philosophy of Science de la Universidad de Pittsburgh durante 1996 y 1997 tuve abundante y agradable oportunidad de charlar con Nick Rescher. Los últimos párrafos podrían haber iniciado alguna de nuestras conversaciones acerca de si hay vida extraterrestre, si hay inteligencia fuera de nuestro

planeta y hasta qué punto la ciencia de los presuntos alienígenas sería parecida o al menos comparable con la nuestra. Rescher es uno de los pocos filósofos con los que uno aún puede mantener este tipo de conversaciones, en las que mezcla la erudición, la amabilidad y la apertura a la realidad típica de un filósofo clásico.

Notas:

- [113.](#) Popper, K., «Towards an Evolutionary Theory of Knowledge», en *A World of Propensities*, 1990.
- [114.](#) Platón, *Politeia*, VII, 537. Hay varias traducciones en español, como *República*, Gredos, 1986.
- [115.](#) Rescher, N., *Methodological Pragmatism: A Systems-Theoretic Approach to the Theory of Knowledge*, pág. XIV, 1977.
- [116.](#) Kimura, M., *The Neutral Theory of Molecular Evolution*, Cambridge University Press, 1983.
- [117.](#) Rescher, N., *A Useful Inheritance*, Rowman and Littlefield Publ., pág. 8, 1990.
- [118.](#) Rescher, N., *A Useful Inheritance*, Rowman and Littlefield Publ., pág. 21, 1990.

Apéndice: cuatro entrevistas al autor

En este apéndice se reproducen cuatro entrevistas con el autor sobre temas en general relacionados con el contenido del libro. Las cuatro entrevistas fueron realizadas por el mismo periodista, Patricio Tapia, y publicadas en el mismo diario, *El Mercurio* de Santiago de Chile, siempre en su edición dominical. La primera es de 2004, las otras se efectuaron en los tres últimos años; la fecha exacta se indica al principio de cada una. Las preguntas de Tapia van precedidas de «PT:»; las respuestas del autor, de «JM:».

1. Paradigmas en Chile

[Entrevista de Patricio Tapia al autor, publicada en el diario *El Mercurio* de Santiago de Chile, el domingo 22 de agosto de 2004, en el suplemento «Letras y Artes».]

PT: Mosterín está por tercera vez en Chile. La primera fue en 1999 promocionando su libro *¡Vivan los animales!* La segunda fue el año 2001 para intervenir en el programa —organizado por el Instituto de Ingenieros de Chile— «Nuevos paradigmas a comienzos del tercer milenio», al que fueron invitados destacados filósofos y científicos tanto extranjeros como nacionales. Esta tercera vez será para participar en el seminario titulado «Impacto de los nuevos paradigmas científicos en el mundo actual». Es cierto que desde Kuhn la noción de “paradigma” ha tenido tan buena fortuna que aparece cada vez que de ciencia o de comunidades científicas (o que pretenden serlo) se habla. En la introducción del libro *Nuevos paradigmas a comienzos del tercer milenio*, su editor se aventura a afirmar que «los nuevos paradigmas se pueden agrupar en torno a dos conceptos fundamentales para organizar el conocimiento científico contemporáneo: las ideas de evolución y de complejidad». Ambas están entre las posibles definiciones de vida que desecha Mosterín en su contribución al libro, el texto de su conferencia «¿Qué es la vida?».

PT: ¿Le parece aventurado sostener que los actuales paradigmas del conocimiento científico se agrupan en torno a las ideas de evolución y de complejidad?

JM: Fuera del mundo abstracto e intemporal de la matemática, todo está sometido al cambio y la evolución. El Universo evoluciona, el sistema solar evoluciona, las bacterias evolucionan, la sociedad evoluciona, cada uno de nosotros evoluciona mientras vive.

Pero los seres vivos evolucionan de un modo muy particular, por evolución darwinista, y en especial por selección natural. La selección natural es la fuerza que explica los aspectos funcionales y de diseño que presentan los organismos. Hasta el siglo XIX había una cierta esquizofrenia en nuestra visión del mundo. Parecía como si el mundo de la vida fuese incompatible con el de la física y dependiese de misteriosas fuerzas vitales, almas, enteiquias o intenciones divinas. El gran triunfo del darwinismo ha consistido en restaurar la visión coherente del mundo y en explicar los fenómenos de la biología de un modo perfectamente compatible con el resto de la ciencia. La evolución biológica nos ha dotado de un cerebro capaz de comprender el proceso del que ha surgido.

La realidad es insondablemente compleja. Por eso tenemos que construir modelos simplificados para estudiarla. La ciencia teórica pasa siempre por la construcción de modelos simples de la realidad compleja. Piensa en la superficie de la Tierra. Su forma real es de una complejidad inabarcable y está en continua mutación. De ella forma parte cada ola del mar y cada cumbre de los Andes, cada pelo de mi cabeza, cada carro que pasa, cada ave que vuela, cada viento que sopla. La superficie terrestre real es de tal nivel de complejidad, que no puede ser representada en nuestras cabezas ni en nuestras ecuaciones. Por eso construimos un modelo matemático simplificado, una esfera euclídea o un elipsoide de revolución, que nos permite calcular distancias y dar respuestas aproximadas a las preguntas que nos hacemos.

Por tanto, no cabe duda de que las nociones de evolución y complejidad desempeñan un papel central en nuestra situación intelectual. Aunque también hay otras, claro, como las de azar y necesidad, o las de información y energía.

PT: De Kuhn no solo proviene el término, sino también la idea que la discusión más o menos racional puede darse al interior de un paradigma y no necesariamente entre ellos. ¿Cree usted que en las discusiones entre paradigmas actuales podrán primar las razones?

JM: La concepción de Kuhn, tan atractiva e influyente, es excesivamente romántica e imprecisa, como él mismo reconocía abiertamente en la última etapa de su vida, que fue cuando yo lo traté, pues teníamos despachos contiguos en el MIT. Ya mucho antes, en 1970, la profesora Margaret Masterman había detectado veintidós sentidos distintos de la palabra “paradigma” en el libro de Kuhn *La estructura de las revoluciones científicas*. Kuhn le dio la razón y en sus últimas obras evitaba hablar de paradigmas e incluso de revoluciones científicas.

Los estudiantes de física aprenden diversas teorías mecánicas, como la newtoniana, la relativista especial, la relativista general, la mecánica cuántica no relativista y la teoría cuántica de campos. En una de las acepciones del término “paradigma”, cada una de estas teorías constituye un paradigma. Ya no es necesario, como en la época heroica de Galileo y Bruno, pagar con la cárcel o la hoguera el cambio de paradigma. Ahora los investigadores cambian rutinariamente de paradigma cuando pasan de un tipo de

problema a otro. Por ejemplo, no tiene sentido aplicar la teoría general de la relatividad a un problema de física de partículas, porque la gravitación es irrelevante a escala atómica, pero sí lo tiene aplicarla a problemas de cosmología, pues la gravitación es dominante a gran escala. En la práctica hay que hacer un análisis de coste-beneficio que incluya factores como la precisión, la computabilidad y la facilidad a la hora de decidirse por una teoría u otra. De todos modos, si dejamos de lado cuestiones prácticas, también podemos comparar los paradigmas. Está claro que la relatividad general explica todo lo que explica la mecánica newtoniana (con la que coincide asintóticamente en el caso especial de las pequeñas velocidades y densidades). Además, explica muchas otras cosas, como el aumento de masas de las partículas en los aceleradores, o las lentes gravitacionales. Por tanto, sí que es posible pasar de un paradigma a otro y comparar racionalmente los paradigmas entre sí.

PT: ¿Qué opina de la intrusión ideológica en determinados paradigmas? Le pregunto porque, si Peter Singer ha hablado de una «izquierda darwiniana», será porque (quizá con la retórica de la supervivencia del más fuerte, la primacía de la competencia o el éxito de las novedades) suele darse al darwinismo un sesgo, digamos, «derechista».

JM: La teoría darwinista de la evolución no es más de derechas ni de izquierdas que la aritmética o la química de los polímeros. Es una teoría científica acerca de cómo es el mundo de hecho, no un programa político sobre cómo nos gustaría que fuese. Desde luego, hay darwinistas de derechas, de izquierdas y de centro, pero también hay gente de derechas, de izquierdas y de centro que saben la tabla de multiplicar. El filósofo evolucionista Herbert Spencer interpretó la aptitud (*fitness*, en inglés) como éxito económico, lo cual gustó a algunos capitalistas famosos, como Andrew Carnegie. Pero eso no tiene nada que ver con la teoría darwinista, en la que los más aptos son los que más éxito reproductivo tienen, es decir, los que más genes aportan al acervo génico de la siguiente generación. Peter Singer es darwinista por sus ideas científicas e izquierdista por sus ideales políticos, pero ambas cosas son independientes una de otra.

PT: Usted ha sostenido que las visiones sinópticas, de conjunto, son propias de la filosofía. Esa vocación integradora, ¿existe también en las perspectivas científicas?

JM: La realidad es un continuo. Como la realidad es muy compleja, la diseccionamos en una gran variedad de aspectos y niveles, estudiados por especialistas distintos con métodos diferentes. Pero la realidad sigue siendo un continuo. El físico investiga los átomos de que estoy hecho, el fisiólogo estudia las funciones de mis órganos vitales, el genetista analiza los genes que controlan esas funciones, el psicólogo considera las circunstancias de mis enfados, el bioquímico las moléculas de adrenalina que segregan mis glándulas suprarrenales cuando me enfado, el economista estudia mis hábitos de consumo, etcétera. A pesar de toda esta división del trabajo científico, yo sigo siendo un

individuo único y continuo. Y el Universo entero es un continuo también. La especialización es imprescindible para el progreso de la ciencia y la aplicación eficaz de la tecnología, pero desde un punto de vista intelectual y espiritual, los descubrimientos especializados solo cobran su pleno sentido en la medida en que contribuyen a nuestra cosmovisión, a nuestra visión global del mundo.

PT: ¿Podría explicar por qué sostiene que «todo organismo es una excepción cósmica»?

JM: La segunda ley de la termodinámica dice que todo sistema aislado camina hacia el equilibrio, se acerca cada vez más al equilibrio o, equivalentemente, que en él aumenta la entropía. Nosotros no somos sistemas aislados, y, por tanto, no constituimos excepciones a esa ley. Sin embargo, los organismos somos excepcionales por lo lejos que nos encontramos del equilibrio termodinámico. Todo organismo está en desequilibrio con su entorno. Para fijarnos en un dato trivial, nosotros estamos a 36 grados de temperatura, aunque nuestro entorno esté a 18 grados. Esta situación es improbable y, de hecho, tenemos que gastar constantemente energía para mantener ese desequilibrio, cosa que solo conseguimos provisionalmente. Al final, nos morimos y nuestro cadáver se enfría a la temperatura ambiente, el equilibrio se restablece. Desde luego, esto que hemos dicho de la temperatura puede decirse —con mayor razón aún— de la composición química, de toda nuestra organización interna, del estar de pie, del hablar.

En el Universo predominan la energía oscura y la materia oscura. Solo hay un 5% de materia visible, concentrada en estrellas, galaxias, agujeros negros, gases intragalácticos e intergalácticos, etcétera. Incluso en el sistema solar, el único del que sepamos con seguridad que contenga vida, esta se limita a una finísima capa superficial del pequeño planeta Tierra. La vida es sumamente excepcional. Incluso aquí, donde la hay, compara la sangre de nuestras venas con el agua del océano. Si los milagros no son cosas imposibles, sino improbables y maravillosas, la vida es el más obvio milagro.

PT: Siempre consideré los escritos de Benjamin Franklin sobre el proceso corporal de expeler gases como una concesión al espíritu satírico (aunque sin mucha gracia, a decir verdad) antes que al científico. Pero su conferencia nos informa de que lo que usted llama «ventosidades» surgidas en los intestinos ayudan al equilibrio de la vida...

JM: Si comparamos la atmósfera de la Tierra con la de Venus o la de Marte (los planetas más próximos y parecidos al nuestro), lo primero que llama la atención es el contraste entre el equilibrio químico de las atmósferas venusiana y marciana, que consisten básicamente en dióxido de carbono, y el enorme desequilibrio de la atmósfera terrestre, con gran proporción de nitrógeno y oxígeno y con gases inestables como el metano y el óxido nítrico. Esta combinación de gases no puede mantenerse por sí misma. El metano se oxida y desaparece, convertido en dióxido de carbono y vapor de agua. Las plantas verdes producen el oxígeno necesario para reemplazar al perdido en la oxidación.

Las vacas y otros rumiantes, así como las termitas, producen en sus intestinos y lanzan al aire cada año unos mil millones de toneladas de metano, justo las que se necesitan para compensar la pérdida de metano atmosférico, de tal modo que se mantiene constante la proporción de metano de 1,5 partes por millón. La contribución de nuestras flatulencias a esta tarea es muy modesta. En cualquier caso, estos son los hechos que llevaron a James Lovelock a enunciar su famosa hipótesis de Gaia, de la Tierra como un sistema autorregulado.

PT: ¿De verdad cree que solo será posible caracterizar la vida de una forma general cuando se adquiera conocimiento sobre otros tipos de vida en el Universo?

JM: Ahora empezamos a conocer muy bien el tipo de vida que hay en la Tierra. Todos los seres vivos terrestres, aunque parezcamos muy distintos, como las bacterias, las araucarias y nosotros, sin embargo, en lo fundamental nos parecemos mucho. Estamos hechos de las mismas proteínas, construidas de acuerdo con instrucciones formuladas en el mismo código genético, almacenamos la energía en las mismas moléculas de ATP, etcétera. Todas estas similitudes se deben a que todos los seres vivos terrícolas descendemos de un ancestro común, del que hemos heredado todas estas características compartidas. Sin embargo, si hay vida en otros astros (cosa que de momento ignoramos), entonces esos seres vivos alienígenas no descenderán de nuestro ancestro común y no tenemos ni idea de qué características compartirán con nosotros. ¿Estarán hechos de proteínas construidas con los mismos 20 aminoácidos que empleamos en la Tierra? ¿Serán sus aminoácidos levógiros, como los nuestros? ¿Cómo codificarán su información? No lo sabemos.

PT: Usted cita a Aristóteles: solo hay ciencia de lo universal; las indagaciones sobre lo particular son historia. Pero después precisa que buena parte de la investigación científica es histórica (la cosmología o la biología). ¿Son ciencia entonces las ciencias?

JM: Nuestra biología es la más activa de las ciencias, la que más progresa, la que más páginas ocupa en las revistas científicas como *Nature* o *Science*. Sin embargo, no es una ciencia teórica, universal, sino una ciencia histórica, particular. Los átomos de las galaxias lejanas son los mismos que en la Tierra. Las leyes de la física valen igual en la Gran Nebulosa de Magallanes que aquí. Pero, suponiendo que haya vida en algunos astros de la Gran Nebulosa de Magallanes, no tenemos ni idea de cómo será. Quizá sea muy distinta de la que conocemos en la Tierra. Nuestra biología no es la ciencia teórica o universal de la vida en general, sino la ciencia histórica de la vida terrícola, la biografía (por así decirlo) de este peculiar linaje que nuestro último ancestro común dejó sobre la superficie de este planeta.

Yendo a su pregunta, claro que las ciencias son ciencia. Eso es una tautología. Pero solo algunas ciencias son teóricas, sobre todo en la física fundamental. La física

fundamental estudia las regularidades del Universo, pero también el azar interviene constantemente en la evolución del Universo, de la vida y de todo. La realidad que nos confronta es el resultado de mil azares congelados (para usar la afortunada expresión de Gell-Mann, con quien coincidí aquí en Santiago hace tres años). Por eso la mayor parte de las ciencias no pueden deducir de la teoría su objeto de estudio, que es contingente, sino que tienen que observarlo y tomar nota de cómo es. Esas ciencias, como la astronomía, la geología, la sistemática biológica o la historia económica y política, son ciencias históricas. El que una ciencia sea histórica no constituye un desdoro. La realidad en general y nosotros en particular somos históricos. Fuera de la historia solo hay abstracciones y fórmulas.

PT: Han pasado un par de años desde que diera aquí su conferencia sobre qué es la vida. Siempre hay descubrimientos y novedades de los que usted está al tanto, ¿haría alguna nueva observación hoy?

JM: Ha habido muchos descubrimientos importantes, como los relativos a los canales iónicos, que por primera vez nos permiten comprender perfectamente y en todo su detalle la naturaleza del impulso nervioso (la onda de potencial a través del axón de la neurona). Sin embargo, quizá lo más destacable de todo sea la culminación de la secuenciación del genoma humano, así como la del genoma de otros muchos organismos, como el ratón, que tiene el mismo número de genes que nosotros y comparte con nosotros la mayoría de los genes. Habrá que mirar a esta criatura con más respeto. Y dentro de un año tendremos secuenciado el genoma del chimpancé, que nos permitirá enfocar las raras diferencias que nos hacen humanos.¹¹⁹ La exploración genómica es una aventura intelectual sin precedentes. Es emocionante vivir en estos momentos en que estamos desentrañando los secretos de la vida.

2. Visión de conjunto

[Entrevista de Patricio Tapia al autor, publicada en *El Mercurio* de Santiago de Chile, el domingo 5 de diciembre de 2010, en el suplemento «Letras y Artes».]

PT: El destacado pensador Jesús Mosterín participó en el Fórum de las Culturas en Valparaíso e impartió una conferencia en la Fundación Chile. Antes fue a las Torres del Paine. Su interés por la naturaleza no es puramente teórico, como lo demostró su intervención para tratar de abolir las corridas de toros en España. Si al poeta Terencio, por el hecho de ser hombre nada humano le era ajeno, a los filósofos, por ser tales, nada humano ni nada inhumano les era ajeno: tanto el Universo o la ética como la biología o la literatura. El mejor ejemplo es Aristóteles. Si bien los filósofos, con el tiempo, han ido abandonando esa vocación universal para entregarse a diversas parcelas y

especializaciones, Jesús Mosterín ha permanecido fiel a esa antigua tradición que busca la visión de conjunto. De esta manera, siempre atento a la ciencia, sus muchos intereses consideran tanto la naturaleza como la cultura: desde la cosmología a la filosofía política, desde la racionalidad a la historia del pensamiento.

PT: Interesado en fenómenos tanto naturales como culturales, estuvo en la Patagonia y en el Fórum de las Culturas. ¿Cuál le gustó más?

JM: Me gustó más la Patagonia. Acabé con los huesos y los músculos molidos tras subir a la base de las Torres del Paine y a la de los Cuernos del Paine, pero valió la pena. Kant distinguía entre lo bello y lo sublime. El macizo del Paine forma parte de lo sublime. También me interesa la cultura, claro; es a lo que me dedico.

PT: En la relación naturaleza-cultura ha señalado que la idea de la maleabilidad de la conducta humana se ha erosionado. ¿Cómo deberían plantearse, entonces, los modelos educativos?

JM: Algunas gentes bienintencionadas tienen una confianza excesiva e ingenua en los poderes de la pedagogía. Aunque llevemos a nuestro perro a la mejor escuela de pago, no va a aprender a hablar. Lo que le falta no es la educación, sino los genes de la capacidad lingüística. Y yo, que canto mediocrementemente, nunca cantaré como Plácido Domingo, por muy buenos profesores de música que me pongan. Plácido Domingo tiene una combinación genética mejor que la mía desde el punto de vista de la musicalidad; eso no lo cambia la escuela.

PT: Ha argumentado a favor de la supresión de los estados nacionales. ¿Cree que pueda ser factible en algún momento?

JM: Claro. Eso sería ya factible ahora, si hubiera voluntad política. Ello conduciría a un mundo más seguro, más pacífico, más libre, con una superestructura política más barata y con mayor igualdad de oportunidades para todos. Pero muchísimos políticos nacionales, diplomáticos, militares y otros se quedarían sin trabajo, por lo que hay que esperar resistencia por ese lado. También hay que tener en cuenta los prejuicios nacionalistas imbuidos por la educación en tantas personas de todo el mundo.

PT: «Con la libertad, las flores, los libros y la Luna, ¿quién no sería perfectamente feliz?», dijo Wilde. ¿Comparte sus componentes de la felicidad?

JM: La felicidad tiene dos componentes principales: un componente hedonista (el placer), y un componente de satisfacción por alcanzar nuestras metas y objetivos más importantes. Supongo que lo del placer está claro para todos. Pero la consecución de las metas también es necesaria para la felicidad. Por muchos placeres que tenga, el estudiante que suspende su examen, el empresario al que le sale mal su negocio más importante, la madre cuyo hijo tiene un accidente mortal, no pueden ser felices. La libertad nos facilita tanto los placeres como la consecución de nuestros objetivos.

Algunos libros pueden darnos placer; otros, ayudarnos a alcanzar nuestras metas.

PT: La democracia, ¿es una manifestación de la libertad? ¿Es sensato ilusionarse mucho con sus logros?

JM: La democracia es algo muy distinto de la libertad. La libertad consiste en hacer lo que yo quiera. La democracia consiste en hacer lo que quieran (la mayoría de) los demás. No hay que esperar milagros de la democracia, aunque en Chile en los últimos tiempos parece haber funcionado razonablemente bien.

PT: Usted señala que la racionalidad es la estrategia para vivir lo mejor posible. Hay quienes objetan una insuficiencia ética a una racionalidad «instrumental»...

JM: La racionalidad siempre es instrumental; es un instrumento para alcanzar nuestras metas (cada uno las suyas). Los epígonos del kantismo llaman racionalidad a lo que hoy en día llamamos ética. La racionalidad me ayuda a alcanzar mis objetivos y a ser feliz. La ética me ayuda a respetar a los demás y a evitar los sufrimientos inútiles. Pienso que ser buenos, ser racionales, ser guapos y estar sanos son cosas todas ellas deseables, pero no son lo mismo. La filosofía no gana nada con confundir los conceptos; gana más con distinguirlos con claridad y precisión.

PT: La compasión, ¿responde también a la racionalidad?

JM: La compasión es el sentimiento desagradable que tenemos cuando nos ponemos imaginativamente en el lugar de otra criatura capaz de sufrir y padecemos con ella, la con-padecemos. Es la base (o una de las bases) de la ética. Las filosofías de la India subrayan que la *a-himsa* o compasión (no dañar a la criatura viva) es la virtud moral fundamental. Antes no entendíamos la compasión a nivel neurológico. Ahora quizá empezamos a entender algo gracias al descubrimiento por Rizzolatti de las neuronas espejo, que se disparan de igual modo cuando nosotros hacemos cierta cosa o nos pasa algo y cuando vemos que otro hace esa cosa o le pasa lo mismo.

[PT: Mosterín se refiere a las neuronas que se activan cuando un animal ejecuta ciertos movimientos y también simplemente al contemplar a otros hacerlo. En un principio se pensó que solo se trataba de un sistema de imitación. Sin embargo, diversas investigaciones indican que el sistema de neuronas espejo permite hacer propias las acciones, sensaciones y emociones de los demás. Alguna vez Mosterín habló de Peter Singer como un filósofo que «se remanga», interviniendo en debates que afectan la vida cotidiana de las personas y no en discusiones abstractas. Mosterín ha participado en difundir el conocimiento de la naturaleza y la protección de los animales. Su oposición a los espectáculos de crueldad lo ha llevado a actuar públicamente contra las corridas de toros, contribuyendo a su abolición en parte de España.]

PT: ¿Se «remangó» para actuar contra las corridas de toros?

JM: Sí, pienso que la filosofía debería servir para algo, por ejemplo, para acabar con los espectáculos de la crueldad. Chile lleva dos siglos de adelanto a España en esto, pues a principios del siglo XIX, el libertador O'Higgins abolió ya las corridas de toros (junto con la esclavitud y las peleas de gallos). Afortunadamente, ya hemos logrado abolir la tauromaquia en Cataluña y Canarias. Espero que pronto logremos abolirlas en el resto del país, alcanzando así el nivel moral de Chile. Si a alguien le interesa el tema, puede consultar mi librito *A favor de los toros* (Laetoli, 2010), que se acaba de publicar la semana pasada en España.

PT: Lo del «carácter etnológico» o la «belleza» de la tauromaquia no acaba de convencerlo...

JM: Las crueldades con los toros eran comunes en toda Europa y fueron abolidas por la Ilustración. En Inglaterra se abolieron al mismo tiempo que en Chile. No tienen nada que ver con España, excepto en el sentido de ser una manifestación de su atraso. Desde luego, no hay belleza alguna en torturar a un toro (animal pacífico, herbívoro y rumiante) con todo tipo de instrumentos metálicos punzantes, mientras su sangre brota a borbotones.

PT: ¿De qué otros temas se ha ocupado últimamente?

JM: Acabo de publicar un libro sobre *Los cristianos* (Alianza, 2010), que presenta la historia del cristianismo y del pensamiento cristiano del modo más objetivo y científico posible. También en la misma editorial acaba de aparecer la segunda edición ampliada del *Diccionario de lógica y filosofía de la ciencia*, que he escrito conjuntamente con el gran filósofo chileno Roberto Torretti.

3. Tras los secretos del cosmos

[Entrevista de Patricio Tapia al autor, publicada en *El Mercurio* de Santiago de Chile, el domingo 13 de noviembre de 2011, en el suplemento «Letras y Artes».]

[PT: Hubo un tiempo en que los filósofos pretendían hablar del Universo simplemente pensando, pero en la actualidad solo es posible decir algo en base a la información que el Universo entrega, básicamente a través de la astronomía. Chile tiene una situación privilegiada y contará pronto¹²⁰ con el radiotelescopio más poderoso del mundo, ALMA (Atacama Large Millimeter/submillimeter Array). El filósofo de la ciencia español Jesús Mosterín, quien entre sus múltiples intereses ha escrito sobre la frontera entre filosofía y cosmología, fue invitado a dar la conferencia central en una reciente expedición internacional al observatorio ALMA y al de Cerro Paranal.]

PT: ¿Cuál cree que es el rol de Chile en la investigación astronómica?

JM: Chile tiene la suerte de tener algunos de los lugares del mundo más adecuados para la observación astronómica: altos, con poca humedad y con cielo despejado casi todas las noches. Por otro lado, tiene una situación política estable, hay poca corrupción y hay un nivel de desarrollo aceptable. Por todo ello, la comunidad científica internacional ha confiado en Chile para instalar varios de los mejores y más caros observatorios del mundo, de los que los científicos chilenos se benefician considerablemente, pues tienen mucha facilidad para conseguir tiempo de observación, que es el bien más codiciado entre los astrónomos.

En concreto, el coste de ALMA corre a cargo de tres consorcios, uno europeo, otro norteamericano y otro asiático oriental. Chile pone el suelo y el cielo, así como también diversas aportaciones técnicas. Quizá sean la astronomía y el vino los dos factores que más contribuyen al prestigio de Chile en el mundo. La suerte de tener un buen cielo no es mérito propio, pero sí lo es el cuidarlo y el asegurar un marco favorable a la investigación.

PT: ¿Qué le pareció ALMA?

JM: ALMA es un gran observatorio formado por 66 antenas parabólicas, la mayoría de 12 metros de diámetro, colocadas a más de 5000 metros de altitud. Está situado cerca de San Pedro de Atacama. Estas antenas reciben las ondas electromagnéticas de longitud de onda entre 3 y 0,3 mm, que emiten los cuerpos cósmicos fríos, como las nubes de gas y polvo en que se forman las estrellas.

Las señales recibidas se procesan por interferometría, combinando los datos de todas las antenas en un correlacionador central, un gran computador que genera los datos e imágenes finales. Ya han empezado a funcionar un tercio de las antenas y pronto estarán todas montadas. Los astrónomos e informáticos de ALMA nos han mostrado cómo se construyen y transportan las antenas y nos han explicado cómo funciona el correlacionador. En la visita llevábamos botellas de oxígeno para completar de vez en cuando el escaso oxígeno de la atmósfera a más de 5000 metros. Mi experiencia ha sido extraordinaria y el conocimiento adquirido de primera mano, enormemente valioso.

PT: ¿Podría explicar sencillamente qué es la interferometría?

JM: La interferometría consiste en combinar las señales recibidas por diversos telescopios separados entre sí a una cierta distancia máxima, para obtener datos e imágenes similares a los que obtendríamos con un solo telescopio con un diámetro igual a esa distancia máxima.

PT: ¿Por qué cree que invitaron a un filósofo a dar una conferencia en el observatorio? ¿Qué puede decir la filosofía a la ciencia?

JM: La red de alta dirección invitó a un amplio grupo de astrónomos y personalidades de diversos países a visitar las instalaciones de ALMA que ahora se están poniendo en

marcha y a intercambiar informaciones y reflexiones en torno al Universo. Yo hablé acerca de la frontera entre ciencia y especulación en cosmología y mi conferencia fue bien recibida por los astrónomos presentes, que coincidieron con mis conclusiones, lo que no dejó de ser gratificante para mí. Los temas tradicionales de la filosofía habían sido el conocimiento, Dios y el alma. Hoy en día, el Universo desempeña el papel central y global que antaño representó la idea de Dios. La cosmología actual es como una teología a la altura de nuestro tiempo, basada en la búsqueda de la verdad y no en la mitología. Desde luego, el Universo ya era una preocupación central de Platón y Aristóteles y lo sigue siendo de la gran filosofía actual. La filosofía como mera palabrería ya no interesa a casi nadie, pero la filosofía como búsqueda de la claridad de los conceptos y la verdad de las teorías sigue interesando a los científicos y, en realidad, a toda persona inteligente y mentalmente despierta.

PT: El Universo en expansión o la radiación de fondo ¿eran solo teorías que tuvieron comprobación experimental posterior? ¿Ayudará ALMA a despejar algunas teorías que son solo tales?

JM: La expansión del Universo y la radiación cósmica de fondo no fueron teorías previas que tuvieran comprobación empírica posterior. De hecho, ninguna teoría las había predicho y su descubrimiento observacional fue completamente inesperado y sorprendente. En la investigación científica, a veces la teoría va por delante y otras veces (como en los dos casos indicados) es la observación experimental la que irrumpe de modo imprevisto y destruye los consensos previos de los científicos. A ningún pensador (científico, astrónomo, filósofo o profeta) se le había ocurrido la idea de que el Universo fuera una pura explosión. Eso lo descubrió Hubble en 1929. La radiación cósmica de fondo la descubrieron por casualidad dos ingenieros de la empresa telefónica Bell que trataban de buscar la fuente de ciertas interferencias en sus líneas. Es posible que ALMA nos permita hacer también descubrimientos inesperados. ¡Ojalá!

PT: ¿Cuántas de las explicaciones y discusiones en la cosmología actual siguen siendo puramente especulativas?

JM: En la cosmología actual hay que mencionar en primer lugar el modelo estándar del Big Bang, que da cuenta de casi todas las observaciones del Universo, desde la expansión cósmica hasta la radiación cósmica de fondo, pasando por la abundancia relativa de los elementos químicos. Este modelo está muy bien comprobado empíricamente. En segundo lugar hay que mencionar las cosas que sabemos que existen, pero que ignoramos lo que son, como la materia oscura y la energía oscura. La materia oscura ejerce una atracción gravitatoria. La energía oscura impulsa la aceleración de la expansión cósmica, descubierta mediante la medición de distancias a supernovas (explosiones de estrellas) del tipo Ia. Finalmente hay que mencionar una serie de

especulaciones audaces pero desprovistas de contrastación empírica, como el modelo estacionario, los modelos inflacionarios y cíclicos, la teoría de supercuerdas, los universos paralelos, etcétera.

PT: ¿Hasta qué punto es seguro el conocimiento?

JM: El único conocimiento seguro es el matemático. El conocimiento empírico es siempre provisional y está sometido a revisión en función de los nuevos datos que vayamos obteniendo. De todos modos, dentro de lo empírico y provisional, hay grados muy distintos de fiabilidad. El modelo estándar del Big Bang es más fiable que la nube de hipótesis especulativas que lo rodean. Y el modelo estándar de la física de partículas es más fiable que la teoría de supercuerdas y no digamos ya que las fantasías sobre infinitos Universos paralelos. Los modelos estándar de la ciencia empírica constituyen el mejor y más fiable conocimiento de la realidad del que disponemos.

4. El bosón de Higgs

[Entrevista de Patricio Tapia al autor, publicada en *El Mercurio* de Santiago de Chile, el domingo 11 de noviembre de 2012, en el suplemento «Letras y Artes».]

[PT: Todo indica que no estamos hechos de la misma materia que los sueños, sino de átomos. Ya los antiguos filósofos griegos creían que todo está constituido de unos pocos elementos básicos. La idea es esencialmente correcta, aunque los pormenores los ha precisado la ciencia hasta los más pequeños detalles. El tema se puso en boga con el descubrimiento del bosón de Higgs, un hueco experimental en el llamado «modelo estándar» de la física de partículas. Y Jesús Mosterín, que no es un antiguo filósofo griego, sino uno español y contemporáneo, siempre atento a la ciencia, estuvo en Chile para hablar del bosón en el IV Congreso Iberoamericano de Filosofía. También expuso sobre el tema de la naturaleza humana —el asunto de uno de sus libros más importantes y conocidos— en el Centro de Estudios Públicos, lo que devino en un fragoso debate. Mosterín no solo está interesado en la física y la biología, o en la ciencia en general, también ha estado publicando una imponente historia del pensamiento, y acaba de aparecer el volumen correspondiente al islam.]

PT: Se supone que David Hilbert señaló que la física se ha vuelto demasiado difícil, incluso para los físicos...

JM: La física se ha vuelto cada vez más difícil en un sentido y cada vez más fácil en otro sentido. En la medida en que ha avanzado en el conocimiento de la realidad, ha penetrado en niveles de complejidad antes desconocidos, por lo que ella misma se ha hecho cada vez más compleja. Además, las palabras del lenguaje ordinario se refieren a los objetos inmediatos y visibles de nuestra experiencia. Cuando enfocamos lo muy

pequeño o lo muy grande, nos faltan las palabras y tenemos que echar mano del lenguaje formal de las matemáticas, que para algunos resulta difícil, aunque de hecho es muy claro cuando se entiende.

Por otro lado, la física se ha hecho cada vez más fácil, pues los físicos han conseguido unificar teorías antes separadas y así explicar cada vez más fenómenos con cada vez menos principios y conceptos. El progreso de la física es, en gran parte, el triunfo de la unificación. Newton unificó la mecánica celeste y la terrestre. Maxwell unificó la electricidad y el magnetismo. Einstein, la gravedad y la geometría física. La teoría cuántica de campos ha unificado la mecánica cuántica y la relatividad especial.

PT: ¿Cómo le explicaría a un niño el llamado «modelo estándar» de física de partículas?

JM: Newton decía: «Somos como niños que se alegran de las conchas que encuentran en la playa, mientras al lado brama el océano de nuestra ignorancia». A un niño, de momento, lo dejaría jugar en paz con las conchas; pero le diría que no temiese hacerse adulto y aburrirse, pues nuevos y apasionantes juegos lo aguardan, en especial la exploración y conquista del océano de nuestra ignorancia.

El modelo estándar de la física de partículas es una teoría cuántica de campos que resume y describe todo lo que sabemos acerca de las partículas elementales (como los electrones, los quarks y los fotones) y acerca de las fuerzas elementales distintas de la gravedad (como la fuerza electromagnética, la interacción nuclear fuerte y la débil). Las partículas se conciben como excitaciones de los campos correspondientes. Y la acción de las fuerzas se entiende como un intercambio de bosones. La teoría entera se sintetiza en un lagrangiano, que es un artilugio matemático con ciertas simetrías, cuya ruptura espontánea da lugar a las diversas fuerzas y partículas.

Hay que hacer dos advertencias: el modelo estándar deja de lado la gravitación, aunque eso no es grave a nivel atómico, donde su efecto es despreciable; y el modelo estándar, aunque recoge todo lo que sabemos de la materia normal o visible, deja de lado la materia oscura y la energía oscura, invisibles, pero mucho más abundantes.

PT: ¿Y cómo le explicaría el papel que el bosón de Higgs juega en ese modelo?

JM: El modelo estándar de la física de partículas da cuenta de todas las partículas elementales conocidas y explica perfectamente sus propiedades (como la carga eléctrica), con una excepción: la masa. La masa es la resistencia que ofrecen las cosas a la aceleración. Las cosas con masa cero van todas a la velocidad de la luz, lo que obviamente no ocurre con partículas como los electrones o los quarks que forman los protones. Sin embargo, el modelo estándar inicial implicaba que todas las partículas tuvieran masa cero. Para arreglar este problema sin echar a perder la teoría, varios científicos, entre ellos Higgs, propusieron en 1964 la introducción en el modelo de un nuevo campo, el ahora llamado campo de Higgs, cuya interacción con las partículas les

confiere su masa. De todos modos, la física no es como la religión. Las afirmaciones hay que comprobarlas empíricamente. Si el campo de Higgs existe, también existirán sus excitaciones, los bosones de Higgs. Los otros bosones predichos por el modelo estándar hace tiempo que se habían encontrado, pero no así el bosón de Higgs, que solo en julio pasado hemos logrado detectar, después de una búsqueda de 48 años.

PT: Lo que se anunció en julio era el descubrimiento de una partícula «consistente» con el bosón de Higgs, pero que faltan mediciones. ¿Sabe si se ha avanzado algo en ese sentido?

JM: Dos equipos de 3000 científicos cada uno, trabajando en paralelo en dos experimentos distintos en el LHC (el gran colisionador de hadrones) del CERN (la agencia europea de investigación nuclear), detectaron a la vez un bosón de 125 GeV, es decir, de ciento veinticinco mil millones de electrón-voltios, que se identifica con el predicho bosón de Higgs con una fiabilidad de sigma 5, lo cual significa que la probabilidad de que el resultado se deba al azar es minúscula (de uno partido por dos millones). De todos modos, en los próximos dos años se seguirán haciendo nuevas mediciones para incrementar la seguridad del descubrimiento.

PT: ¿Qué puede decir la filosofía frente a «descubrimientos» como este?

JM: La función de la filosofía consiste en proporcionarnos una visión racional y lo más verídica posible del Universo, que nos sirva de marco de referencia para vivir nuestras vidas con los ojos abiertos. Ya desde sus orígenes, hace 2500 años, los filósofos presocráticos se preguntaban: ¿de qué están hechas todas las cosas? El modelo estándar de la física de partículas es, de momento, la mejor respuesta que podemos dar a esa pregunta originaria de la filosofía. Es un modelo muy bien articulado; el que logremos cerrar su último cabo suelto es un motivo de satisfacción. No hay una separación tajante entre ciencia y filosofía. Desde luego, este resultado experimental lo han obtenido físicos, ingenieros e informáticos, pero los filósofos sensatos nos aprovechamos de él y lo celebramos con ellos.

PT: Si hubiera aceleradores de partículas más poderosos, ¿se podrían hacer nuevos descubrimientos?

JM: Así es. Pero ello no es previsible en los próximos años. Este tipo de experimentos están restringidos no solo por las leyes de la naturaleza, sino también por los recursos financieros disponibles. El LHC es la máquina más cara de la historia. El túnel circular de 27 kilómetros en que está emplazado y sus sofisticadas instalaciones han tardado 10 años en construirse y han costado 5000 millones de dólares. La búsqueda del bosón de Higgs ha sido el experimento más caro de la historia. Cuesta 5500 millones de dólares al año. En total, encontrar el bosón de Higgs nos ha costado unos 13 300 millones de dólares. Desde luego, ha valido la pena, pero con ello casi hemos alcanzado el límite de lo

económicamente factible, sobre todo dados los problemas económicos por los que atraviesa Europa. Ya antes, Estados Unidos suspendió la construcción del gran acelerador SSC, cuyas obras ya habían comenzado en Texas. La ciencia teórica es independiente de las finanzas; la experimental, no.

PT: ¿No implica todo ello peligros graves (creo que Martin Rees escribió al respecto)?

JM: No. Siempre hay peligros, claro. Si nos obsesionásemos por ellos, no saldríamos de casa, pues nos puede atropellar un coche. Incluso si nos quedamos en casa, un terremoto puede derribar el edificio o nos puede caer encima un meteorito. Que yo sepa, los aceleradores de partículas nunca han producido accidentes graves, con víctimas. En cualquier caso, es mucho más seguro pasearse por el CERN que por una calle de Nueva York.

PT: ¿Cree posible una teoría unificada? Por favor, explique en qué consiste.

JM: Una teoría usa ciertos conceptos y afirma ciertas tesis que se resumen en los principios de la teoría (los axiomas de su presentación axiomática). Unificar dos teorías consiste en inventar una nueva teoría más general, a partir de cuyos conceptos se puedan definir los conceptos de ambas teorías anteriores y a partir de cuyos axiomas se puedan deducir los axiomas de las teorías anteriores. El modelo estándar de la física de partículas contiene la unificación (la teoría electrodébil) de la teoría electromagnética y de la teoría de la interacción nuclear débil (que genera, por ejemplo, la desintegración de los isótopos radioactivos). También contiene otra teoría distinta, la cromodinámica cuántica, que describe las interacciones nucleares fuertes. Al proyecto de unificación de estas dos teorías (la electrodébil y la cromodinámica) se le llama la “teoría de gran unificación”, pero todavía no existe. Por otro lado, el modelo estándar deja fuera la gravitación, que tiene su propia teoría, la relatividad general. El sueño de los físicos teóricos es llegar a unificar todas estas teorías de un modo consistente. ¿Lo conseguirán? Es imposible saberlo de antemano. Algunos sueños se cumplen; otros, no.

PT: ¿Cómo entiende usted una concepción naturalista de la naturaleza humana?

JM: La ignorancia total nos asusta. Para mitigar sus temores, nuestros antepasados inventaron una serie de mitos sobre nosotros mismos, nuestros orígenes, nuestro funcionamiento y nuestro destino, mitos que a veces eran pintorescos y tenían su encanto, pero que eran completamente falsos. Hasta hace poco se desconocía por completo nuestra evolución y no se sabía nada del genoma ni del cerebro; ni siquiera se sabía que hubiese genes o neuronas. Ahora, sin embargo, hemos ido acumulando conocimientos cada vez más amplios sobre nosotros mismos y sobre los otros animales y sobre la vida en general. Pensemos en los resultados del proyecto del genoma humano. Esto nos permite construir por primera vez una antropología intelectualmente honesta y bien informada. Ya no necesitamos autoengañarnos. Después de 2500 años, finalmente

podemos seguir el consejo del dios Apolo: «conócete a ti mismo».

PT: Su libro sobre el islam en la *Historia del Pensamiento* es la constatación de un esplendor apagado.

JM: El islam es una religión y un modo de pensar y de vivir. Sus ideas no son muy originales; es una herejía del judaísmo, cuya esencia monoteísta conserva mejor que el cristianismo (enredado en el galimatías de la Trinidad). Hace mil años, los países islámicos eran más avanzados, ricos, creativos, tolerantes y liberales que los cristianos, sumidos por entonces en la pobreza material y el fanatismo ideológico. Desde entonces ha llovido mucho y la situación ahora es la opuesta. Los cristianos europeos se han hecho escépticos y tolerantes, mientras que muchos musulmanes viven sumidos en el fanatismo y la ignorancia. De todos modos, en su época de esplendor, el islam produjo grandes pensadores, científicos y poetas. Ahora ya no queda nada de eso. Mi libro *El islam* (Alianza, 2012) pasa revista a ese desarrollo. He tratado de ofrecer una visión lo más objetiva y desprejuiciada posible, lo cual no siempre es fácil.

PT: ¿En qué está trabajando ahora?

JM: Estoy acabando un libro sobre filosofía y biología que se titulará *El reino de los animales* y se publicará próximamente.¹²¹ Más tarde me voy a centrar en otra de las cuestiones que más me interesan: el Universo, la cosmología y la cosmovisión.

PT: ¿No le cansa todo esto?

JM: Sí, pero la vida es breve. Ya descansaré cuando me muera.

Notas:

¹¹⁹. En efecto, un año después de la publicación de esta entrevista, el consorcio encargado de la secuenciación del genoma del chimpancé publicó sus resultados. Véase: «“Chimpanzee Sequencing and Analysis Consortium”, Initial sequence of the chimpanzee genome and comparison with the human genome», *Nature* 437, págs. 69-87, 2005. Para el análisis de las diferencias genómicas entre chimpancés y humanos debidas a la duplicación de genes, véase: Cheng, Z., Ventura, M. *et al.*, «A genome-wide comparison of recent chimpanzee and human segmental duplications». *Nature* 437, págs. 88-93, 2005.

¹²⁰. J.M.: Estuve en ALMA celebrando su puesta en marcha provisional en noviembre de 2011. El observatorio es operativo totalmente desde marzo de 2013, cuando fue inaugurado oficialmente con asistencia del presidente de Chile, Sebastián Piñera. Para entonces ya funcionaban 50 de las 66 antenas previstas; el resto estaban en proceso de montaje.

¹²¹. El libro, Mosterín, J., *El reino de los animales*, Madrid: Alianza Editorial, 2013, ya se ha publicado.

Bibliografía

1. Ciencias y humanidades

- Brockman, J. (1995). *The Third Culture: Beyond the Scientific Revolution*. Simon & Schuster, Nueva York. Hay edición en español: *La tercera cultura*. Tusquets, Barcelona, 1996.
- Mosterín, J. (2000). «Ciencia, filosofía y humanidades». *Pasajes, Revista de Pensamiento Contemporáneo*, nº 4, págs. 7-16.
- Snow, C.P. (2001). *The Two Cultures*. Cambridge University Press, 2001.
- Sokal, A. y Bricmont, J. (1998). *Fashionable Nonsense: Postmodern Intellectuals' Abuse of Science*, Picador. Hay traducción en español: *Imposturas intelectuales*. Barcelona, Paidós, 1999.

2. Grandeza y miseria de la filosofía analítica

- Beaney, M. (2013). *The Oxford Handbook of the History of Analytic Philosophy*. Oxford University Press.
- Martinich, A.P. y Sosa, D. (2011). *Analytic Philosophy: An Anthology*. Wiley-Blackwell, Oxford (2ª edición).
- (2005). *Companion to Analytic Philosophy*. Wiley-Blackwell, Oxford, (2ª edición, 2011).
- Mosterín, J. (1994). «La insuficiencia de la filosofía actual». *Claves de Razón Práctica*, nº 48, diciembre, págs. 20-28.
- (1996). «Methods galore and no world view in sight». En *Methods of Philosophy and the history of Philosophy* (ed. por S. Knuuttila y I. Niiniluoto), *Acta Philosophica Fennica*, Helsinki, vol. 61, págs. 155-161.
- (2006). *Ciencia viva: Reflexiones sobre la aventura intelectual de nuestro tiempo* (2ª edición), Espasa, Madrid.
- Muguerza, J. (1974). (ed.). *La concepción analítica de la filosofía*. En dos volúmenes, Alianza Editorial, Madrid.

3. Naturaleza humana y emociones morales

4. Convenciones y normas

- Axelrod, R. (2006). *The Evolution of Cooperation*. Edición revisada, Perseus Books Group.
- Damasio, A. (2000). *The Feeling Of What Happens: Body, Emotion and the Making of Consciousness*. Vintage Books. Traducción en español: *La sensación de lo que ocurre*. Editorial Debate, 2001.
- Mosterín, J. (2006). «Worries about Human Nature», *Acta Institutionis Philosophiae et Aestheticae* (Tokio, Japón), vol. 22, págs. 29-42.
- (2007). «Naturaleza y función de las emociones». En E. Punset (coord.), *El impacto de la ciencia en la sociedad*. Fundación Santander Central Hispano, Madrid, págs. 93-118.
- (2008). *La naturaleza humana* (2ª edición revisada). Colección Austral. Espasa-Calpe, Madrid.
- (2013). «Neural reality and social conventions: do they overlap?» *Annals of the New York Academy of*

Sciences.

— (2013) «Naturaleza humana, biología y convención». *Estudios Públicos*, nº 131, Chile.

5. Teoría de la racionalidad

Ellis, B. (1979). *Rational Belief Systems*. Basil Blackwell, Oxford.

Elster, J. (1983). *Sour Grapes: Studies in the Subversion of Rationality*. Cambridge University Press.

— (1984). *Ulysses and the Sirens: Studies in Rationality and Irrationality*. Cambridge University Press.

Traducción en español: *Ulises y las sirenas: estudios sobre racionalidad e irracionalidad*. Fondo de Cultura Económica, 2003.

Follesdal, D., Walloe, L. y Elster, J. (1988). *Rationale Argumentation*. Walter de Gruyter, Berlín.

Moser, P. (1990) (ed.). *Rationality in action*. Cambridge University Press.

Mosterín, J. (2008). *Lo mejor posible: Racionalidad y acción humana*. Alianza Editorial, Madrid.

— (2011). *Epistemología y racionalidad* (3ª edición revisada). Fondo Editorial UIGV, Lima.

Neumann, J. Von y Morgenstern, O. (1953). *Theory of Games and Economic Behavior*. Princeton University Press.

Zenker, F. (2013). *Bayesian Argumentation: The practical side of probability*. Springer.

6. La racionalidad científica

Grünbaum, A. (2013). *Scientific Rationality, the Human Condition, and 20th Century Cosmologies*. Oxford University Press, Estados Unidos.

Mosterín, J. (2011). «La universalidad de la racionalidad científica». En A.R. Pérez Ransanz y A. Velasco (eds.), *Racionalidad en ciencia y tecnología: Nuevas perspectivas iberoamericanas*. UNAM, México, págs. 51-58.

— (2012) «Formal and material aspects of rationality». En V. Lektorsky y A. Guseynov (eds.), *Rationality and its Limits*. Institute of Philosophy. Russian Academy of Sciences, Moscú, págs. 119-136.

7. Límites del conocimiento

Gödel, K. (2006). *Obras completas*. Alianza Editorial, Madrid.

Horgan, J. (1997). *The End of Science: Facing the Limits of Knowledge in the Twilight of the Scientific Age*.

Little, Brown & Company. Traducción en español: *El fin de la ciencia: los límites del conocimiento en el declive de la era científica*. Paidós, Barcelona, 1998.

Mosterín, J. (2000). «Límites del conocimiento y de la acción». En: J. Muguerza y P. Cerezo (eds.), *La filosofía hoy*, Crítica, Barcelona, págs. 267-278.

Russell, B. (1948). *Human Knowledge: Its Scope and Limits*. George Allen & Unwin, Londres. Traducción en español: *El conocimiento humano: su alcance y sus límites*. Taurus, Madrid, 1964.

8. Modelos simples de un mundo complejo

Mosterín, J. (1999). «Modelos simples de un mundo complejo». En: J. Agudé (ed.), *Les bases matemàtiques de la civilització tecnològica*, Sabadell: ADCYC, págs. 59-71.

- Suppes, P. (2002). *Representation and Invariance of Scientific Structures*. CSLI Publications, Stanford.
- Wigner, E. (1960). «The Unreasonable Effectiveness of Mathematics in the Natural Sciences», *Communications in Pure and Applied Mathematics*, vol. 13, nº. I (febrero), John Wiley & Sons, Nueva York.

9. La frontera entre ciencia y especulación

- Baggott, J. (2013). *Farewell to Reality: How Fairytale Physics Betrays the Search for Scientific Truth*. Constable.
- Kragh, H. (2011). *Higher Speculations: Grand Theories and Failed Revolutions in Physics and Cosmology*. Oxford University Press.
- Laughlin, R. (2006). *A Different Universe: Reinventing Physics from the Bottom Down*. Basic Books.
- Smolin, L. (2007). *The Trouble With Physics: The Rise of String Theory, The Fall of a Science, and What Comes Next*. Mariner Books.
- Woit, P. (2007). *Not Even Wrong: The Failure of String Theory and the Search for Unity in Physical Law*. Basic Books.
- Zeh, H.D. (2012). *Physik ohne Realität: Tiefsinn oder Wahnsinn?* Springer.

10. Consistencia en la ciencia empírica

- Gregory, B. (1990). *Inventing Reality: Physics as Language*. Wiley Science Editions.
- Mosterín, J. (2011). «The role of consistency in empirical science». *Manuscrito* (Campinas, Brasil), vol. 34, págs. 293-306.
- Tarski, A.; Montowski, A. y Robinson, R. (2010). *Undecidable Theories*. Dover Publications.

11. Observación y detección

- Arp, H. (1987). *Quasars, Redshifts and Controversies*. CA: Interstellar Media, Berkeley. Hay traducción en español: *Controversias sobre las distancias cósmicas y los cuásares*. Tusquets, Barcelona, 1992.
- Bahcall, J. (1997). «Solar Neutrinos: Solved and Unsolved Problems.» En J. Bahcall y J. Ostriker, (eds). *Unsolved Problems in Astrophysics*. NJ: Princeton University Press, Princeton, págs. 195-219.
- Hacking, I. (1998). *Representing and Intervening*. Cambridge University Press, Cambridge. Traducción en español: *Representar e intervenir*. Paidós, Barcelona, 1998.
- Lederman, L., y Schramm, D. (1989). *From Quarks to the Cosmos: Tools of Discovery*. Freeman/Scientific American Library, Nueva York.
- Mosterín, J. (1999). «Technology and observation». En: E. Agazzi y H. Lenk (ed.), *Advances in the Philosophy of Technology*, Society for Philosophy and Technology, Newark, Delaware.
- (2001). «Technology-mediated observation». En Lenk, Hans y Matthias Maring (eds.), *Advances and Problems in the Philosophy of Technology*, Münster, Lit.
- Pauri, M. (1991). «The Universe as a Scientific Object». En E. Agazzi y A. Cordero, (eds.), *Philosophy and the Origin and Evolution of the Universe*. Kluwer, Dordrecht, págs. 291-339.
- Smith, R.C. (1995). *Observational Astrophysics*. Cambridge University Press, Nueva York.
- Torretti, R. (1986). «Observation». *The British Journal for the Philosophy of Science*, 37, págs. 1-23.

12. Hurgando el nanomundo

Drexler, E. (2013). *Radical Abundance*. Public Affairs.

Mosterín, J. (2002). «Ethical Implications of Nanotechnology». En *Nanotechnology: Revolutionary Opportunities and Societal Implications*, Lecce, págs. 101-106.

— (2009). «Nanotecnología y ética». En: *¿Qué es la nanotecnología? Avances, expectativas y riesgos*, Poliedro, Donostia, págs. 81-95.

Wolf, E. (2006). *Nanophysics and Nanotechnology: An Introduction to Modern Concepts in Nanoscience*, Wiley.

13. El principio antrópico en cosmología

Barrow, J. y Tipler, F. (1986). *The Anthropic Cosmological Principle*. Clarendon Press, Oxford.

Earman, J. (1987). «The SAP also rises: A critical examination of the anthropic principle». *American Philosophical Quarterly*, 24: 307-317.

— y Mosterín, J. (1999). «A critical look at inflationary cosmology». *Philosophy of Science*, 66 (marzo), págs. 1-50.

Gribbin, J. y Rees, M. (1989). *Cosmic Coincidences: Dark Matter, Mankind, and Anthropic Cosmology*. Bantam Books, Nueva York.

McMullin, E. (1993). «Indifference principle and anthropic principle in cosmology». *Studies in the History and Philosophy of Science*, 24: 359-389.

Kragh, H. (2011). *Higher Speculations: Grand Theories and Failed Revolutions in Physics and Cosmology*. Oxford University Press.

Mosterín, J. (2000). «The Anthropic Principle in Cosmology: A Critical Review». *Acta Institutionis Philosophiae et Aestheticae* (Tokio, Japón), vol. 18, págs. 111-139.

— (2002). «Examen del principio antrópico en cosmología». *Diálogos* (Puerto Rico), 79: 203-236.

— (2005). «Anthropic Explanations in Cosmology». En P. Háyeck, L. Valdés y D. Westerstahtl (ed.), *Logic, Methodology and Philosophy of Science: Proceedings of the 12th International Congress of the LMPS*. King's College Publications, Londres, págs. 441-473.

Weinberg, S. (1987). «Anthropic bound on the cosmological constant». *Phys. Rev. Letters*, 59, págs. 2607-2610.

14. Profesionales y aficionados

Feldman, B. (2001). *The Nobel Prize: A History of Genius, Controversy, and Prestige*. Arcade Publishing.

Mosterín, J. (2002). «Premios Nobel y aficionados». *Ciencia digital*, nº 29 (febrero). En <http://www.cienciadigital.net>

— (2006). *Ciencia viva: reflexiones sobre la aventura intelectual de nuestro tiempo* (2ª edición). Espasa, Madrid.

15. Albert Einstein

Clark, R. (1973). *Einstein: The Life and Times*. Hodder and Stoughton, Londres.

Einstein, A. (1954). *Ideas and Opinions*. Crown Publishers, Nueva York. Traducción en español: *Mis ideas y*

- opiniones*. Antoni Bosch Editor, S.A., 2011.
- (1961). *Relativity: The Special and the General Theory*. Crown Publishers, Nueva York. Traducción en español: *Sobre la teoría de la relatividad especial y general*. Alianza Editorial, Madrid, 2008. También en: *Autobiografía y escritos científicos*. Círculo de Lectores, Barcelona, 1995.
- Lorentz, H., Weyl, H. y Minkowski, H. (1952). *The Principle of Relativity*. Dover Publications, Nueva York.
- Isaacson, W. (2007). *Einstein: His Life and Universe*. Simon & Schuster, Nueva York. Traducción en español: *Einstein: su vida y universo*. Debolsillo, Barcelona, 2009.
- Mosterín, J. (2003). «Einstein y Gödel». En J. Ferreirós y A. Durán (ed.), *Matemáticas y matemáticos*, Universidad de Sevilla y Real Sociedad Matemática Española, págs. 135-156.
- Neffe, J. (2005). *Einstein: Eine Biographie*. Rowohlt Verlag. Traducción en inglés: *Einstein: A Biography*. Farrar, Strauss and Giroux, Nueva York, 2007.
- Pais, A. (1982). *Subtle is the Lord...: The Science and the Life of Albert Einstein*. Oxford University Press. Traducción en español: *El Señor es sutil: la ciencia y la vida de Albert Einstein*, 1984.

16. Karl Popper

- González, W. (2004). (ed.). *Karl Popper: Revisión de su legado*. Unión Editorial, Madrid.
- Miller, D. (1985). (ed.). *Popper Selections*. Princeton University Press.
- Mosterín, J. (2004). «El mundo de la cultura y el conocimiento en Popper». En Andrés Rivadulla (ed.), *Hipótesis y verdad en ciencia: ensayos sobre la filosofía de Karl Popper*, págs. 15-30.
- Popper, K. (1934). *Logik der Forschung*. Julius Springer Verlag, Viena, (2ª edición, Tübingen: J.C.B. Mohr, 1966). Traducción en inglés: *The Logic of Scientific Discovery*. Hutchinson, Londres, 1959. Traducción en español: *La lógica de la investigación científica*. Tecnos, Madrid, 1962. Reproducida en Barcelona: Círculo de Lectores, 1995.
- (1963). *Conjectures and Refutations: The Growth of Scientific Knowledge*. Routledge, Londres. Traducción en español: *Conjeturas y refutaciones: el desarrollo del conocimiento científico*. Paidós, Barcelona, 1983.
- (1977). *Unended Quest: An Intellectual Autobiography*. En Paul Arthur Schilpp, *Philosophy of Karl Popper*, vol. 2. Traducción en español: *Búsqueda sin término*. Tecnos, Madrid, 1977.
- Rivadulla, A. (2004). (ed.). *Hipótesis y verdad en ciencia: ensayos sobre la filosofía de Karl Popper*. Facultad de Filosofía de la Universidad Complutense de Madrid.
- Schwartz, P.; Rodríguez Braun, C. y Méndez Ibisate, F. (1993). (eds.). *Encuentro con Karl Popper*. Madrid: Alianza Editorial.

17. Entrevista con Karl Popper

- Mosterín, J. (1989). Entrevista resumida con Karl Popper. *La Vanguardia*, 24 de mayo de 1989.
- (1989) «Entrevista con Karl Popper». *Arbor*, CXXXIII, nº 522, junio de 1989, págs. 9-37.
- (1989). «Karl R. Popper». Premi Internacional Catalunya. Institut Català d'Estudis Mediterranis, Barcelona.

18. Thomas Kuhn

- Horwich, P. (1993). *World Changes: Thomas Kuhn and the Nature of Science*. University of Pittsburgh Press.

- Kuhn, T. (1957). *The Copernican Revolution: Planetary Astronomy in the Development of Western Thought*. Harvard University Press, Cambridge. Traducción en español: *La revolución copernicana: La astronomía planetaria en el desarrollo del pensamiento occidental*. Ariel, Barcelona, 2006.
- (1962). *The Structure of Scientific Revolutions*. University of Chicago Press, Chicago, cuarta edición (edición 50 aniversario) con una introducción de Ian Hacking, University Of Chicago Press, 2012. Traducción en español: *La estructura de las revoluciones científicas*. Fondo de Cultura Económica, México.
- (1977). *The Essential Tension: Selected Studies in Scientific Tradition and Change*. The University of Chicago Press, Chicago. Traducción en español: *La tensión esencial*. Fondo de Cultura Económica, México, 1994.
- (1987). *Black-Body Theory and the Quantum Discontinuity, 1894-1912*. University of Chicago Press, Chicago. Traducción en español: *La teoría del cuerpo negro y la discontinuidad cuántica, 1894-1912*. Alianza Editorial, Madrid, 2007.
- (2000). *The Road since Structure: Philosophical Essays, 1970-1993*. University of Chicago Press, Chicago. Traducción en español: *Camino desde la estructura: Ensayos filosóficos, 1970-1993*. Paidós, Barcelona, 2002.
- Masterman, M. (1970). «The Nature of a Paradigm», en Imre Lakatos y Alan Musgrave, *Criticism and the Growth of Knowledge*, Cambridge University Press, págs. 59-89.
- Mosterín, J. (1999). «La dudosa iluminación de Kuhn». *Revista de Libros*, nº 28, abril, págs. 14-17.
- Solís, C. (1998). (ed.). *Alta tensión: Historia, filosofía y sociología de la ciencia. Ensayos en memoria de Thomas Kuhn*. Paidós Ibérica, Barcelona.

19. La epistemología evolutiva de Rescher

- Almeder, R. (2008). (ed.). *Rescher Studies*. Ontos, Heusenstamm.
- Mosterín, J. (1995). «Sobre *Los límites de la ciencia*, de Nicholas Rescher». *Theoria*, septiembre.
- (2008) «Rescher's evolutionary epistemology». En Robert Almeder (ed.), *Rescher Studies*, págs. 241-253.
- Rescher, N. (1977). *Methodological Pragmatism: A Systems-Theoretic Approach to the Theory of Knowledge*. Blackwell.
- (1984). *The Limits of Science*. University of California Press. Traducción en español: *Los límites de la ciencia*. Tecnos, Madrid, 1994.
- (1990). *A Useful Inheritance*. Rowmann and Littlefield Publ.
- (1997). *Instructive Journey: An Essay in Autobiography*. University Press of America.

20. Apéndice: cuatro entrevistas al autor

- «Paradigmas en Chile», entrevista por Patricio Tapia a Jesús Mosterín en *El Mercurio* (Santiago de Chile), domingo 22 de agosto de 2004. Suplemento «Letras y Artes».
- «Visión de conjunto», entrevista en *El Mercurio* (Santiago de Chile), domingo 5 de diciembre de 2010.
- «Tras los secretos del cosmos», entrevista en *El Mercurio* (Santiago de Chile), domingo 13 de noviembre de 2011.
- «El bosón de Higgs», entrevista en *El Mercurio* (Santiago de Chile), domingo 11 de noviembre de 2012.

Índice

Prólogo	6
1. Ciencias y humanidades	9
2. Grandeza y miseria de la filosofía analítica	22
3. Naturaleza humana y emociones morales	33
4. Convenciones y normas	45
5. Teoría de la racionalidad	60
6. La racionalidad científica	70
7. Límites del conocimiento	87
8. Modelos simples de un mundo complejo	99
9. La frontera entre ciencia y especulación	105
10. La consistencia en la ciencia empírica	109
11. Observación y detección	119
12. Hurgando el nanomundo	131
13. El principio antrópico en cosmología	142
14. Profesionales y aficionados	168
15. Albert Einstein	174
16. Karl Popper	188
17. Entrevista con Karl Popper	202
18. Thomas Kuhn	221
19. La epistemología evolutiva de Rescher	228
20. Apéndice: cuatro entrevistas al autor	237
Bibliografía	253