



DEBATES

Los CAMINOS DEL PENSAMIENTO CIENTÍFICO

Segundo Gutiérrez Cabria



ÁTEDRA
DE EMÉRITOS

de la Comunidad Valenciana



DEBATES

LOS CAMINOS DEL PENSAMIENTO CIENTÍFICO

Segundo Gutiérrez Cabria

Edita: ©



ÁTEDRA
DE EMÉRITOS
de la Comunidad Valenciana

C/ Pintor López, 7 - 46003 Valencia - Tel. 96 392 06 04

email: catedraemeritos@fvea.es

Autor:

© Segundo Gutiérrez Cabria

Coordinan:

Vicente López Merino

Concha Albalat Criado

Salvador Aldana Fernández

Juan Cuenca Anaya

Amando García Rodríguez

D. L.: V-4935-2007

Maquetación e impresión:

Gráficas Antolín Martínez. s.l.

Tel. 96 391 89 84 - www.grafamar.com

Esta publicación ha sido patrocinada por la Fundación de la Comunidad Valenciana.

“UNIVERSIDAD INTERNACIONAL DE VALENCIA”

ÍNDICE

Introducción.....	9
1. La revolución científica.....	15
1.1. Ciencia y técnica	16
1.2. La tradición mágico-hermética	17
1.3. La revolución astronómica	18
1.3.1. Comentario al caso Galileo	26
1.3.2. El método científico de Galileo	28
1.4. Los “Principia” de Newton.....	29
1.5. Evolución del pensamiento filosófico ante la revolución científica	33
1.5.1. La filosofía y la teología de Newton.....	37
2. El pensamiento en ambiente de incertidumbre.....	41
2.1 Introducción.....	41
2.2. Los juegos de azar precursores de la probabilidad	43
2.2.1. Juegos de azar en el mundo antiguo.....	46
2.2.2. Juegos de azar en el Renacimiento	51
2.3. Pascal y Fermat	55
2.4. Huygens	61
2.5. La combinatoria	63
2.6. Probabilismo filosófico	64
3. El qué de la probabilidad	69
3.1. El sentido común de probabilidad	70
3.2. Tratamientos de la probabilidad.....	72
3.2.1. Probabilidad frecuentista.....	73

3.2.2. La definición de Laplace	74
3.2.3. Probabilidad lógica	75
3.2.4. La probabilidad como propensión o "chance " objetiva	76
3.2.5. Probabilidad subjetiva.....	77
3.3. Interpretaciones axiomáticas	78
3.4. Uso y abuso de las interpretaciones de la probabilidad	79
4. La cosmología contemporánea. Origen del universo	85
4.1. Cosmogonía de Laplace.....	87
4.2. El universo de Albert Einstein.....	89
4.3. La expansión del universo y el "big bang"	92
4.4. El modelo estándar del "big bang"	98
4.5. En torno a la frontera de la física.....	100
4.5 1. El modelo de Hawking	101
4.5.2. El vacío cuántico	104
5. Evolución y origen de la vida	111
5.1. El dinamismo de la materia	112
5.2. Evolución y termodinámica	114
5.3. El hecho de la evolución.....	116
5.4. El origen de la vida.....	123
5.5. Azar y necesidad.....	128
6. La relación mente-cerebro.....	133
6.1. La mente humana	133
6.2. El problema mente-cerebro	135
6.2.1. Identidad entre mente y cerebro.....	136
6.2.2. El emergentismo.....	138
6.2.3. El dualismo interaccionista de Popper-Eccles.....	140
6.3. Valoración sucinta de estas teorías	142

7. Positivismo y neopositivismo 147

7.1. El positivismo de Auguste Comte.....148

7.2. El neopositivismo o positivismo lógico 152

7.3. El cienticismo 157

7.4. Los límites de la ciencia 160

8. Propuestas de metodologías científicas en el siglo XX.165

8.1. El control de las teorías.....165

8.2. Paradigmas y ciencia normal.....167

8.3. Los programas de investigación 169

8.4. Contra el método 170

8.5 La metodología de las tradiciones de investigación.....173

8.6. El retorno de la metafísica.....175

405

NICOLAI COPERNICI TORINENSIS
DE REVOLUTIONIBVS ORBIVM
CELESTIVM, Libri VI.

Habes in hoc opere iam recens nato, & æditò,
studiose lector, Motus stellarum, tam fixarum,
quàm erraticarum, cum ex ueteribus, tum etiam
ex recentibus obseruationibus restitutos: & no-
uis insuper ac admirabilibus hypothefibus or-
natos. Habes etiam Tabulas expeditissimas, ex
quibus eosdem ad quoduis tempus quàm facilli-
me calculare poteris. Igitur eme, lege, fructe.

Exemplum alicuius

Christophorus de Wittenberg

Norimbergæ apud Ioh. Petreium,
Anno M. D. XLII.

La publicación del libro de Copérnico marca el comienzo de la moderna Ciencia.

LOS CAMINOS DEL PENSAMIENTO CIENTÍFICO

Introducción

En un trabajo anterior¹ hemos estudiado los caminos del pensamiento precientífico, esto es, aquél que es anterior a la ciencia propiamente dicha, la que se construye según las normas dictadas por “la lógica del conocimiento científico”. La lógica del conocimiento científico nos ayuda a distinguir entre los diversos modos de dominar intelectualmente la realidad del mundo. A primera vista nos hace discernir claramente los dos niveles principales de conocimiento: el empírico, basado en un sistema de análisis de la realidad destinado a *describir* el mundo lo más exactamente posible en toda su diversidad, y el teórico, basado en la *esquematización e idealización* de la realidad. Es a veces difícil fijar las fronteras entre uno y otro nivel.

El pensamiento científico, del que se trata aquí, se encamina así por derroteros distintos de los seguidos por el pensamiento precientífico, donde no había que enfrentarse con problemas metodológicos. La tarea primaria de la lógica consistía, según los *Analíticos posteriores* de Aristóteles, en “demostrar de dónde obtiene el discurso su poder de persuasión; qué discurso debe hacerse a fin de llevar a las gentes a concordar en algo o a llamar falso a algo”. Estos derroteros marcan una nueva época en la teoría del conocimiento, alcanzada por la llamada revolución científica, iniciada por Nicolás Copérnico, con la publicación de *De Revolutionibus* en 1543.

¹S. Gutiérrez Cabria, *Los caminos del pensamiento precientífico*, Cátedra de Eméritos (Valencia 2007).

El primer capítulo que abordamos está dedicado, precisamente, al estudio de esta “revolución”, la cual cambió totalmente la imagen del mundo, las ideas sobre el hombre, sobre la ciencia y sobre las relaciones entre la ciencia y la filosofía. La ciencia no es, desde entonces, la intuición del mago o el comentario de un filósofo, sino la indagación metódica y rigurosa acerca de la naturaleza. Se apoya en el método científico, iniciado por Galileo, donde la base es el experimento: sabia combinación entre el saber teórico y la técnica. Más tarde, configurará su expresión clásica a través de la imagen newtoniana del universo concebido como un reloj. Papel primordial en la revolución científica fue el jugado por la revolución astronómica.

Siguen a este capítulo otros que, a nuestro parecer, han configurado de modo especial el pensamiento científico. Y entre ellos, está la idea de probabilidad, que ha dado lugar a la concepción de un mundo indeterminista, frente al rígido determinismo antiguo. Esta inmersión de la probabilidad en la metodología científica ha invadido casi completamente el campo de la ciencia. Su presencia en el mundo científico ha dado lugar a una nueva formulación del principio de causalidad científica, donde la relación causa-efecto se expresa en términos probables. La probabilidad es consubstancial a la construcción de la mayor parte de la ciencia actual, y de modo especial a la estadística, la genética, la psicología, la sociología y aun parte de la física. La idea de probabilidad estaba ya en Carneades, el cual recomendaba a sus alumnos de la Academia seguir la opinión más probable. La obsesión por descubrir los arcanos de los dioses condujo, desde la antigüedad, al uso de los juegos de azar, los cuales se utilizaron en el Renacimiento con fines lúdicos y, en ocasiones, con utilidad práctica; con Pascal, Fermat y Huygens, dieron lugar a una teoría científica de importancia creciente.

La cosmología, el estudio del cosmos, fue objeto de análisis en todas las culturas. Interesó de modo especial saber cómo se originó el universo, la *cosmogénesis*. Así surgieron los mitos cosmogónicos. Y así se explica también la importancia dada a la astrología y a la

astronomía, en todas las culturas antiguas. Con la revolución científica cobra la cosmología un interés especial, y éste se agudiza en el siglo XIX con Laplace, al ser incorporados a su estudio los métodos de la mecánica y el análisis matemático. Pero los grandes avances que la han conducido a su estado actual son consecuencia de los nuevos conceptos de espacio y tiempo desarrollados por Einstein en el siglo XX.

Paralelamente a la cosmogénesis se desarrolló la *biogénesis*, origen y desarrollo de la vida. Ambas llevan implícita la idea de una evolución que abarca toda la realidad del universo, la vida y el hombre. Los hallazgos cosmológicos, en general, y biológicos, en particular, realizados en el siglo pasado, son de una importancia tal que afectan a toda reflexión filosófica que se haga acerca de la naturaleza o el mismo hombre.

Coincidiendo con la expansión económica que se originó con la transformación industrial en Europa, surgió la doctrina positivista, que duró hasta casi la primera guerra mundial. Esta filosofía alcanzó influencia durante el triunfo de la revolución industrial sobre el sistema de vida tradicional. El positivismo ensalza, interpreta y favorece la estabilización política y los avances de la industria y la ciencia. Surgen, en cambio, desequilibrios sociales, luchas por la conquista de los mercados. Se cree corregir esto con el avance en la instrucción popular, la ciencia y la riqueza. La filosofía positivista prescinde de toda proposición que no pueda verificarse por medios empíricos; en consecuencia, no tiene sentido la metafísica, la ética o la religión; el único discurso significativo es el científico. Todos los dogmatismos son malos para la ciencia, y el positivista no podía ser una excepción, por lo cual cayó en declive. Hoy existe una nueva asociación entre ciencia y filosofía, una apelación cada vez mayor al valor de la metafísica.

Finalmente, dedicamos un espacio al clásico problema de la relación cuerpo-alma, que se ha puesto de moda en los últimos años con la denominación mente-cerebro. Se plantean dos cuestiones: si de

verdad existe la mente, y si ésta es distinta del cerebro. La primera es contestada casi unánimemente en sentido afirmativo. La segunda es el centro del problema propiamente dicho. La conclusión a la que llegamos es que el problema está lejos de ser solventado. Al final de este capítulo fijamos nuestra atención en las implicaciones que tiene este problema en la llamada experiencia mística.

A modo de epílogo hacemos un breve recorrido por la epistemología que atrajo la atención de algunos pensadores de la segunda mitad del siglo XX: los aportes a la teoría del conocimiento de Popper, los paradigmas de Kuhn, los programas de investigación de Lakatos, las diatribas de Feyerabend contra el método o la metodología de las tradiciones de investigación de Laudan.

Estos temas pueden considerarse una muestra representativa del camino seguido por la evolución del pensamiento científico durante los últimos cuatrocientos años. Hay una idea directriz en su selección: crear una razón "abierta" capaz de defenderse con respecto a las múltiples solicitudes contemporáneas de huida hacia lo irracional o de repliegue hacia posturas estrictamente pragmáticas o estrictamente científicas. La razón abierta sabe que lleva implícitos los factores de corrección para todos los errores que –en cuanto razón humana– puede cometer; esto la fuerza a recomenzar itinerarios siempre nuevos.



Galileo Galilei.

Cap. 1. La revolución científica

La misión de la ciencia es catalogar el mundo para volverlo a Dios (Unamuno).

Las revoluciones no se hacen por menudencias, pero nacen de menudencias (Aristóteles).

La llamada “revolución científica” transcurre entre la fecha de publicación de la obra *De Revolutionibus* de Nicolás Copérnico, en 1543, y la primera edición de la *Philosophiae Naturalis Principia Mathematica* de Isaac Newton, en 1686. Las ideas de este poderoso movimiento son influidas por el pensamiento de Bacon y Descartes, logran sus rasgos más salientes con la obra de Galileo y culminan con la descripción newtoniana de un universo concebido como una máquina, un reloj.

En este proceso juega un papel primordial la “revolución astronómica” que tuvo como representantes más importantes a Copérnico, Tycho Brahe, Kepler y Galileo, y que confluirá en la mecánica clásica de Newton. Durante este tiempo se modifica la imagen del mundo: Copérnico pone el sol en el centro del universo, en lugar de la tierra; Tycho Brahe elimina las esferas materiales que arrastraban con su movimiento a los planetas y las sustituye por las órbitas; Kepler sistematiza matemáticamente la teoría copernicana y pasa del movimiento circular de los planetas al elíptico; Newton, con su teoría gravitacional, unifica la física de Galileo con la de Kepler, al ser ambas aproximaciones a ciertos resultados de la mecánica newtoniana.

Pero durante esta etapa, no sólo cambia la imagen del mundo, sino también las ideas sobre el hombre, sobre la ciencia, sobre las relaciones entre ciencia y filosofía y entre ciencia y religión.

La revolución científica no consiste sólo en obtener nuevas teorías científicas, sino en un cambio radical en la noción misma del saber, de la ciencia. La ciencia, tal como la concibe Galileo, no es ya la intuición del mago o el comentario de un filósofo (como, por ejemplo, Aristóteles), que ha expresado la verdad y toda la verdad, sino una indagación y un razonamiento acerca de la naturaleza. El razonamiento científico se constituye como tal en la medida en que se basa en "experiencias sensatas y las demostraciones necesarias", según expresión del propio Galileo. A través del experimento, los científicos pretenden obtener proposiciones verdaderas acerca del mundo. Se obtienen así teorías sistemáticamente controladas a través de experimentos; un tipo de saber que crece constantemente por la obtención de teorías cada vez más amplias y más sostenibles, desde el punto de vista lógico, y más controlables.

Con la revolución científica se abre camino todo aquello que hemos denominado ciencia moderna, esto es, una ciencia autónoma, pública, controlable y progresiva, regulada por un método, con un lenguaje claro y específico, asistida por asociaciones científicas (academias, laboratorios, contactos a nivel internacional) que regulan metodológica y públicamente los avances alcanzados. Es sobre la base del método experimental que logra la ciencia su autonomía, independientemente de la filosofía y de las creencias religiosas.

1.1. Ciencia y técnica

La revolución científica es un proceso, y para comprenderlo hay que analizar sus componentes. En primer lugar, la tradición hermética, la alquimia, la astrología, la magia, que fueron paulatinamente abandonadas por la ciencia moderna. Éstas actuaron sobre su génesis, por lo menos en su momento inicial. Por otra parte, el nuevo saber exige la unión de la ciencia y la técnica, lo que origina un nuevo tipo de sabio, *el científico*, que se distingue del filósofo medieval, del

humanista, del astrólogo o del artista renacentista. El científico experimental moderno, cuya herramienta es el experimento, se vuelve cada vez más riguroso, gracias al empleo de instrumentos de medida más y más precisos. Actúa, con frecuencia, fuera de los antiguos centros de saber, conventos o universidades. El técnico adquiere más protagonismo. Se modifica el estatus social de artistas, artesanos y científicos, que han de cooperar para romper el muro que separaba las artes liberales de las mecánicas. El contacto y, a veces, el enfrentamiento, entre el saber científico y el técnico, entre el intelectual y el artesano, es un hecho que se da en la revolución científica.

Pensamos que la ciencia moderna es una sabia fusión entre saber teórico y técnica. Si la ciencia se basa en el experimento, es preciso que utilice técnicas de comprobación, esto es, manos artesanas e instrumentos que lleven a cabo esa comprobación. Los científicos crearon la ciencia, pero ésta surgió y se desarrolló porque encontró una base tecnológica que le sirvió de apoyo. En *Discursos en torno a dos nuevas ciencias*², escribe Galileo:

Paréceme, señores venecianos, que la práctica frecuente de vuestro famoso arsenal, abre un amplio campo al filosofar de los intelectos especulativos, en particular en lo que se refiere a la mecánica; allí, gran número de artífices ponen continuamente en ejercicio toda clase de instrumentos y de máquinas, y entre ellos –gracias a las observaciones hechas por sus antecesores, así como las que realizan continuamente por su cuenta– es obligado que haya hombres de enorme pericia y de un razonamiento muy perfeccionado.

1.2. La tradición mágico-hermética

En la actualidad no se niega ya el peso relevante que ejerció el pensamiento mágico-hermético en los exponentes más representativos de la revolución científica. Copérnico, además de astrónomo, fue médico y ejerció la medicina por medio de la teoría de los in-

² G. Galilei, *Opere* (Turín 1965).

flujos astrales. Kepler conocía el *Corpus Hermeticum* y buena parte de su trabajo consistía en compilar efemérides; cuando se casó por segunda vez, se aconsejó de sus amigos, pero consultó también a las estrellas. Su concepción de la armonía de las estrellas se halla imbuida de misticismo neopitagórico. Tycho Brahe estaba convencido del influjo que los astros ejercían sobre la marcha de las cosas y sobre los acontecimientos humanos; así, en la aparición de la estrella nova de 1572, vio paz y riqueza. Los horóscopos de Kepler eran muy apreciados, y lo mismo ocurría con los que hacía Galileo en la corte de los Médicis.

Pero a medida que avanza la ciencia moderna, gradualmente va detectando, criticando y suprimiendo el pensamiento mágico. Un ejemplo es el propio Kepler que dice³: "La tenebrosidad es el rasgo distintivo de los alquimistas, los herméticos y los seguidores de Paracelso, mientras que el pensamiento de los matemáticos se distingue por su claridad". Galileo, aunque se veía obligado a hacer horóscopos, se muestra en todos sus escritos ajeno al pensamiento mágico. Lo mismo ocurre con Descartes y Boyle. Pierre Bayle hace un ataque furibundo contra la astrología, cuyas reglas califica de "miserables". Bacon no condena los fines nobles de la magia, la astrología y la alquimia, pero rechaza el saber ajeno al control público de la experiencia, como sería el de un *individuo iluminado*. A la genialidad incontrolada, opone Bacon una comunidad científica, que actúa según reglas conocidas y aceptadas por todos.

1.3. La revolución astronómica

La revolución astronómica jugó un papel preponderante en la revolución científica. A continuación resumimos las aportaciones más señaladas de sus principales protagonistas.

Nicolás Copérnico nació en Torún, Polonia. Estudió en Cracovia, Bolonia (1496), Roma (1499-1500), se doctoró en Ferrara en derecho canónico y cursó medicina en Padua (1503-1506). Pasó algunos años con su tío, obispo de Emerland, en Heilsberg. En 1512 se retiró

³ Ver A. Koiré, *La rivoluzione astronomica: Copernico, Keplero, Borelli* (Milán 1966).

a Frauenberg, donde fue canónigo, y reunió una copiosa biblioteca. Hacia 1506 empezó a entrever la idea de un nuevo sistema astronómico, que expuso en su obra *De revolutionibus orbium caelestium*⁴, acabada en 1530, pero que no se publicó hasta 1543 en Nürenberg, poco antes de morir el autor. Frente a la complicada astronomía geométrica de Ptolomeo, Copérnico basaba su teoría heliocéntrica en el principio de la sencillez y economía que debe regir la naturaleza. En el libro I, capítulo X, escribe:

En medio de todo reside el sol. ¿Quién podría colocar esta lámpara en otro lugar mejor, en este bellissimo templo, para que pudiera iluminarlo por completo? Así, pues, con razón unos lo llaman lámpara, otros mente, otros rector del mundo. Trimegestos la llama Dios visible, Sófocles, en Electra, el que todo lo ve. Así, en efecto, como sentado en un solio real, gobierna la familia de los astros que le rodean.

Ponía el sol fijo en medio, y como centro del sistema planetario. En torno al sol giraban la tierra y demás planetas, describiendo órbitas circulares, al mismo tiempo que giraban sobre sus ejes. Ante tal revolución astronómica, Copérnico tuvo sus dudas, y así se lo manifiesta al Papa Pablo III en el prefacio del libro:

Considerando, pues, conmigo mismo el desprecio que debería temer a causa de la novedad y lo absurdo de mi opinión, casi me empujaron a interrumpir la obra ya organizada. Pero los amigos me hicieron cambiar de opinión, a mí que durante tanto tiempo dudaba y me resistía. Entre ellos fue el primero Nicolás Schönberg, cardenal de Capua, célebre en todo saber. Próximo a él estuvo mi muy querido e insigne Tiedemann Giese, obispo de Culm, estudiosísimo de las letras sagradas, así como también del buen saber. Este me exhortó muchas veces y, añadiendo con frecuencia los reproches, insistió para que publicara este libro y le dejara salir a la luz, pues retenido por mí

⁴ Nicolás Copérnico, *Sobre las revoluciones de los orbes celestes*. Ed. preparada por Carlos Mínguez Pérez (Madrid 1982).

*había estado en silencio, no sólo nueve años, sino cuatro veces nueve*⁵.

De hecho, antes de la publicación del *De Revolutionibus*, había hecho circular entre sus amigos un opúsculo resumen de su obra, con el título de *Commentariolus*. Copérnico sabía que se había “atrevido a ir en contra de la opinión establecida de los matemáticos y del sentido común mismo”⁶.

Entre los que no aceptaron la teoría heliocéntrica estuvo el danés **Tycho Brahe**, nacido en 1546, tres años después de la muerte de Copérnico. Murió en 1601. Tycho Brahe fue un virtuoso de la observación astronómica, protegido por Federico II de Dinamarca. De él es esta frase: “Ya no es válida la ‘vieja distribución ptolemaica’ ni ‘la moderna innovación introducida por el gran Copérnico’”. Propuso, en consecuencia, un sistema que modificaba el de Ptolomeo. Según él, la tierra se halla en el centro del universo, que está en el centro de las órbitas del sol, de la luna y de las estrellas fijas; el sol, en cambio, está en el centro de las órbitas de los cinco planetas. Este sistema no convenció ni a Kepler ni a Galileo.

Juan Kepler nació en Weil, cerca de Stuttgart. Estudió en Tubinga con Miguel Maestlin, quien le dio a conocer el sistema de Copérnico (1589-1594). Enseñó matemáticas y moral en Gratz (1594-1600). Fue ayudante y colaborador de Tycho Brahe. A la muerte de éste, le sucede como matemático imperial al servicio de Rodolfo II, con el encargo de construir las *Tablas rudolfinas*. En 1604 publica *Ad Vitellionem paralipomena*, una obra de óptica geométrica, que señala una fecha importante en la historia de la ciencia. En 1609 aparece la *Astronomía nueva*, dedicada a Rodolfo II. Un año después entrega Galileo a la imprenta *Sidereus Nuncius* y envía un ejemplar a Kepler. Este responde con su *Disertatio cum Nuncio Sidereo*, en donde manifiesta sus dudas sobre la existencia de los satélites de Júpiter. Ante la campaña contraria al anteojo de Galileo, considerado por Martín Horky y Antonio Magini como objeto típico de los “viles

⁵ Ibid.

⁶ Ibid.

mecánicos” e indigno de los “filósofos”, Kepler escribe la *Dióptrica*, o “demostración de aquellas cosas, antes nunca vistas por nadie, que se observan por el anteojo”⁷. La *Dióptrica*, escribe Kepler, es importante porque ensancha las fronteras de la filosofía. En ella encontramos estas palabras:

*El sabio tubo óptico es tan precioso como un cetro: quien observa a través de él se convierte en rey y puede comprender la obra de Dios. A él se aplican las palabras: "sometes a la inteligencia humana, los confines del cielo y el camino de los astros" [...] Puede afirmarse, sin duda, que la Dióptrica constituye el inicio y el fundamento de una ciencia óptica capaz de explicar el funcionamiento de las lentes y de sus diversas combinaciones, del tipo de las utilizadas en el anteojo galileano, también llamado "astronómico"*⁸.

En 1613 Kepler entregaba a la imprenta su *Nova stereometria doliorum vinariorum* en donde estudiaba cómo determinar el contenido de los toneles de vino. Kepler creía en la armonía del mundo, por eso no podía apreciar el sistema de Tycho Brahe escasamente armónico. Creía que la naturaleza se hallaba ordenada por reglas matemáticas, que el científico debe descubrir. Con esta filosofía ataca el problema de las irregularidades observadas en el movimiento de Marte, que ni Ptolomeo, ni Copérnico, ni Tycho Brahe habían logrado explicar. Así llegó, conducido por una fuerza imaginativa sin igual, a descubrir que los planetas se movían en órbitas elípticas. Fue un descubrimiento sensacional, que acabó con la naturalidad y perfección en que se tenía al movimiento circular. Siguiendo este camino obtuvo la formulación de las famosas leyes de Kepler. Las dos primeras fueron expuestas en el *Epitome astronomiae copernicanae*, en 1618, y la tercera, en *Harmonices mundi libri V*, última obra importante de Kepler, impresa en Augsburgo en los primeros meses de 1619.

⁷ J. Kepler, *Opera omnia* (Francfort 1858-71).

⁸ Ibid.

El acto final de la fecunda vida de Kepler son las *Tablas rudolfinas*, que aparecen a finales de 1627. Contienen tablas de logaritmos, tablas para calcular la refracción y un catálogo de 777 estrellas que Tycho Brahe había observado, y cuya cifra se eleva a 1005 al añadir las observadas por el propio Kepler. Gracias a estas tablas, durante más de un siglo, pudieron los astrónomos calcular, con bastante exactitud, las posiciones de la tierra y planetas. Kepler murió durante un viaje a Ratisbona, donde iba para cobrar una deuda a cargo de Albrecht, duque de Friedland, el 15 de noviembre de 1630. Tenía 59 años de edad.

Galileo Galilei nació en Pisa en 1564. Estudió en su ciudad natal y dicese que al contemplar la oscilación de una lámpara de la catedral descubrió las leyes del péndulo. Pasó a Florencia, donde se dedicó al estudio de las obras de Arquímedes. Con este estudio se relacionan sus investigaciones sobre el procedimiento para determinar el peso específico de los cuerpos. En 1591 obtuvo la cátedra de matemáticas de Padua, que regentó durante 18 años. A esta época corresponden sus investigaciones más importantes: leyes del movimiento (*leyes de Galileo*), termoscopio, compás proporcional y la construcción de un telescopio, a imitación de otro inventado en Holanda, que utilizó en el descubrimiento de las agrupaciones estelares de la Vía Láctea en 1609. Ese mismo año fue llamado a la corte del gran duque de Florencia para que continuase allí sus observaciones, que culminaron con el descubrimiento de diversas propiedades de los planetas. En 1613 escribió sus cartas acerca de las manchas solares, defendiendo abiertamente la doctrina de Copérnico, lo que incitó contra él a sus enemigos. En carta al padre Castelli dice que la *letra de la Biblia no podía ser, en modo alguno, un obstáculo a la investigación científica*. Una copia de esta carta cayó en manos de los dominicos y dio lugar a ataques violentos contra Galileo; en 1615 el padre Lorini la denunció a la Inquisición Romana. En febrero de 1616 la doctrina del movimiento de la Tierra fue declarada necia y absurda desde el punto de vista filosófico y en parte formalmente herética por 11 calificadores del Santo Oficio. El cardenal Belarmino recibió del Papa el

encargo de amonestar a Galileo y exhortarle a renunciar a la doctrina de Copérnico, con la advertencia que si Galileo se negase a ello, le intimase, ante notario y testigos, a que desistiera de exponer, defender y explicar tales opiniones, y que si no se avenía a ello, se le encarcelase. En sesión del Santo Oficio, celebrada en marzo de 1616 se dice: "El cardenal Belarmino manifestó que se había intimado al matemático Galileo Galilei a abjurar de la opinión hasta entonces por él sustentada, según la cual el Sol era el centro del firmamento y estaba fijo y que, por el contrario, la Tierra se movía, y que él se había negado a abjurar". A primeros de junio Galileo volvió a Florencia, donde vivió algunos años retirado en su villa de Bellosguardo, hasta que un ataque del jesuita Grassi le obligó a romper el silencio. En 1623 publicó un artículo de controversia dirigido al Papa, titulado *Il sagggiatore*, que pulverizó a sus adversarios. Este éxito y la elevación al solio pontificio de su protector el cardenal Barberini, que tomó el nombre de Urbano VIII, alentaron a Galileo a hacer una detenida e inteligible exposición de la doctrina copernicana, que le ocupó seis años y que tituló: *Diálogo di Galileo Galilei dove nei congressi di quattro giornate si discorre sopra i due massimi sistemi del mondo; proponendo indeterminatamente le ragioni filosofiche e naturali tanto per l'una quanto per l'altra parte*. En 1630 partió Galileo a Roma para someter su escrito al Santo Oficio. Dos años más tarde logró el imprimatur, publicándose finalmente. Sus enemigos no cejaron y convencieron al Papa de que el libro contenía un serio peligro para la Iglesia católica y de que él mismo, al que Galileo había dado el mote de Simplicius, porque defendía la antigua teoría, era objeto de burla. El Pontífice nombró una comisión investigadora que señaló algunas faltas y declaró que "todas aquellas cosas podían corregirse, teniendo en cuenta que el libro podía ser de alguna utilidad". Este dictamen no se tuvo en cuenta, por el contrario se acusó a Galileo de haber violado la prohibición señalada en el proceso de 1616, "de no defender de palabra o por escrito" la mencionada teoría. La Inquisición incoó proceso contra él. Galileo, a pesar de la enérgica protesta del duque de Toscana, fue llamado a Roma en febrero de 1633 y, tras un pro-

ceso que duró hasta mediados de junio, fue condenado en sentencia que se le comunicó el 22 del mismo mes. Galileo hubo de abjurar solemnemente de las opiniones copernicanas. El que Galileo, luego de abjurar, golpease el suelo con los pies y gritase: *Eppur si muove*, es una conseja propalada con posterioridad. Galileo fue condenado a la pena de cárcel, pero sólo estuvo en el edificio de la Inquisición hasta el 24 de junio; después se le señaló como vivienda la villa Medici en Roma, perteneciente al duque de Toscana. A mediados de julio pudo salir para Siena, donde le recibió amigablemente el arzobispo Ascanio Piccolomini, y en diciembre pudo regresar a su villa de Arcetri, aunque siguió vigilado por la Inquisición. Murió en 1642. Fue enterrado en la capilla del Noviciado de Florencia. En 1737 se trasladaron sus restos a la iglesia de Santa Croce y se le erigió un suntuoso monumento.

Galileo mantiene que además de la Biblia existe el libro de la naturaleza y que hay que saber leer en él. Para realizar esa lectura le sirvió mucho su telescopio. Por él pudo contemplar innumerables estrellas, jamás vistas antes; “que la luna no se halla revestida de superficie plana y lisa, sino escarpada y desigual, con valles profundos y anfractuosidades”, lo que destruye la distinción entre cuerpos celestes y cuerpos terrestres; que la galaxia no es “otra cosa que una acumulación de innumerables estrellas, diseminadas en grupos”; que las nebulosas son “rebaños de pequeñas estrellas”; le permitió “revelar y divulgar cuatro planetas, que desde los orígenes del mundo jamás habían sido vistos”. Este descubrimiento ofreció a Galileo la inesperada visión en el cielo de un modelo, a escala reducida, del universo copernicano. Al propio tiempo que se obtienen confirmaciones de la teoría de Copérnico, se resquebraja la concepción del mundo aristotélico. Galileo, contra Aristóteles y Ptolomeo, puede sostener que no existe diferencia *de naturaleza* entre la Tierra y la Luna.

La ciencia de Galileo es la ciencia de un realista. Galileo es realista como Copérnico. No razona como un matemático, sino como un físico; se consideraba más filósofo (esto es, físico) que matemático.

En otras palabras, en opinión de Galileo la ciencia no es un conjunto de instrumentos de cálculo útiles con miras a la previsión. Consiste, por el contrario, en una descripción verdadera de la realidad: nos dice "cómo va el cielo". Galileo ve claramente la misión de la matemática como instrumento; instrumento que sirve para crear modelos de la realidad, pero no para representar la realidad. Esta concepción realista de la ciencia es la raíz más profunda y auténtica del enfrentamiento entre Galileo y la Iglesia.

En nuestra opinión, la ciencia no puede ofrecernos una descripción verdadera de la realidad, sólo puede llegar hasta los objetos (carácter objetivo) con la condición de establecer una distinción fundamental entre las cualidades objetivas y subjetivas de los cuerpos. En otras palabras, la ciencia debe limitarse a describir las cualidades objetivas de los cuerpos, cuantitativas y conmensurables (públicamente controlables), excluyendo de sí misma al hombre, esto es, las cualidades subjetivas. Los colores, los olores, los sabores, etc., son cualidades subjetivas; no existen en el objeto, sino únicamente en el sujeto que siente. La ciencia tampoco pretende "determinar la esencia verdadera e intrínseca de las sustancias naturales". La ciencia es, pues, conocimiento objetivo, conocimiento de las cualidades objetivas de los cuerpos: y éstas son cualidades cuantitativamente determinables, esto es, medibles. Es un redescubrimiento del lenguaje del libro de la Naturaleza, libro "escrito en lengua matemática".

Como consecuencia de esta limitación a las cualidades objetivas o primarias de los cuerpos, a sus cualidades geométricas y mensurables, se deriva una serie de consecuencias: se excluye al hombre del universo investigado por la física; se excluye un cosmos de cosas y de objetos ordenados y jerarquizados en función del hombre; se excluye la indagación cualitativa en favor de la cuantitativa; se eliminan las causas finales en favor de las causas mecánicas y eficientes. Dicho en pocas palabras: el mundo descrito por la física de Galileo ya no es el de la física de Aristóteles. El universo determinista y mecanicista de Galileo ya no es el universo antropocéntrico de Aristóteles y la tradición.

1.3.1. Comentario al caso Galileo

La Iglesia se embarcó algunas veces en la aventura de oponer su propia explicación del mundo físico a la que presentaba la ciencia, y esa oposición llevaba ya en sí misma implícita la derrota. Lo que enseña la religión es inmutable en lo esencial, y lo que enseña la ciencia es esencialmente mudable. La ciencia lleva implícito el progreso, y este progreso se basa en formular hipótesis que los hechos se han de encargarse de contrastar. Estas hipótesis tienden a hacerse más y más universales, sin que se pueda nunca asegurar su veracidad absoluta. La religión no puede entrar en ese juego. La Iglesia, sobre todo después del concilio Vaticano II, ha tomado buena cuenta del esmerado cuidado con que han de tratarse las cuestiones científicas, máxime cuando rozan cuestiones teológicas. Una prueba de ello, lo tenemos en las encíclicas y declaraciones de los últimos Papas. En las actas de la *Conferencia internacional sobre las relaciones entre la ciencia y la teología*, organizada por el Observatorio Vaticano, se puede leer⁹:

La ciencia puede purificar la religión del error y de la superstición; la religión puede purificar a la ciencia de la idolatría y de falsos absolutos [...] ni la teología debe profesar una pseudo-ciencia, ni la ciencia debe llegar a ser una inconsciente teología.

Estas palabras son perfectamente entendibles con la mentalidad actual, pero no lo hubieran sido en los tiempos de la revolución científica. El grave error de aquella época era considerar a la Biblia, no sólo como un libro moral, sino también como un libro científico. Un ejemplo palpable de este error es el caso Galileo. Hemos dicho que Galileo postula una ciencia autónoma de la fe, pero pide, además, que sea algo distinto del saber dogmático representado por la tradición aristotélica. Esto no quiere decir que para Galileo la tradición resulte negativa como “tradición”. Es negativa cuando se erige en dogma, en dogma incontrolable que pretende ser intocable. Escribe:

⁹ R. J. Russell y otros, *Physics, philosophy and theology. A common quest for understanding* (Ciudad del Vaticano 1988).

Tampoco digo que no haya que escuchar a Aristóteles, por el contrario, alabo que se le oiga y se le estudie con diligencia, sólo critico el que se suscriba a ciegas todo lo que él ha dicho y, sin buscar ninguna otra razón, se lo tome como decreto inviolable; lo cual constituye un abuso que sigue a otro extremo de desorden y que consiste en dejar de esforzarse por entender la fuerza de sus demostraciones.

La elaboración que formula Galileo con respecto a la frontera entre proposiciones científicas y proposiciones de fe reclama la autonomía de los conocimientos científicos. Esta autonomía de las ciencias en relación con las Sagradas Escrituras halla justificación en el principio (que Galileo, en carta a Cristina de Lorena, gran duquesa de Toscana, en 1615, declara haberle oído al cardenal Baronio) según el cual *la intención del Espíritu Santo consiste en enseñarnos cómo se va al cielo, y no cómo va el cielo*. Según Galileo, Dios nos ha dado sentidos, razonamiento e intelecto: es por medio de ellos como podemos llegar a aquellas *conclusiones naturales que se pueden obtener "a través de sensatas experiencias o de las demostraciones necesarias"*. "Considero -dice- que la autoridad de las Letras Sagradas tiene como propósito enseñar, principalmente a los hombres, aquellos artículos y proposiciones que, superando cualquier razonamiento humano, no podían hacérsenos creíbles mediante otra ciencia o por ningún otro medio que no fuese por boca del Espíritu Santo mismo". Más aún, la ciencia debe emplearse para interpretar algunos pasajes de la escritura. En opinión de Galileo, la ciencia y la fe son imposibles de comparar. Sin embargo, son compatibles, a pesar de ser incomparables.

Hay que señalar que basados en las palabras del Eclesiastés (1, 4-5): *La tierra permanece siempre en su lugar, y el sol se eleva y se pone, volviendo al lugar desde donde se había alzado*, Lutero, Calvino y Melanchton se opusieron con gran fuerza a la tesis de Co-

pérnico. Lutero en una de sus *Charlas de sobremesa* (1539)¹⁰, había afirmado:

La gente ha prestado oídos a un astrólogo de morondanga, que ha tratado de demostrar que es la tierra la que gira, y no los cielos y el firmamento, el sol y la luna [...]. Este insensato pretende echar abajo toda la ciencia astronómica; pero la Sagrada Escritura nos dice que Josué ordenó al sol, y no a la tierra que se detuviera.

Ya hemos señalado el grave error de atribuir a los contenidos de la Biblia un valor científico.

1.3.2. El método científico de Galileo

En la carta a Cristina de Lorena escribe Galileo: “Me parece que en las disputas acerca de problemas naturales no habría que comenzar por la autoridad de los pasajes de las Escrituras, sino por las experiencias sensibles y las demostraciones necesarias”. En esta frase se halla el núcleo esencial del método científico según Galileo. La ciencia avanza siguiendo una trayectoria definida, comprueba y funda sus teorías a través de las reglas que constituyen el método científico. En opinión de Galileo este método consiste en las experiencias sensibles, esto es, que caen bajo el dominio de los sentidos, y en las demostraciones necesarias. Las demostraciones necesarias son las argumentaciones en las que partiendo de una hipótesis (*ex suppositione*), se deducen con rigor aquellas consecuencias que luego han de darse en la realidad. En la interpretación que se hace del método de Galileo hay criterios muy diversos por parte de los especialistas. Desde los que ven en las experiencias sensibles y en las demostraciones ciertas una especie de antítesis entre experiencia y razón a los que consideran que no se da tal antítesis, y sostienen, de manera más acertada, que en esa contraposición Galileo expresa su plena conciencia de que es imposible confundir deducción matemática con demostración física. No falta quien dice que, según su

¹⁰ G. Reale y D. Antiseri, *Historia del pensamiento filosófico y científico* (Barcelona 1992).

conveniencia, en cada momento, Galileo utiliza alternativamente y sin ningún prejuicio tanto el método inductivo como el deductivo. A nuestro modesto parecer, las experiencias sensibles y las demostraciones constituyen dos ingredientes que se implican recíprocamente y que juntos configuran la experiencia científica. La experiencia científica se basa en el experimento, constituido por teorías que instituyen hechos y por hechos que controlan las teorías. Esta es la gran idea de Galileo. "El experimento –escribe–, es un metódico interrogar a la naturaleza, que presupone y exige un lenguaje en el que se formulan las preguntas y un vocabulario que nos permite leer e interpretar las respuestas". Según Galileo "hay que consultar a la naturaleza y recibir sus respuestas mediante curvas, círculos, triángulos, en un lenguaje matemático o, más precisamente, geométrico, no en el lenguaje del sentido común ni en el de los símbolos". En resumen: el método de Galileo es una síntesis muy adecuada de observación organizada y de razonamiento riguroso.

1.4. Los "Principia" de Newton

Galileo murió el 8 de enero de 1642. Ese mismo año, el día de Navidad, nació en Woolsthorpe, en el Lincolnshire, Isaac Newton. En 1661, después de una adolescencia no muy halagüeña, ingresó en el Trinity College de Cambridge. Aquí tuvo por profesor de matemáticas a Isaac Barrow, quien se dio cuenta enseguida de la gran inteligencia de su discípulo, que en breve tiempo había llegado a dominar lo más esencial de la matemática de la época. Al final de sus estudios en el Trinity, Newton había llegado al cálculo de las *fluxiones*, esto es, al *cálculo infinitesimal*, y lo utilizó para solucionar algunos problemas de geometría analítica. En 1665-66, Newton, al igual que otros muchos profesores y alumnos, abandonó Cambridge a causa de la peste y volvió a Woolsthorpe a reflexionar en la pequeña casa de piedra, aislada en un extenso territorio. Allí tuvo la idea de la gravitación universal, mientras meditaba sobre la caída de una manzana desde un árbol, bajo el cual estaba reposando, según versión de su sobrina, contada por Voltaire. Se dedicó a estudios de óptica, que continuó luego a

su regreso a Cambridge, lo que le permitió construir un telescopio reflector. En 1669 pasó Barrow a la cátedra de teología y cedió la de matemáticas al joven Newton. Éste llevó a cabo experimentos sobre la descomposición de la luz blanca a través de un prisma, redactando una memoria para la Royal Society, que le admitió entre sus miembros. Tras las medidas de la Tierra realizadas por Picard, rehizo sus cálculos sobre la gravitación, y la idea primera se transformó en una teoría. Cuando el astrónomo Halley preguntó a Newton cuál sería la órbita de un planeta atraído por el Sol, éste le contestó: una elipse. Lleno de alegría, Halley le replicó que cómo lo sabía. Newton le contestó que porque había hecho los cálculos. Al pedirle Halley esos cálculos, Newton escribió el opúsculo *De motu corporum*. Al leerlo Halley le animó a escribir la que se considera la obra maestra más importante de la historia de la ciencia, los *Philosophiæ naturalis principia mathematica*. En ella se ofrece una demostración matemática de la hipótesis copernicana tal como la propone Kepler. El mismo Halley se encargó de publicar la obra. Como consecuencia de esta publicación se desencadenó una gran controversia con Hooke que reclamaba la prioridad en el descubrimiento de la ley de la fuerza de la gravedad inversamente proporcional al cuadrado de la distancia. El conflicto se apaciguó más tarde incluyendo una nota en la que constaba que la 'ley del inverso del cuadrado de la distancia' había sido propuesta antes por Wren, Hooke y Halley. Los *Principia* aparecieron en 1687. En ellos Newton formuló la ley de la gravitación universal, partiendo de las leyes de Kepler sobre el movimiento de los planetas y de las de la caída de los cuerpos formuladas por Galileo, extendiéndolas a todo el universo. Todos los cuerpos se atraen mutuamente. Newton se limita a señalar el hecho, pero no quiere mezclar lo cierto con lo incierto y no considera la gravitación como propiedad esencial de los cuerpos a la manera de la inercia. Dos años después, Newton fue elegido diputado en representación de la Universidad de Cambridge. Durante este periodo conoció a John Locke, con el que trabó una amistad sólida y sincera. Prosiguió sus estudios sobre cálculo infinitesimal y se interesó vivamente por la química partiendo de donde

la había dejado Boyle. No obstante, su laboratorio, junto con sus apuntes, pereció en un incendio. Esto, añadido al agotamiento que padecía, provocó en Newton una crisis rayana en la locura, de la cual nunca curó del todo. A partir de este momento se acaba la historia del científico Newton. Se dedica a publicar sus obras inéditas y a perfeccionar las ya publicadas. Empieza su prestigiosa carrera política. En 1696 fue nombrado director de la Casa de la Moneda de Londres; tres años más tarde llegó a gobernador de la misma. En 1703 fue elegido presidente de la Royal Society. En 1704 publicó su *Optica*, en 1713 la segunda edición de los *Principia* y en 1717 la segunda edición de la *Optica*. En 1727 acude desde Kensington a presidir una sesión de la Royal Society. Al regresar a casa se sintió muy mal. No logró superar la crisis y falleció el 20 de marzo de 1727. Fue sepultado en la Abadía de Westminster.

Al principio del libro III de los *Principia*, establece Newton cuatro reglas del razonamiento científico. Se trata de reglas metodológicas, pero, como ocurre en toda metodología, presuponen y se hallan mezcladas con cuestiones de orden metafísico sobre la naturaleza y sobre la estructura del universo. Son éstas: a) "No debemos admitir más causas de las cosas naturales que aquellas que sean al mismo tiempo verdaderas y suficientes para explicar sus apariencias". Es el postulado de la simplicidad de la naturaleza. b) "A los mismos efectos debemos asignar las mismas consecuencias". Es el postulado de uniformidad en la naturaleza. c) "Las cualidades de los cuerpos que no admiten aumento ni disminución de grado y que se encuentran en todos los cuerpos pertenecientes al ámbito de nuestros experimentos, deben ser consideradas como cualidades universales de todos los cuerpos". Esta regla está relacionada con los postulados de simplicidad y uniformidad de la naturaleza, que son los pilares que rigen la metodología de Newton. d) "En la filosofía experimental las proposiciones inferidas por inducción general desde los fenómenos deben ser consideradas como estrictamente verdaderas, o como muy próximas a la verdad, a pesar de las hipótesis contrarias que

puedan imaginarse, hasta que se verifiquen otros fenómenos que las conviertan en más exactas todavía, o bien se transformen en excepcionales”. Newton consolida definitivamente el método de las ciencias, como contrapuesto a la metafísica. Su punto de partida es el cartesianismo. Estudió los *Principia*, la *Dióptrica* y la *Geometría* de Descartes, pero se separa de él prescindiendo de sus elementos más o menos imaginativos, y ateniéndose de modo más riguroso al método experimental. Las únicas fuentes de conocimiento son la experiencia y las observaciones, la medida y el cálculo. Dentro de esta filosofía, las proposiciones particulares son inferidas de los fenómenos y luego generalizadas por la inducción. Así fueron descubiertas la impenetrabilidad, la movilidad, la fuerza impulsiva de los cuerpos y las leyes del movimiento y gravitación. Con todo, Newton no es materialista ni fenomenista. Escribe en su *Optica*¹¹:

El principal oficio de la filosofía natural es argüir de los fenómenos sin inventar hipótesis, y deducir las causas de los efectos hasta llegar a una verdadera primera causa, la cual ciertamente no es mecánica.

“Hypotheses non fingo” es la célebre sentencia metodológica de Newton, que se cita de ordinario como irreversible llamada a los hechos y como decidida y justificada condena de las hipótesis o conjeturas. Sin embargo, es evidente que Newton también formuló hipótesis, hipótesis que explican por qué la manzana cae al suelo y por qué la Luna no cae sobre la Tierra; hipótesis que comprobó. Si esto es así, ¿qué quería decir Newton cuando afirmaba “no inventar hipótesis”? Ésta es la respuesta del mismo Newton¹²:

No invento hipótesis; en efecto, todo lo que se deduce a partir de los fenómenos, debe ser llamado ‘hipótesis’; y las hipótesis, tanto metafísicas como físicas, ya versen sobre cualidades ocultas o mecánicas, no pueden ocupar un lugar en la filosofía experimental. En tal filosofía, se deducen proposiciones particulares a partir de los fenómenos, y a

¹¹ Isaac Newton, *Opticks* (Londres 1717)

¹² Isaac Newton, *El sistema del mundo* (Madrid 1982)

continuación se vuelven generales mediante la inducción. Para nosotros es suficiente con que la gravedad exista de hecho y actúe según las leyes que hemos expuesto, y esté en condiciones de dar cuenta con amplitud de todos los movimientos de los cuerpos celestes y de nuestro mar.

Al físico le basta conocer que existe la gravedad, que explica los movimientos de los cuerpos y que sirve para prever sus posiciones futuras. Cuál sea la causa de la gravedad es cuestión que rebasa el ámbito de la observación y del experimento y, por lo tanto, está fuera de la filosofía experimental. Newton no quiere perderse en conjeturas metafísicas incontrolables. Tal es el sentido de su expresión *hypotheses non fingo*.

Newton descubrió el cálculo integral (cálculo de las fluxiones) y el binomio que lleva su nombre. Fue hacia 1673 (la fecha es interesante para aclarar la famosa disputa con Leibniz sobre prioridad en la invención del cálculo infinitesimal) cuando publicó el opúsculo *Methodus fluxionum et serierum infinitarum*, elaborado en los años de su estancia en el Trinity College. Contiene estudios sobre los infinitésimos, es decir, sobre las pequeñas variaciones de determinadas magnitudes, y sobre sus sumas, que luego serán llamadas *integrales*. Hacia 1687, al comienzo de los *Principia* publicó la primera síntesis del cálculo infinitesimal. Denomina su teoría: "*De las fluentes y de las fluxiones*". Esta teoría, en cuyo detalle no entramos, fue superada en aceptación por la de Leibniz.

1.5. Evolución del pensamiento filosófico ante la revolución científica

La revolución científica no sólo rechaza la cosmología aristotélica sino que, además, provoca un rechazo de las categorías, principios y pretensiones esencialistas de la filosofía de Aristóteles. La ciencia versa más bien sobre las cualidades de las cosas y de los acontecimientos objetivamente controlables y cuantificables. Pero esto no significa que los artífices de la revolución científica no estuvieran ligados al pasado. Hemos visto cómo en sus obras aparecen los vestigios de la mística hermética o neoplatónica. El neoplatonismo es la filosofía

que preside la revolución científica, y los pensadores más influyentes, desde distintas perspectivas, son Bacon y Descartes.

Francis Bacon ha sido considerado por algunos el filósofo de la era industrial. Como escribe B. Farrington¹³,

ningún otro en su época, y muy pocos durante los trescientos años siguientes, se ocuparon con tanta profundidad y claridad del problema planteado por la influencia que los descubrimientos científicos ejercen sobre la vida humana.

La historia de Bacon es la de una vida dedicada al desarrollo de una idea motriz: creer que todo saber debe concluir en resultados prácticos. En su tiempo, esa idea era novedosa. La ciencia debe ser aplicable a la industria; los hombres tienen el deber sagrado de organizarse para mejorar y transformar las condiciones de vida. Bacon sometió a revisión la cultura vigente en su tiempo. Se preguntó por qué esa cultura había producido tan escasos resultados prácticos y estudió la manera de corregir tal situación.

La obra básica de Bacon es el *Novum Organum*. En ella expone su método de investigación, que consta de dos partes. “La primera –escribe– consiste en extraer y hacer surgir los axiomas desde la experiencia, y la segunda, en deducir y derivar nuevos experimentos procedentes de los axiomas”¹⁴. Para abstraer los axiomas de la experiencia hay que seguir el camino de la inducción –añade Bacon–, “pero una inducción legítima y verdadera, que constituye la clave misma de la interpretación, y no la aristotélica que pasa muy velozmente sobre la experiencia y los casos particulares” · Bacon es autor de los “experimenta crucis”, muy en debate actualmente.

Bacon nació en Londres en 1561. Estudió en Cambridge y residió en el Trinity College hasta 1575. Fue Lord Guardasellos y Lord Canciller con Jacobo II. Su vida política fue muy azarosa. Murió el 9 de abril de 1626.

René Descartes es ante todo un temperamento matemático. Su gran preocupación es el orden, la sencillez, la claridad y distinción

¹³ B. Farrington, *F. Bacon, filósofo de la revolución industrial* (Madrid 1971).

¹⁴ F. Bacon, *Novum Organum*, trad. Orbis, (Barcelona 1984).

de las ideas. Su ideal es una filosofía clara, concreta y positiva, y esencialmente práctica, que sirva, según sus palabras, para “adquirir un conocimiento cierto y claro de todas las cosas que puedan ser a los hombres de alguna utilidad para su vida”. Por eso sus libros son poco voluminosos y de lectura aparentemente fácil. La certeza y exactitud de las Matemáticas se basan, según expone en sus *Cogitationes privatae*¹⁵, en que “versan acerca de un objeto tan simple y libre de toda incertidumbre que pueda provenir de la experiencia, y porque consisten nada más que en deducir consecuencias por la razón”.

Aunque admira el rigor del saber matemático, critica tanto la aritmética como la geometría tradicionales porque han sido elaboradas por procedimientos no subordinados a una dirección metodológica clara. Ante nuevos problemas nos vemos como desarmados y casi inducidos a empezar de nuevo por falta de un criterio rector que nos acompañe en la solución. Esta preocupación se acentúa en el período de sus famosos “sueños”, que refiere en sus *Cogitationes privatae*, con el hallazgo del fundamento de un “invento admirable”, el 10 de noviembre de 1619. Descartes cree que es necesario demostrar que las diferencias entre aritmética y geometría no son relevantes, porque ambas se inspiran, aunque de modo implícito, en el mismo método. A tal objeto convierte los problemas geométricos en algebraicos, mostrando su homogeneidad substancial. ¿Cómo hacerlo? A través de ese “invento admirable” que denomina geometría analítica, pero al que atribuye un alcance más amplio, en cuanto que el método matemático podría aplicarse a todas las realidades físicas, fijándose únicamente en su atributo esencial de la pura extensión cuantitativa. Así se lograría la unidad de las ciencias físicas. Descartes ensayó la aplicación de este método en el tratado *Le Monde*, que no publicó por haberse recientemente condenado a Galileo. Él mismo se convenció de que este método era inseguro debido a que la naturaleza física es una, mientras que las posibilidades de combinaciones matemáticas entre los conceptos abstractos de materia y extensión, figura y movimiento, son infinitas. Es, pues, necesario establecer hipótesis y elegir la que más se acomode a la realidad. Convencido de que

¹⁵ R. Descartes, *Obras filosóficas* (Madrid 1931).

la certeza y seguridad de las matemáticas provienen de su método deductivo, aplicado con rigurosidad, propuso extenderlo no sólo a la física, sino a todas las ciencias en general.

El núcleo central de la geometría analítica, que Descartes expone en el breve tratado *Géometrie* (1638)¹⁶, estaba ya en el ambiente. En la época de Descartes lo tenía *in mente* y lo aplicaba otro genial francés, un hombre de leyes que en sus horas de ocio se dedicaba a la matemática, Pierre Fermat. La idea sencilla, pero luminosa, de Descartes es representar un punto del plano mediante dos números, las conocidas coordenadas cartesianas, tomando como sistema de referencia dos ejes que se cortan en un punto, el origen de coordenadas. Si el origen en cuestión se desplaza sobre el plano, se genera una curva cuyas coordenadas satisfacen una ecuación, la "ecuación de la curva". Así, elementos fundamentales de la geometría se transforman en elementos fundamentales del análisis matemático. El procedimiento de Descartes permite partir de ecuaciones con cualquier grado de complejidad e interpretar geométricamente sus propiedades algebraicas y analíticas. Todo lo que hemos realizado en el plano puede aplicarse a un espacio de un número indeterminado de dimensiones. La geometría se hace de este modo real para más de tres dimensiones. Descartes se propuso, y logró, un doble objetivo: liberar a la geometría del recurso a figuras, por medio de los procedimientos algebraicos, y dar un significado a las operaciones del álgebra a través de una interpretación geométrica. El método de la coordenadas cartesianas ya no nos impresiona, porque en la actualidad es parte integrante de nuestro patrimonio. Sin embargo, en aquella época constituyó un acontecimiento de importancia decisiva.

El punto de partida de la filosofía cartesiana es la certeza de la existencia del propio yo pensante, el alma. Dice en sus *Meditaciones Metafísicas*¹⁷: "Veo claramente que no hay nada que sea más fácil de conocer que mi espíritu". A diferencia de todos los demás seres, el hombre es aquél en el que se encuentran a la vez dos sustancias radicalmente distintas entre sí, la *res cogitans* y la *res extensa*. Es

¹⁶ Op. cit.

¹⁷ Op. cit.

una especie de punto de encuentro entre dos mundos o, en términos tradicionales, entre alma y cuerpo... Descartes es rigurosamente mecanicista (en lo referente a la *res extensa*), y la existencia de cualquier principio vital, esté en el alma o no, es rechazada. Por otro lado, existe una unión íntima y substancial de alma y cuerpo, que permite que el alma mueva el cuerpo y las sensaciones corporales afecten al alma. En el Tratado del hombre¹⁸ Descartes escribe: "Es preciso saber que, aunque el alma esté unida a todo el cuerpo, existe en éste una parte en la que ejerce sus funciones de un modo más específico que en el resto". Se refiere a la glándula pineal, en la cual se establece la interacción entre alma y cuerpo.

2.5.1. La filosofía y la teología de Newton

Newton fue hombre profundamente creyente y religioso. Comentó el libro de Daniel y el Apocalipsis y se preocupó de formular una prueba de la existencia de Dios, partiendo del orden físico. A diferencia de Descartes no acude a pruebas metafísicas, sino a las basadas en la observación de la naturaleza física, fijándose en el orden y la armonía admirables que reinan en el universo. Pregunta en su *Optica*¹⁹: "¿De dónde viene el esplendor que brilla en el universo? ¿Con qué fin han sido creados los cometas? ¿De dónde proviene que el movimiento de los planetas tenga lugar siempre en el mismo sentido? ¿Qué es lo que impide a las estrellas fijas precipitarse unas sobre otras? ¿Cómo han sido formados de una manera tan artificiosa los cuerpos de los animales?" En sus *Principia*²⁰ escribe:

Este bellissimo sistema del sol, los planetas y los cometas, sólo puede haber surgido del consejo y del dominio de un Ser inteligente y poderoso [...] El origen de todas las cosas no puede atribuirse más que a la inteligencia y sabiduría de un ser poderoso, siempre existente, presente en todas partes, que ha podido ordenar conforme a su voluntad todas las partes del universo, mucho mejor que

¹⁸ Op.Cit.

¹⁹ Op.Cit.

²⁰ I. Newton, *Philosophiae naturalis principia mathematica* (Londres 1687).

nuestra alma puede, por un acto de su voluntad, mover los miembros del cuerpo que le está asociado.

El origen y la conservación del universo reclaman una causa infinitamente sabia, poderosa, que no puede ser otra que Dios. En cuanto a su conocimiento, escribe:

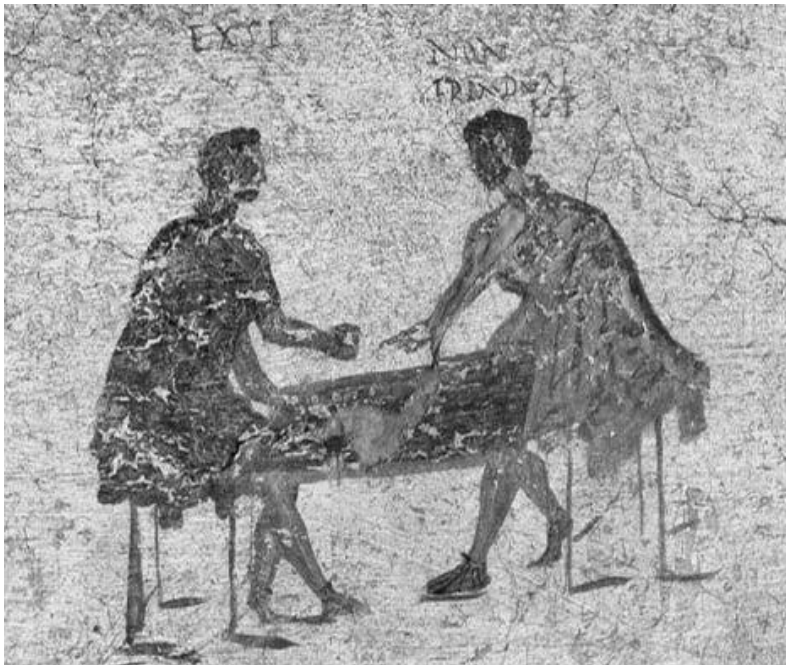
nosotros no podemos adquirir por los sentidos ni por la reflexión el conocimiento de las substancias, y menos todavía la noción de la substancia divina. Nosotros no conocemos a Dios más que por sus atributos, por la sapientísima y excelente economía del universo, o sea por las causas finales.

La idea teleológica de que el mundo ha debido ser diseñado con algún propósito, latía, pues, en el mecanicismo newtoniano. En los *Principia* escribe:

Un Dios sin dominio, sin providencia y sin causas finales, no es más que el hado o la naturaleza. Los atributos que de Dios podemos conocer son éstos: es un ser eterno, infinito, soberanamente perfecto, dueño de todas las cosas, viviente, inteligente, omnisciente y omnipotente.

A estos atributos añade Newton la *inmensidad*, por la cual está presente en todos los tiempos y lugares, y con ello relaciona su teoría del espacio, bajo la influencia del platónico Henry More. Newton había establecido el principio general de que no existe acción a distancia. Ningún agente puede obrar allí donde no está, bien sea mediata o inmediatamente. A esto responde en física su hipótesis del éter, fluido imponderable, casi espiritual, que llena el vacío y permite la transmisión del movimiento a través de los espacios donde no hay materia. Algo parecido ocurre en la acción de Dios respecto del mundo corpóreo. La acción de Dios guarda una analogía con las leyes de la naturaleza. Dios, por su ubicuidad, está presente a la vez en todos los lugares, y por el tiempo en todos los momentos.

Newton, introducido en Francia por Voltaire, será uno de los ídolos de la Ilustración francesa, llegando a desplazar a Descartes. Los ilustrados sentirán la fascinación de sus descubrimientos físicos, pero en cuanto a su religiosidad se contentarán con convertirla en un vago deísmo.



No podían imaginarse los antiguos jugadores de dados que su juego habría de ser objeto de tan profundos estudios en la Edad Moderna.

Cap. 2. El pensamiento en ambiente de incertidumbre

2.1. Introducción

M. Russell no parece estar muy satisfecho de lo que digo acerca de la probabilidad. Yo tampoco lo estoy, y sería muy feliz si M. Russell tuviera algo más satisfactorio que proponer (H. Poincaré).

Para juzgar lo que se debe hacer para obtener un bien o un mal, no basta con considerar el bien o mal en sí, sino también la probabilidad de que ocurran (Lógica de Port Royal).

Un nuevo modo de pensar ha penetrado durante este siglo en todos los sectores de la vida intelectual. Lo más característico de esta nueva línea de pensamiento es la creciente presencia de lo probable frente a lo determinado como cierto.

La concepción de un mundo indeterminista, frente al clásico determinismo, es asumida cada vez más por los hombres de ciencia, por los de los negocios y por los de la cultura. Numerosos mecanismos que actúan en genética, psicología, fisiología, sociología, y aun física, se separan de tal suerte de las previsiones deterministas que cabía esperar de ellos, que hacen necesario introducir un elemento que recoja esas desviaciones y cubra la brecha abierta por el azar en el mundo determinista. Este elemento es la probabilidad.

Desde el momento en que la metodología científica entrelaza elementos teóricos con hechos factuales, la validez empírica de las conclusiones vendrá afectada por un elemento de riesgo que lleva implícita la probabilidad. ¿Dónde iría a parar sin ella el mundo de la práctica? Por otra parte, Bonitzer¹ dice:

La teoría de la probabilidad se ha mostrado eficaz para resolver problemas propuestos en otros dominios de las matemáticas (teoría del potencial, etc.) más fácilmente y más elegantemente que como se haría sin ella.

La probabilidad es necesaria y su uso legítimo. La vida del hombre se caracteriza por la libertad y la indeterminación. La probabilidad le acompaña en todas sus actuaciones cotidianas, y esto se refleja en las denominaciones informales con que se designa. Formalmente se utiliza la probabilidad en la construcción de modelos de fenómenos aleatorios, de diseños de inferencia y decisión, en la enunciación y verificación de leyes científicas y en multitud de intentos por clarificar y construir procesos de previsión de naturaleza inductiva.

Esta variedad de usos ha motivado gran número de visiones distintas, tanto en su naturaleza como en los conceptos asociados a ella. Ha permitido mejorar nuestro conocimiento de la probabilidad antes de intentar definirla, idear posibles formalizaciones e interpretaciones con mayor fundamentación crítica, entender mejor su auténtico significado y las bases en que se asienta de cara a la fijación de objetivos.

La palabra probabilidad se ha apoderado del lenguaje común con sentidos diversos. Así, decimos “es probable que llueva”, por decir “es posible que llueva”. Pero no sólo empleamos *probabilidad* por *posibilidad*, sino que la usamos frecuentemente con significados tan variados como incertidumbre, aleatoriedad, verdad, esperanza, racionalidad, comparabilidad, inducción, predicción, etc. Así, cuando decimos “iré probablemente”, formulamos esperanza; “lucirá probablemente el sol”, expresa predicción; “es probable que hable valenciano, pues vive en Valencia”, expresa inducción; y así sucesivamente.

1 J. Bonitzer, *Philosophie du hasard* (París 1984).

El término *probabilidad* se encuentra desde antiguo en el lenguaje popular y en la ciencia primitiva, pero con un sentido que no corresponde al concepto hoy en vigor. Así por ejemplo, el probabilismo de Aristóteles y Santo Tomás se basaba en la opinión, no en el conocimiento, como uno de los modos posibles de “saber a qué atenerse”. Fue un anticipo de la probabilidad subjetiva de hoy, pero sólo en su aspecto cualitativo.

En este capítulo, hacemos una breve reseña del origen y evolución de los juegos de azar hasta el siglo XVII y cómo emergió, en parte debido a ellos, el concepto clásico de probabilidad. En el siguiente capítulo, intentamos analizar, desde el punto de vista semántico, la naturaleza, esto es, el qué de la probabilidad. En este análisis juega papel preponderante el uso, y abuso, que se hace de la probabilidad. No nos ocupamos del otro sentido de la misma, el sintáctico, o teórico, que ha sido desarrollado profusamente durante los últimos setenta años, dando lugar a teorías de alto nivel matemático.

2. 2. Los juegos de azar precursores de la probabilidad

Desde siempre el hombre distinguió entre sucesos que ocurrían con certeza y otros que acaecían con incertidumbre. Los primeros podían preverse, como la salida del sol todas las mañanas; los segundos, como tocarle a uno la lotería, eran fortuitos, no susceptibles de previsión con certeza, y podían acaecer o no. Entre los primeros, estaban los que podía controlar el hombre: aquéllos que eran designio de la inteligencia humana, que obedecían a causas conocidas inmutables o a una voluntad y fin perseguidos por la inteligencia. Entre los segundos, estaban aquéllos debidos al destino, o encadenamiento fatal de los acontecimientos, o a los Hados, dioses o fuerzas desconocidas que obran irresistiblemente sobre las otras divinidades y sobre los hombres y los eventos. Así, en las mitologías griega y romana era, según Hesíodo, la diosa Fortuna la que presidía los sucesos de la vida, distribuyendo ciegamente los bienes y los males.

Los hechos fortuitos eran atribuidos al acaso, al *azar*, y por eso se les llamó casuales o *azarosos*.

Afán de todos los tiempos fue descubrir los altos designios de los dioses, sobre todo a la hora de tomar decisiones, y crear un sistema mediante el cual la divinidad tuviera la oportunidad de manifestar su voluntad. En todos los cultos hubo varios ritos asignados al proceso de adivinación. Los horóscopos y todo tipo de augurios y vaticinios, han estado, y siguen estando, en cierto modo, al servicio de la superstición empeñada en descubrir las causas ocultas. Aparece así el azar, desde los primeros tiempos, asociado a la carencia de conocimiento, concepto que perdurará aún en ciertas concepciones científicas.

Hemos llegado así a una noción de azar puramente subjetiva, dependiente de la información que posee el sujeto acerca del acontecimiento. Esta idea del azar está involucrada en una concepción, a su vez, de todo el universo donde las leyes que lo rigen estarían previamente predeterminadas de tal modo que hay una relación directa de causa a efecto. La ciencia actual admite concepciones del mundo distintas a ésta, lo que conlleva estudiar el azar desde otras perspectivas, en particular, como algo que existe en la naturaleza, como algo propio de ella, ligado a su misma esencia.

Un caso, que conmovió la filosofía del azar, fue el descubrimiento de la radioactividad. En el otoño de 1895, Roentgen, profesor de física de Würzburg, descubrió accidentalmente los rayos X y demostró sus propiedades fundamentales. Este descubrimiento suscitó el estudio de otros fenómenos conectados con él, como la radiación emitida por cuerpos expuestos a la luz, o la emitida por cuerpos, como el uranio, incluso en la obscuridad, hallazgo debido a Henri Becquerel. Después de largos estudios, no exentos de polémicas, triunfó la tesis favorable al *carácter aleatorio* de la desintegración radioactiva. Los físicos han llegado a formular las leyes que rigen la presencia del azar en los cuerpos radioactivos. Estas leyes no obedecen a ninguna relación causal de corte determinista, sino a causalidad probabilística. La desintegración de un cuerpo radiactivo sigue una distribución probabilística, la llamada "distribución geométrica" uniparamétrica.

Otro ejemplo es la teoría cuántica, iniciada con una serie de formulaciones empíricas relativas a fenómenos de radiación térmica y fenómenos espectroscópicos, no explicables aparentemente por la teoría clásica de la radiación. Nos estamos refiriendo a la llamada "interpretación de Copenhague" (por residir allí sus principales sustentadores iniciales). Y otro ejemplo más, es el que acaece en el origen de la vida, donde se da una sabia combinación de ley y azar. Estos y otros casos, que ponen de manifiesto la existencia del azar en la naturaleza, pueden verse estudiados en nuestra obra *Filosofía de la probabilidad*².

Se trata aquí de una concepción de azar como algo absoluto, algo objetivo que está en la naturaleza misma de las cosas. En este concepto no sólo se silencia el desconocimiento de las condiciones iniciales que determinan la producción del suceso, sino que se afirma que no existen tales condiciones.

Esta acepción no es nueva; la idea fundamental subyace en la filosofía de Epicuro, en versión de Lucrecio³. Habla Lucrecio de la teoría epicúrea de los átomos, cuyas colisiones invisibles y rebotes ilustra con memorables analogías: maniobran -dice- y luchan como partículas de polvo vistas por un rayo del sol en una habitación oscura, pero su movimiento no es más visible a los sentidos que el movimiento de una oveja en una lejana colina. "Si esto es así -dirá más tarde Peirce⁴ - se debe a una determinación arbitraria del azar". Este autor, ya en pleno siglo XIX, concibió el mundo⁵ "no regulado estrictamente por las leyes newtonianas, sino dominado también por leyes de azar o de desorden: leyes de probabilidad estadística". El mundo se convertía así en un sistema trabado de nubes y relojes, de modo que aun los más perfectos relojes mostraran, en su estructura molecular, cierta grado de nubosidad.

² S. Gutiérrez Cabria, *Filosofía de la probabilidad*, Tirant lo Blanc (Valencia 1992).

³ T. Lucrecio, *De rerum natura*, The classical library. (Londres)

⁴ C. S. Peirce, *Collected Papers of Charles S. Peirce*, (Londres 1935).

⁵ Op. cit.

2.2.1. Juegos de azar en el mundo antiguo

La pretensión de descubrir los arcanos de los dioses, mediante la observación de hechos externos, condujo a la humanidad crédula, por un lado, a la superstición ya mencionada y, por otro, a la práctica de los juegos presididos por el azar. Los romanos creían descubrir el éxito o fracaso en las batallas observando el vuelo de las aves o el apetito de los gansos del capitolio, cuya dieta, por cierto, administraban los sacerdotes paganos, encargados de su custodia, según su propio provecho. Era costumbre también, en los oráculos, acudir al análisis de las vísceras del animal sacrificado a los dioses.

El propio Yahvé se acomoda a este sentir general del pueblo, y así, cuando los hijos de Israel se hicieron culpables de anatema, da órdenes a Josué sobre el modo que ha de emplear para detectar al culpable, dejándolo todo a merced de la *suerte* o azar. Así se cumplieron las órdenes dictadas:

Josué se levantó de madrugada, hizo avanzar a Israel y fue señalada por suerte la tribu de Judá. Hizo acercarse a los clanes y fue señalado por suerte el clan de Zare. Hizo acercarse al clan de Zare y fue designado Zabdi. Josué hizo acercarse a la familia de Zabdi por individuos y fue señalado por suerte Acán hijo de Carmi, hijo de Zabdi, hijo de Zare, de la tribu de Judá (Josué 7, 16-18).

Acán, así descubierto, reconoció de hecho su culpa y fue lapidado.

Que la consulta a los augures era práctica general en la antigüedad aparece también en este pasaje de Ezequiel:

Porque el rey de Babilonia se ha parado en el cruce de donde parten los dos caminos, augurando por el lanzamiento de las flechas, por la pregunta a los "terafín", por el examen de las entrañas. El augurio ha señalado la derecha, Jerusalén, para dar la orden de ataque, lanzar los gritos de guerra, alzar arietes contra sus puertas,

levantar terraplén y hacer vallado. Para ellos estos son presagios vanos, pues ha habido juramentos solemnes; pero él se acuerda de su iniquidad y serán cogidos en el lazo (Ezequiel 23,28).

En cuanto al *origen de los juegos de azar*, tenemos el clásico “problema del huevo y la gallina”. Existe polémica sobre si el juego inventado primero con fines puramente lúdicos, se utilizó luego con fines adivinatorios, o al revés. En lo que sí existe unanimidad, entre los antropólogos, es que hay muchas referencias en las historias sociales de tribus antiguas a la detección de la culpabilidad mediante artificios de azar, como la *extracción de palos o pajas* de distinta longitud (modo de salir de dudas que aun perdura con el conocido procedimiento de “echarlo a pajas”).

Los antiguos teutones empleaban el sistema de “loterías” en algunos de sus ritos religiosos, y la propia palabra *lotería* es de origen germánico.

La Iglesia católica condenó el sortilegio como reliquia del paganismo, aunque no logró desarraigarlo. En la *Crónica de Cambrai* se cuenta que disputándose el cuerpo de San Leger los obispos de Arras, Autun y Poitiers, se resolvió el pleito por sortilegio, recayendo la suerte en el de Poitiers.

El juego de “cara o cruz”, en cualquiera de sus particulares adaptaciones, fue uno de los más utilizados con fines adivinatorios, y lo es aún en algunas tribus africanas. Algunos pueblos usaron guijarros, otros nueces, granos, etc. Unos los lanzaban desde un cuerno de búfalo, otros por manos de sacerdotes. El hueso astrágalo, que ofrecía cuatro alternativas, estuvo muy en uso en los templos de Grecia y Roma, y la ceremonia se realizaba lo mismo que con los anteriores artificios de dos alternativas. Para la interpretación de los cuatro casos posibles se tenían en cuenta las tablas del oráculo.

Según L. A. Waddell –citado por F. N. David⁶– algunos de estos procedimientos fueron practicados por los lamas de Tíbet con el fin

⁶ F. N. David, *Games, Gods and Gambling* (Londres 1962).

de predecir la próxima etapa de reencarnación, dentro de la doctrina budista.

Tenemos vestigios de las antiguas culturas sumeria, babilónica y egipcia, de las que se han hallado en excavaciones huesos de ciervos, osos y otros mamíferos, especialmente pulidos para usos lúdicos, que se muestran en inscripciones de tumbas funerarias.

En cuanto al uso de los juegos de azar *como mera distracción* son abundantes los testimonios documentales. En vasos griegos pintados pueden apreciarse escenas en que en un círculo trazado sobre el suelo los jugadores lanzan astrágalos, algo así como el “juego de canicas” de nuestros niños de hoy. Es seguro que el astrágalo estaba en uso durante la Primera Dinastía de Egipto (3000 años a.C.). Hay numerosas pinturas en la tumbas egipcias que muestran diferentes juegos con este hueso. Algunos, como los jugados por los constructores de las pirámides, recuerdan al actual juego de damas.

Sobre la antigüedad y origen de estos juegos no hay nada establecido. Herodoto los atribuye a los griegos. Al hablar del hambre en Lidia, escribe en su historia⁷:

Los lidios tienen aproximadamente las mismas costumbres que los griegos [...]. Proclaman la invención de todos los juegos que les son comunes a los griegos [...]. En los días de Atis, hijo de Manes, hubo gran escasez en toda Lidia. Por algún tiempo llevaron los lidios la aflicción con paciencia, pero, al alargarse la carestía, intentaron poner remedios para evitar el mal. Se presentaron varios inventos: dados, bolas y toda clase de juegos [...]. El plan adoptado contra el hambre fue “enfangarse” en el juego todo el día de modo que no se sintiese ansiedad por la comida; y al día siguiente, comer y abstenerse de jugar. Así pasaron ocho años.

El testimonio es curioso y se observa que ya no se habla de tabas o astrágalos, sino de dados. Con todo la transición de la taba

⁷ Herodoto de H. (484-425 a. C.), *Historia de Herodoto de Halicarnaso* (Madrid 1846 y 1878).

al dado debió durar miles de años y es posible que el segundo fuera una derivación de la primera.

El hecho que queremos destacar es que los juegos de azar fueron conocidos por todas las civilizaciones de las que tenemos noticia; por eso es difícil señalar su origen, aunque su práctica debió ser grande. Entre los romanos fue tal que se consideró necesaria su prohibición, salvo en las fiestas saturnales. En la *Vida de Augusto*, por Suetonio⁸, se lee:

No tuvo el menor reparo por su reputación al practicar el juego y jugó francamente y abiertamente por distracción, aún cuando estaba entrado en años, no sólo en el mes de diciembre, sino también en otras fiestas y aun en días laborables. No hay duda acerca de esto, pues en una carta de su puño y letra dice: Yo comí, querido Tiberio, con la misma compañía, [...] jugamos como viejos amigos durante la comida ayer y hoy [...].

Como puede verse, las leyes no eran estrictamente observadas, aun por los que más obligados estaban a su cumplimiento. En la *Vida de Claudio*, por el propio Suetonio⁹, se afirma que este emperador fue tan aficionado a los dados que hasta llegó a escribir un libro acerca de ellos.

Hay una pregunta que surge siempre al estudiar la conducta del hombre frente al azar: ¿Por qué no se ha hallado ninguna referencia a la igualdad de probabilidades que ofrecen las caras del dado de aparecer cuando es lanzado? ¿Por que se utilizó la taba, indiscriminadamente, durante tanto tiempo, aunque no poseyera esta propiedad, y a pesar de la concepción geométrica ideal que tenían los griegos del cubo? ¿Por qué tardó tanto en aparecer la idea de frecuencia?

Se han dado muchas respuesta a estas preguntas, pero no totalmente satisfactorias. De algunas de ellas nos ocupamos al hablar

⁸ Suetonius, *The Twelve Caesars*, Penguin Londres.

⁹ Ibid.

de la “emergencia de la probabilidad” en nuestra obra *Filosofía de la Probabilidad*¹⁰. F. N. David¹¹ menciona dados de cerámica o tallados en piedra, que datan de 3.000 años a. C., encontrados en ruinas de templos, que presentan escaso sesgo, es decir, una regularidad en su construcción. Se piensa que pudieron ser los utilizados por los sacerdotes al interpretar los horóscopos, lo cual significaría cierta lucidez al apreciar que conducirían a obtener resultados más equitativos.

Una explicación que suele darse a las preguntas anteriores, es que tanto los sacerdotes como los filósofos griegos, y sus herederos los romanos, creían que eran los dioses los que controlaban la caída de los dados y astrágalos en los juegos de azar, si bien los romanos eran cautos con los presagios religiosos. Un contraejemplo lo encontramos en Cicerón. En el Libro II de *De Divinatione* escribe¹²:

Nada es tan impredecible como un lanzamiento de un dado, y todo hombre que juega a menudo obtendrá una vez u otra el resultado “Venus”: Ahora y en lo sucesivo lo logrará dos veces y aun tres veces en una sucesión. ¿Somos tan imbéciles, entonces, como para llegar a afirmar que tal cosa ha ocurrido por la intervención personal de Venus y no por puro azar?

Se ve claramente cómo Cicerón divorcia todos los pronósticos y adivinaciones de la interpretación que los atribuye a la voluntad de los dioses. Este atisbo de azar en Cicerón no prosperó en esta época, debido a la fuerte influencia helénica que se hacía sentir.

Con el advenimiento del cristianismo se rechazó rotundamente el azar. “Nada ocurre por azar, estando todo y en todo momento controlado por la voluntad de Dios”, escribe San Agustín. Si algo ocurre fortuitamente es a causa de la ignorancia de los hombres, pero no a la naturaleza de los acontecimientos. No se había descubierto aún la posibilidad de que haya “azar objetivo” en las leyes naturales, que se ha puesto de manifiesto en gran número de fenómenos que han revolucionado la ciencia moderna.

¹⁰ Op. cit.

¹¹ Op. cit.

¹² M. T. Cicerón, *The Complete Works of Cicero*, The Loeb Classical Library.

2.2.2. Juegos de azar en el Renacimiento

Durante toda la Edad Media y el Renacimiento se tuvo una idea definida de los conceptos de demostración, verosimilitud y opinión. La demostración era el único modo de conocer; lo verosímil (en el sentido de lo que puede suceder) y lo opinable, fueron objeto de la probabilidad. Pero fue ignorada la "evidencia inductiva" como inferencia de una cosa a partir de otra. En cambio, se consideró el valor informativo del "signo" de los hechos o de las cosas. La observación de los signos se contempló como la interpretación testimonial del mensaje de la naturaleza. Al fin del Renacimiento, el signo se transformó paulatinamente en la evidencia de las cosas. Esta nueva evidencia daba probabilidad a proposiciones, y la frecuencia de los signos autorizaba a llevar a cabo predicciones. Emergía así el doble carácter de la verdadera probabilidad, el epistémico y el empírico.

La eclosión de esta emergencia estuvo estimulada por dos factores principales: la necesidad de resolver algunos problemas económicos y, en particular, el reparto de las "apuestas" de un juego que debe interrumpirse antes de su culminación, y el desarrollo del álgebra y, sobre todo, de la teoría combinatoria. Este desarrollo tuvo sus impulsores.

La estimación quizá más antigua del número de resultados posibles que pueden obtenerse al lanzar tres dados, teniendo en cuenta el orden de aparición, es la contenida en el poema, en latín, *De Vetula*, incluido en algunas ediciones medievales de las obras de Ovidio y, por ello, atribuido a él, pero de autor desconocido. Hoy se cree, por muchos, que se debe a **Ricardo Fournival**, canciller de la catedral de Amiens. Si esto es así, debió escribirse entre 1220 y 1250. Contiene un largo pasaje en que trata de juegos en general, y dados en particular. Llega a la obtención de 216 casos posibles al lanzar tres dados, mediante una ordenada enumeración de los resultados¹³.

En el sexto canto del *Purgatorio* de Dante leemos:

Quando si parte il giuoco della zara

¹³ Cf. M. G. Kendall, *A note on playing cards*, *Biométrie*, 44, 260-62.

Colui che perde si riman dolente

Ripetendo le volte e tristo impara.

Una traducción libre del verso sería ésta: “Cuando se toma parte en el juego de la Zara, el que pierde se queda doliente, recordando las jugadas y la triste lección recibida”. El juego de la Zara se jugaba tirando tres dados. Ganaba el primero que lograba cierto número de puntos. Kendall¹⁴ cita un comentario, publicado en 1477, en el que se recoge la común creencia de que la suma 3 y la suma 4 de puntos se obtenían con la misma frecuencia al lanzar tres dados.

El problema de repartir las apuestas, cuando el juego no ha de continuar, fue formulado así por **Fray Luca del Borgo, o Paciolli**¹⁵:

Una pareja juega a las bolas de esta suerte: Se necesitan 60 puntos para ganar el juego y en cada jugada se cuentan 10 puntos. Por algún motivo no puede seguir el juego, y uno tiene 50 puntos y el otro 20. Se quiere saber qué parte del dinero apostado pertenece a cada uno.

Esta cuestión fue planteada, sin duda, con mucha anterioridad. Ore¹⁶ atestigua que encontró un problema de este tipo en un manuscrito italiano de 1380, y opina que el problema es de origen árabe. En la solución dada por Pacioli a la formulación anterior, el reparto ha de hacerse en la proporción de 5 a 3. Esta solución es errónea, como ya observó Tartaglia en 1556, en su *General Trattato*¹⁷, donde se contiene la suya propia, también equivocada, según la cual el reparto sería de 2 a 1. Unos 30 años antes, hacia 1526, Jerónimo Cardano se había ocupado ya del problema de Pacioli en su libro *De Ludo Aleae*, publicado después de su muerte, acaecida en 1576.

Cardano merece capítulo aparte en la historia del desarrollo de la probabilidad. Hijo natural del geómetra Faccio Cardano, nació en

¹⁴ Op. cit.

¹⁵ L. Pacioli, *Summa de aritmetica, geometria, proportioni et proportionalità* (Venecia 1494).

¹⁶ O. Ore, *Cardano, the Gamble Scholar* (Princeton 1953).

¹⁷ N. Tartaglia, *General Trattato di Numeri e Misura* (Venecia 1556).

Pavía en 1501. Hombre polifacético –fue médico, ingeniero, matemático, astrólogo– estuvo marcado toda su vida por la ilegitimidad de su origen. Como médico, su fama le llevó a París y hasta a Escocia, donde reclamó sus servicios el duque de Hamilton. Según él mismo confesó, su pasión por el juego le condujo a vender sus posesiones y las de su esposa; se interesó por la comunicación de los espíritus y por los horóscopos; a pesar de que sus biógrafos recargaran quizá las tintas, no cabe duda de que era una persona excéntrica que llevó una vida turbulenta.

Todo esto no le impidió llevar a cabo una importante labor de divulgación de la ciencia de su tiempo y de investigación propia. Su manuscrito *De Ludo Aleae*¹⁸ no fue publicado hasta 1663, y esto explica que las ideas que contiene permanecieran desconocidas en Italia antes y después de su muerte. Pero, aun después de aparecer el libro, tuvo poco eco, quizá, como escribe Ore¹⁹, “porque estaba mal compuesto”.

¿Por qué Cardano no lo publicó en vida? ¿Miedo a ser plagiado o a ser acusado de plagio? Se han dado muchas explicaciones. El hecho es que la no publicación del libro y el escaso eco que debieron tener las ideas de Cardano, discutidas seguramente con sus discípulos y amigos (como era costumbre en su época), explican el olvido en que se le tuvo en vida, y mucho tiempo después de muerto. Avala esta creencia el modo utilizado por Galileo al discutir sobre el juego de dados, sin hacer la menor referencia a lo acaecido en el siglo anterior.

Dos años después del Trattato de Tartaglia apareció un corto trabajo firmado por un tal **G. F. Peverone**²⁰. Sin hacer referencia a otros autores²¹ (cosa frecuente en la época), Peverone formula este problema: En una partida en que hay que realizar 10 jugadas con éxito para ganar, la situación de los jugadores A y B es ésta: A ha

¹⁸ J. Cardano, *Opera Omnia* (Amsterdam 1663).

¹⁹ Op. cit.

²⁰ G. F. Peverone, *Due brevi e facili trattati, il primo d' arithmetica, l' altro di geometría* (Lione 1558).

²¹ G. Galilei, *Opere* (Florencia 1890-1909)

ganado 7 jugadas y B, 9. Si el juego se suspende, Peverone dice que el reparto de la apuesta debe hacerse en la proporción de 1 a 6.

El razonamiento que hace es éste:

A debiera poner 12 coronas y B, 2 (o equivalentemente la apuesta se repartirá como 1:6). Pues si A y B tuvieran que hacer una sola jugada, cada uno pondría 2 coronas (o las apuestas se dividirían en igual proporción). Si A tuviera que hacer dos jugadas y B una, A pondría 6 coronas y B dos, ya que al ganar A dos jugadas, ganaría 4 coronas, con el riesgo de perder la segunda después de haber ganado la primera; y con tres jugadas a realizar, A pondría 12 coronas, y la dificultad y el riesgo son doblados.

Es evidente que el resultado es correcto cuando A debe hacer una o dos jugadas, pero Peverone comete error cuando tiene que realizar 3 jugadas. El cálculo correcto es así. Una jugada: la apuesta es dos coronas. Dos jugadas: la apuesta es $2+4=6$ coronas. Tres jugadas: la apuesta es $2+4+8=14$ coronas. El reparto correcto está, pues, en la relación de 1 a 7.

La explicación de este resultado es como sigue. Si A (lo mismo que B) está en la jugada novena debe ganar (G_1), lo que le supone una inversión, pago o apuesta, de 2 coronas. Si está en la jugada octava, puede en esta jugada ganar (G_2) o perder (P_2). Habrá, pues, dos estrategias (G_2G_1) y (P_2G_1), lo que supone una inversión posible de $2+2=4$ coronas. Si está en la jugada séptima, puede ganar (G_3) o perder (P_3). Las posibles estrategias serán el resultado de combinar estos dos casos con los dos anteriores, esto es, ($P_3P_2G_1$), ($P_3G_2G_1$), ($G_3P_2G_1$) y ($G_3G_2G_1$). Es evidente que sólo esta última alternativa conduce a que A gane el juego, pero deberá tener en cuenta las 4 posibles estrategias y aportar $2+2+2+2 = 8$ coronas.

Peverone menciona la palabra "progresiones" al explicar las sucesivas "puestas" del juego. Pero no vio el carácter de progresión geométrica que existe. De haberlo percibido, hubiese resuelto el problema del reparto un siglo antes que Pascal y Fermat.

Galileo Galilei, en *Sopra le scoperte de i dadi*²², escrito poco antes de su muerte, acaecida en 1642, hace un cuidadoso análisis de todas las sumas de puntos que pueden obtenerse al lanzar tres dados, y muestra que de los 216 casos posibles, 27 son favorables a que la suma sea 10, y 25 a que sea 9. Galileo no cita ningún escrito de su tiempo y todo parece dar a entender que estos resultados eran del dominio común en su época.

El tratamiento que da Galileo al problema es análogo al que se hace hoy y da motivos para creer que el concepto de caras equiprobables de un dado correcto era conocido en el siglo XVI. El trabajo citado de Galileo no figura en la primera colección de sus escritos, publicada en Bolonia en 1656, y sí en la de Florencia de 1718. Se ha especulado sobre esta omisión, y la única explicación que se ha dado como válida es la poca importancia que le dio en vida el propio Galileo. Si el libro de Cardano fue escrito en torno al año 1526, las ideas expuestas por Galileo debieron ser conocidas durante todo el siglo anterior. Todo esto indica lo tardío y lento del desarrollo del cálculo de probabilidades. El ritmo se acelerará prodigiosamente mediado el siglo XVII. A ello contribuyó poderosamente el descubrimiento del método científico en física, por Galileo, la aplicación hecha de él en geometría por Descartes, y el método de las "fluxiones" de Newton.

2.2.3. Pascal y Fermat

El origen de las investigaciones de Blas Pascal sobre la probabilidad parece debido a dos cuestiones que le planteó su amigo el **Caballero de Meré** sobre juegos de azar. Poisson, en *Recherches sur la probabilité*²³, escribió esta frase que se ha hecho célebre: "Un problema relativo a los juegos de azar, propuesto a un austero jansenista por un hombre de mundo, ha sido el origen del cálculo de probabilidades".

La primera cuestión es ésta: Suponiendo que se juega con dos dados varias veces, ¿cuántas tiradas, como mínimo, habrá que hacer

²² G. Galilei, *Opere* Florencia 1890-1909)

²³ S. D. Poisson, *Recherches sur la probabilité des jugements en matière criminelle et en matière civile, précédées des règles générales du calcul des probabilités* (Paris 1837).

para poder apostar con ventaja a que, después de haber hecho esos lanzamientos, se haya obtenido un doble 6, al menos una vez?

La solución correcta sabemos que es ésta. La probabilidad de no obtener un doble 6 al lanzar una sola vez dos dados es $(35/36)$; la probabilidad de no obtenerlo al cabo de n lanzamientos es $(35/36)^n$. Luego la probabilidad de obtener al menos un 6 en n lanzamientos es la "complementaria", esto es, $1 - (35/36)^n$. Para que la apuesta sea con ventaja, esta probabilidad habrá de ser mayor que $1/2$. Para 25 lanzamientos esta probabilidad es 0,4912, y para 24 lanzamientos es 0,5050. El valor correcto es 25, mientras que el caballero De Meré creyó que era 24.

¿Cuál pudo ser la causa de este error? Se ha escrito mucho sobre el tema, y se ha creído, por muchos, que De Meré, gran jugador de dados, había obtenido este resultado por observación directa de las frecuencias, y que acudió a Pascal al ver las discrepancias entre el cálculo y la observación. Creemos, más bien, que la verdadera explicación está contenida en la carta que, con fecha 29 de julio de 1654, escribió Pascal²⁴ a Fermat. Le dice:

No tengo tiempo de enviaros la demostración de una dificultad que extrañaba mucho a M..., pues es inteligente, pero no es geómetra (esto es, como sabéis, gran defecto) y no comprende tan siquiera que una línea matemática sea divisible al infinito y cree entender que se compone de puntos en número finito [...].

Me decía, pues, que había hallado falsedad en los números por esta razón. Si se quiere obtener un 6 con un dado hay ventaja en lograrlo en 4 lanzamientos, pues la proporción es de 671 a 625²⁵. Si se emplean dos dados, hay desventaja en lograr un doble 6 con 24 lanzamientos. Y con todo, 24 es a 36 (los casos posibles con dos dados) como 4 es

²⁴ B. Pascal, *Œuvres complètes*, por Jacques Chevalier, Gallimard (París 1954).

²⁵ El origen de estas cifras está en la operación: $1 - (5/6)^4 = 1 - 671 / (625 + 671)$, cuya explicación aparece en el siguiente párrafo del texto.

a 6 (las caras de un dado). [4/6 es una aproximación de dividir 671 entre la suma 625 + 671].

Este era su gran escándalo, el que le hizo decir muy alto que las proporciones no eran constantes y que la aritmética se desmentía: pero veréis con facilidad la razón de esto por los principios que poseéis.

Ante todo, observamos en esta larga cita que Pascal habla de M., no nombra a De Meré, pero hay pruebas de que se trataba del caballero en cuestión. Luego, observamos, con Ore²⁶, que Pascal no parece haber captado el razonamiento de De Meré, que se basa en una antigua regla de juego usada ya por Cardano y que se resume así: "Sea un experimento en el que la probabilidad de aventajar en el juego es $1/N$ en una prueba. Si hacemos n pruebas dicha probabilidad ha de ser n/N ".

Ahora bien, para $n=4$ lanzamientos tenemos $1 - (5/6)^4 = 0,5168$, que es la menor probabilidad que da ventaja a la obtención de un 6 al lanzar sucesivamente un dado. Para De Meré la relación n/N permanece constante, y así, en el caso de dos dados, ha de ser $24/36$. Ésta es, pues, la razón por la que De Meré considera más ventajoso hacer 24 lanzamientos en vez de 25. Esta regla fue probada como correcta por Abraham de Moivre²⁷ para el caso en que n es suficientemente grande, lo que no ocurría con el caso comentado. La extrañeza de De Meré estaba en que los cálculos hechos con esta regla no estaban de acuerdo con sus propias experiencias, que probaban que se requerían 25 lanzamientos. Por eso acudió a Pascal para que le sacara de dudas. Extraña con todo esa consulta, pues al principio de la citada carta a Fermat leemos: "He visto a varias personas que han hallado la solución al problema de los dados como el Caballero de Meré [...] y también el señor Roberbal".

El Caballero De Meré, tan traído y llevado por los historiadores de la probabilidad, fue Antonio Gombauld, señor de Baussay,

²⁶ Op. cit.

²⁷ A. de Moivre, *The Doctrine of Chances* (Londres 1967).

considerado, en su propia apreciación, como modelo de costumbres cortesanas que “enseñó elegantemente los principios de su estética a la alta sociedad”, pues así figura en el frontispicio de la colección de sus trabajos²⁸. Nació en 1607 en el pequeño señorío que tenía en el Poitou y murió en 1684. Recibió una educación clásica y sirvió brevemente en el ejército. Repartía su tiempo entre su señorío y la brillante corte de Luis XIV, en la que descolló por sus maneras y como consejero en conflictos delicados. Por su encanto, buen gusto y arte en la conversación, fue figura atrayente en los grandes salones, de los que fue asiduo, y, en especial, del de Madame de Maintenon.

Ya hemos leído el retrato intelectual que de él hace Pascal. Por su parte, De Meré describe a los matemáticos como “aquellos que no saben entretenernos sino con números y figuras”. Hay algo de desdén cuando describe el modo en que conoció a Pascal²⁹:

Hice una vez un viaje con el duque de Roannez quien trajo con él a quien luego encontré buena compañía, por su modo justo de expresarse [...]. El duque tenía interés por las matemáticas y para evitar el tedio del viaje se hizo acompañar de un hombre de mediana edad, entonces poco conocido, pero que luego ciertamente ha hecho que las gentes hablaran de él.

Este viaje debió de realizarse hacia 1651. Pascal no había cumplido 30 años. Pero era bien conocido como científico. Había construido su famosa “máquina aritmética” y había demostrado la existencia de la presión atmosférica mediante medidas barométricas en el Puy de Dôme. Coincidió este viaje de Pascal a Poitou con lo que se suele llamar etapa mundana de la vida de Pascal, y fue ocasión para que entrara en relación con el llamado “círculo de Roannez”, que acogía a los principales matemáticos de París, y con el que contactaron Huygens y Leibniz.

²⁸ A. G. De Meré, *Les Oeuvres de Monsieur le Chevalier de Meré* (Amsterdam 1692).

²⁹ Op. Cit.

El segundo problema propuesto por De Meré es el ya conocido "des partis", o del "reparto". En la mencionada carta a Fermat dice Pascal:

Pero el señor Caballero de Meré no había podido nunca hallar el valor justo de los "repartos" ni el método para lograrlo, de tal suerte que me encontraba solo en el conocimiento de esta proporción de reparto.

Después de señalar que el método de Fermat "es muy seguro", aunque pesado por el "exceso de combinaciones que exige", Pascal expone el suyo:

He aquí, poco más o menos, cómo hago yo para saber el valor de cada una de las partes cuando, por ejemplo, dos jugadores juegan a tres manos y cada uno ha puesto 32 doblones en el juego. Pongamos que el primero tenga dos ganadas y el segundo una; juegan ahora una partida cuyo resultado es tal que si gana el primero se lleva los 64 doblones y si lo hace el segundo, están empatados y si se separan llevarán 32 doblones cada uno.

Considerad, pues, señor, que si gana el primero le pertenecerán 64, y si pierde, le pertenecen 32. Así, si no quieren arriesgar esta partida y separarse, sin jugarla, el primero debe decir: "Estoy seguro de tener 32 doblones, pues la misma pérdida me los da; pero para los 32 restantes, quizá los tenga yo, quizá los tenga Vd; el riesgo es igual; repartámoslos, pues, por la mitad, y dadme además los 32 que tengo seguros". Tendrá, pues, 48 y el otro, 16.

Supongamos ahora que el primero tenga dos partidas y el otro nada, y que empiecen una partida. La suerte de esta partida es tal que, si el primero gana, se lleva todo el dinero, 64 doblones; si el otro gana, estamos en el caso anterior; el primero tiene dos partidas y el segundo una. Ya hemos visto que entonces el de dos partidas se lleva

48 doblones; luego si no quiere jugar esta partida debe decirse: "Si la gano, ganaré todo, que es 64; si la pierdo, me pertenecerán legítimamente 48; dadme, pues, los 48 que me son asegurados, aun en el caso de que pierda, y repartámonos los 16 que quedan a partes iguales, ya que tenemos igual riesgo de perder". Tendrá, así, 48 y 8, o sea 56 doblones que es la suma.

Supongamos, en fin, que el primero tenga sólo una partida y el segundo nada. Ved, señor, que si empiezan una nueva partida, la suerte es tal que, si gana el primero, tendrá 2 partidas a nada y tendrá 56, como en el caso anterior; si pierde, están igualados, luego le pertenecen 32 doblones. Debe decir, pues: "si no queréis jugarla, dadme 32 doblones, que tengo seguros, y repartamos el resto de 56 por la mitad. De 56 quitad 32, quedan 24; partid, pues, 24 por la mitad, tomad 12 y yo otros 12, que con 32, hacen 44".

Ved, pues, por este medio, por simples sustracciones, que por la primera partida le pertenecen 12 doblones del dinero del otro; por la segunda, otros 12; y por la tercera, 8.

El método de Pascal es de suma sencillez. El otro método, que se apoya en la teoría combinatoria, fue dado al mismo tiempo por Pascal y por Fermat. La correspondencia postal mantenida por estos dos grandes espíritus nos ha hecho asistir a la génesis de los primeros pasos del cálculo de probabilidades.

Blas Pascal había nacido en Clermont-Ferrand en 1623 y murió en París en 1662. Según Bayle es uno de los espíritus más sublimes del mundo. Existen varias publicaciones de sus obras completas. La que nos sirve de referencia data de 1954 y lleva una biografía de Pascal, escrita por su hermana Madame Perier, que cuenta muchas anécdotas y curiosidades del gran genio francés.

Pedro de Fermat nació en Beaumont, cerca de Toulouse, hacia 1608. Los biógrafos no están de acuerdo acerca de la fecha. Murió

en Toulouse (o Castres) en 1665. No publicó nada en vida y lo que poseemos de su obra matemática es debido a la correspondencia que mantuvo con hombres científicos de su época, como Mersenne, Roberbal, Pascal, Huygens y Descartes. Su profesión era la de abogado y ejerció como consejero del parlamento de Toulouse, ciudad que nunca abandonó. Desde allí mantuvo correspondencia con los matemáticos de su tiempo, dentro y fuera de Francia, sobre probabilidad y, más aún, sobre teoría de números.

2.2.4. Huygens

El astrónomo y físico holandés Christian Huygens, que vivió entre 1629 y 1695, fue sin duda una de las mentes más preclaras del siglo XVII. A más de sus importantes descubrimientos en astronomía y física, se dedicó también a la nueva ciencia del azar, y, dejándose llevar de su curiosidad científica, hizo un viaje a París en julio de 1655, cuando sólo tenía 26 años, con el fin de contactar con Pascal, cuya correspondencia con Fermat, mantenida un año antes, había trascendido las fronteras. En esa fecha, Pascal se había retirado con los solitarios de Port Royal, y así no pudo verle. Tampoco pudo ver a Fermat que residía en Toulouse, ni a Carcavi, el gran amigo de Pascal y Fermat, que había servido para relacionarlos. Encontró, en cambio, a Roberbal, matemático de fama, entonces profesor en el Colegio Real de Francia, a quien también había consultado De Meré, y a otros miembros del círculo de Roannez, que le informaron con detalle de los problemas resueltos por Pascal y Fermat.

Después de tres meses de estancia en París, Huygens retornó a Holanda e inició una correspondencia con Carcavi y Fermat que duró varios años. Su vocación científica fue altamente estimulada por el grupo de París. Se puso a investigar por su cuenta y en marzo de 1656 escribió a su maestro van Schooten diciéndole que había preparado un manuscrito sobre juegos de dados. Van Schooten era profesor de matemáticas en Leyden, y Huygens había sido su discípulo predilecto. Schooten tomó el manuscrito del joven Huygens, que estaba escrito en holandés, lo vertió al latín y lo publicó, como

apéndice a sus *Exercitationes Mathematicae*, en 1657. El título era *Tractatus de Ratiociniis in Aleae Ludo*.

La honestidad científica de Huygens queda manifiesta en estas palabras de la carta que escribe a Schooten:

[...] algunos de los más célebres matemáticos de toda Francia se han ocupado de este género de cálculo, a fin de que quede claro que nadie deba atribuirme el honor de la primera invención que no me pertenece. Pero estos sabios, [...] han ocultado, no obstante, sus métodos. He debido, pues, examinar y profundizar por mí mismo en toda esta materia desde los primeros elementos, y me es imposible, por esta razón, saber si hemos partido del mismo principio.

El libro contiene 14 proposiciones formuladas de modo claro y conciso. Esta cristalización de las ideas fue quizás el motivo por el que se consideró a Huygens durante bastante tiempo como padre de la teoría de la probabilidad.

En 1656, Huygens comunicó su manuscrito a Pascal y Fermat, quienes le dieron su aprobación. Fermat le envió, además, dos problemas para que los incluyera en el libro, y Pascal, uno. Estos tres problemas son parte de los cinco que figuran sin solución. Uno de ellos es el que pasaría a la historia de la probabilidad con el nombre de “problema de la ruina”.

Huygens definió, por primera vez, el concepto de esperanza matemática de una variable aleatoria con un número finito de valores. Fue quizás el primero que captó la importancia del cálculo de probabilidades, a juzgar por estas palabras escritas en su libro: “El lector observará que nos ocupamos, no sólo de los juegos, sino, más bien, de los fundamentos de una teoría nueva, a la vez profunda e interesante”.

Christian Huygens nació, vivió siempre y murió en La Haya. Sus obras completas ocupan 22 volúmenes y han sido publicadas en

La Haya, entre 1888 y 1950. Versan sobre prácticamente todas las ramas del saber de la época.

2.2.5. La combinatoria

La teoría combinatoria está íntimamente ligada a la probabilidad clásica. Los problemas de la combinatoria fueron poderosamente estimulados por el problema del reparto de las apuestas.

Remontándonos a sus orígenes más lejanos, los problemas combinatorios surgen en la baja ciencia medieval y, en particular, en la alquímica magia de los signos, “hasta que éstos –en frase de Hacking³⁰– no fueron liberados de aquella base en el siglo XVII”. Se considera como fundador de la teoría combinatoria al gran alquimista y filósofo (*doctor illuminatus*) mallorquín **Raimundo Llull**.

Su gran ideal consistió en representar las cosas del mundo por sus verdaderos signos para luego, generadas todas las posibles combinaciones de estos signos, producir signos verdaderos para todos los posibles componentes del universo. Se sabría así cómo se producen todas las cosas posibles. Esta idea germinal de la combinatoria se conserva a lo largo de la tradición. La obra de Llull, o Lulio, está contenida en su *Ars Magna* cuyos procedimientos lógicos y combinatorios reemprendieron más tarde Nicolás de Cusa, Jordano Bruno y, sobre todo, Leibniz.

Aun ciñéndonos a los dados, no podemos excluir completamente la astrología, la magia y los signos. Hemos comentado ya su frecuente uso con fines adivinatorios. Cada lanzamiento era asociado a una particular configuración de elementos astrológicos, de suerte que el cielo era dividido en 216 partes, en correspondencia con los 216 casos posibles obtenidos al lanzar 3 dados. Así, el lanzamiento de un dado equivalía a un económico horóscopo. Las frecuencias observadas servían de interpretación del horóscopo.

Hay un ejemplo muy representativo de lo que acabamos de exponer, que recoge Jacobo Bernouilli en su *Ars conjectandi*³¹. Se

³⁰ I. Hacking, *The emergence of probability* (Cambridge 1975).

³¹ J. Bernouilli, *Ars conjectandi* (Basilea 1713).

refiere a un libro publicado en 1617 por Erycius Puteanus en el que se cita el siguiente verso dedicado a la Virgen María por un tal Bernardo Bauhusius, jesuita:

"Tot tibi sunt dotes, Virgo, quot sidera caelo".

(Cuya traducción evidente es: Tantas son tus dotes cuantas estrellas hay en el cielo).

Este verso es ordenado en el libro de 1022 maneras distintas, ocupando 48 páginas. Hay 54 ordenaciones que empiezan con "Tot tibi"; 25, con "Tot sunt", etc. Aunque estas ordenaciones han sido atribuidas a Puteanus, parecen ser debidas al propio Bauhusius. El hecho, para nosotros interesante, es que el número 1022, que sería el de ordenaciones en las que el verso tiene sentido, es también el de estrellas según el catálogo de Ptolomeo.

Hemos de pensar, con Todhunter³², que es quizás la noticia más antigua que poseemos acerca de la combinatoria.

2.2.6. Probabilismo filosófico

A pesar de que el azar, como se ha visto, estuvo, de un modo u otro, siempre presente en todas las culturas, el cálculo de probabilidades propiamente dicho, no aparece hasta bien mediado el siglo XVII. Los juegos de azar, con dados y cartas, no pasaron de ser un mero pasatiempo o, a lo más, medios instrumentales al servicio de la superstición. No existe más que un caso, que sepamos, el de los antiguos indios, en que el juego de dados fue utilizado con carácter inferencial. Es una bella historia contenida en el gran poema épico *Mahabharata*.

Kali, uno de los protagonistas, tiene puestos los ojos en una hermosa princesa cuya mano conquista Nala. Kali sufre un desvanecimiento y se apodera del cuerpo y del alma de Nala, quien en un momento de frenesí pierde, jugando, su reino. Demenciado, vaga durante varios años, hasta que aconsejado por una serpiente que

³² M. A. Todhunter, *A history of the mathematical theory of probability* (Nueva York 1865).

encuentra en el bosque, entra a trabajar como auriga, al servicio del potentado Rtuparna. Un día, Rtuparna quiere mostrar a Nala la ciencia que posee sobre los dados y le apuesta que el número de hojas y frutos de un gran árbol es 2095, sobre la base de contar los que hay en un pequeño ramo. Nala se pasa la noche contándolos y comprueba con asombro la precisión de la apuesta. El autor del poema pone en boca de Rtuparna este verso:

“De dados poseo la ciencia y en números tales soy diestro”

Rtuparna se ofrece a enseñar esta ciencia a Nala a cambio de unas lecciones de equitación. La historia termina felizmente así: en una carrera ecuestre, Nala vomita el veneno de Kali, recupera su estado primitivo, y, con la ciencia adquirida, gana en una partida su reino perdido y, como parte de la apuesta, su siempre fiel prometida.

Es evidente que los indios estaban mejor preparados y eran más proclives a la inducción de naturaleza probabilística.

Con todo la palabra probabilidad se encuentra desde antiguo en el lenguaje popular y en la ciencia primitiva, pero con un sentido que no corresponde al concepto hoy en vigor. La palabra latina *probabilis* significa, entre otras cosas, *algo digno de aprobación*, y con este sentido se encuentra empleada a lo largo de la historia de la filosofía, dentro de lo que suele llamarse *probabilismo*.

Corresponde el probabilismo a un aspecto del escepticismo filosófico. Ante la imposibilidad de conocer la verdadera naturaleza de las cosas, el filósofo debe contentarse con un conocimiento opinático, inseguro, incierto, que sólo puede servir de fundamento a la conjetura.

Para Platón, las artes y las ciencias que se ocupan de la naturaleza no pasan del orden de la opinión; sólo, pues, “se aplican a lo que siempre está llegando y nunca llega a ser”. Esta doctrina perdura en la Academia y cobra especial relieve con Carneades, quien sucede a su maestro Hegesinos en la dirección de la Tercera Academia. Para Carneades las cosas no son en sí verdaderas o falsas. Las que

parecen verdaderas son representaciones persuasivas (verosímiles), o sea, tienen probabilidad de ser verdaderas.

Carneades da, sobre esta base, el siguiente criterio de selección: como no tienen todas las apariencias el mismo valor, debemos elegir las de mayor probabilidad; no basta dar nuestro asentimiento, sino seguir la opinión que parezca más *probable* hasta que sea superada por otra. Ésta basta para obrar prudentemente. Es la norma que establece frente a la credulidad optimista de los estoicos. Aunque sólo conocemos la doctrinas de Carneades a través de Cicerón (que a su vez las había tomado de Clitómaco), se ve claramente cómo, negando todo criterio absoluto de certeza, la única actitud posible que queda a los escépticos, que Carneades representa, es la de suspender todo asentimiento, y basar la acción en lo que denominan *probabilidad*.

Esta distinción platónica entre conocimiento y opinión la reencontramos en el pensamiento medieval. En la epistemología de esa época, ciencia es conocimiento de verdades universales, verdadera de necesidad. No se trata de una “necesidad lógica”, en el sentido actual, sino de la que se establece como resultado de una demostración o la necesidad de verdad que han de poseer las llamadas verdades primeras para que no precisen demostración. Santo Tomás pensaba que el conocimiento real e infalible es una meta que muchas veces se obtiene. El conocimiento es distinto de la opinión, y mejor. La opinión se refiere a creencias o doctrinas no obtenidas por demostración o que, al no ser universales, no pueden –en el sentir del de Aquino– ser demostradas. La opinión se deriva de alguna reflexión, disputa o argumento, y es, según la doctrina escolástica, portadora de probabilidad.

Santo Tomás no se sale del marco trazado por Aristóteles a la palabra probabilidad, el cual es, a su vez, fiel a Platón. Se ha pretendido probar que Santo Tomás tuvo la idea de frecuencia como substrato de la probabilidad, pero esto no aparece explícito, que sepamos. Se ve claro en su pensamiento que la “probabilis” precede a la certeza en la formación del conocimiento, y la frecuencia de sucesos es algo

que tiene que ver con la naturaleza fortuita de la causalidad y con la intensidad relativa de la causa subyacente.

El probabilismo, más o menos carnediano o escolástico, ha reaparecido en distintos momentos de la historia de la filosofía. En el siglo XII, la Escuela de Chartres resucita un probabilismo inspirado en el academicismo de Cicerón. Uno de sus principales representantes, Juan de Salisbury, adopta como lema estas palabras de las *Tusculanae disputationes* (II, 5): “Nosotros, los que seguimos lo probable no podemos ir más allá de lo que nos parece verosímil y estamos dispuestos a refutar sin ira y a ser refutados sin pertinacia”.



Pascal.

Cap. 3. El qué de la probabilidad

Todo el mundo habla de probabilidad, pero nadie puede explicar, de modo que pueda ser aceptable para los demás, lo que entiende por ello (Garrett Birkhoff).

El sentido del término *probabilidad* es sumamente complejo debido al gran uso que de él se hace, tanto en el lenguaje común como en el de la ciencia natural y el de la técnica, así como en el campo de la filosofía y de la matemática.

Esta variedad de significados e interpretaciones de la probabilidad ha llevado a algunos autores a considerar que se trata de conceptos distintos. Así, Rudolf Carnap³³ distingue dos tipos de probabilidad, una basada en el concepto de *credibilidad racional* y otra fundada en la *frecuencia relativa* de ocurrencias de un suceso que se repite. Mackie³⁴ afirma que "hay al menos cinco conceptos de probabilidad claramente distinguibles, con subdivisiones entre ellos y eslabones que los unen". A esta variedad de conceptos se añaden infinidad de matices semánticos, y disputas sin fin, que han conducido, según Bruno de Finetti³⁵, a una verdadera "torre de Babel".

En nuestro modo de pensar esta *confusión babeliana* proviene, en la mayor parte de los casos, de la identificación de la cosa con su definición. Supongamos, por ejemplo, que alguien asigna la probabilidad de $1/6$ a que "salga as" en el próximo lanzamiento de un

³³ R. Carnap, *Logical foundations of probability* (Chicago 1950).

³⁴ J. L. Mackie, *Truth, probability and paradox* (Oxford 1973).

³⁵ B. de Finetti, *La prévision: Ses lois logiques, ses sources subjectives* (París 1963).

dado. Si se le pide que justifique esta asignación, puede oírse una de estas explicaciones: 1) está dispuesto a apostar 1000 contra 6000 en favor de ese suceso, porque esta es su *creencia*; 2) *considera* que hay 6 caras en el dado y una sola es as; 3) *espera* que en una larga serie de lanzamientos aparecerá cada cara la sexta parte de veces; 4) puede contestarnos aún que *ha realizado* repetidamente esta experiencia y ha observado una frecuencia relativa en torno a $1/6$, y que asigna esta probabilidad a la próxima prueba. Podría dar otras justificaciones más que motiven el juicio emitido.

No es difícil concluir que estas simples deducciones se prestan a distintas interpretaciones de la probabilidad, o quizá a ninguna, si no existe la debida especificación. Pero lo que sí parece coherente es que si el sujeto toma una de ellas, como definición de su probabilidad, las demás serían aceptadas por él como consecuencias de la definición o interpretación de la misma, para casos particulares.

Caben, pues, diversas interpretaciones del mismo concepto de probabilidad, del mismo modo que se construye la misma geometría desde conjuntos equivalentes de axiomas con distintas elecciones de nociones primarias.

3.1. El sentido común de probabilidad

En el lenguaje común empleamos el adverbio *probablemente* o las locuciones *es probable que*, *es razonable pensar que*, etc., para expresar el sentimiento de incertidumbre que experimentamos frente a algo exterior a nosotros. Cuando hablamos así, hacemos un intento de juicio: hay alguna razón, pero no conclusiva, de lo que opinamos; pero hay también otra contra-razón, aunque no igualmente poderosa, que apoya la vía contraria. Así considerado, el concepto de probabilidad tiene un *hábitat*, en los argumentos no formalizados, que se sitúa entre la aserción y la contra-aserción, entre la aceptación y la refutación.

Tomemos como ejemplo ilustrativo el siguiente juicio de probabilidad: "Dadas las actuales circunstancias de temperatura, humedad

y vientos reinantes, lloverá probablemente hoy". No es difícil ver que hay tres elementos fundamentales que lo integran: la persona que emite el juicio, el juicio emitido y las condiciones iniciales en que se basa.

La persona que emite el juicio actúa racionalmente, después de contemplar las *condiciones iniciales*; suponemos que no está segura de lo que va a ocurrir y que en su decisión, por uno u otro resultado, pesan en su ánimo las condiciones psíquicas del momento, sus *creencias* personales, etc.

El juicio emitido ha versado sobre uno de los dos resultados posibles e incomparables entre sí, el cual considera como verdadero. Estos resultados posibles, llover y no llover, constituyen el espacio de referencia en cuestión, y la aparición de uno u otro es un *suceso*.

Las condiciones iniciales forman lo que se suele llamar *estado de la naturaleza*. A condiciones iniciales distintas corresponde distinta probabilidad, lo que pone de manifiesto la correlación entre probabilidad e información, por un lado, y la relación causal de tipo determinista que se atribuye a estas condiciones, por otro.

Esta fe determinista del pueblo se manifiesta en el uso de expresiones como "es fuerza que", "es razonable", etc. Pero también se dice "es probable que no me toque la lotería," sin la menor alusión a condiciones iniciales o, por mejor decir, con la convicción de que mi suerte está confiada al *azar*, a la aleatoriedad del fenómeno.

Otros aspectos de la probabilidad aparecen claramente sugeridos por el lenguaje común. Así, cuando decimos "iré probablemente", formulamos la esperanza de que el suceso ocurrirá; es el aspecto dinámico de la probabilidad. Su *carácter predictivo* se encuentra implícito en expresiones como "probablemente lucirá el sol", y el inductivo, en juicios como "es probable que hable valenciano", basado en la evidencia de que vive en Valencia.

"Probablemente" admite adverbios de comparación. Así, decimos "bastante probable", "muy probable", "más o menos probable", etc.

Se refleja de este modo la comparatividad de la probabilidad, aun en casos meramente cualitativos.

La probabilidad tal como aparece a través del sentido común del lenguaje popular, está exenta de ambigüedades, no se presenta como concepto equívoco. Se considera aplicada no sólo a situaciones singulares sino también universales, pero siempre reales. Las situaciones contempladas son las que rodean al hombre, en su quehacer cotidiano, desde su cuerpo a la galaxia más lejana, desde sus vivencias psíquicas hasta el mundo histórico y social en el que vive, desde sus propias ideas hasta las más exóticas culturas.

Las asignaciones de probabilidad del hombre de la calle, se refieren a algo exterior más que a relaciones lógicas entre proposiciones. Por ello se considera que el sentido común de probabilidad es eminentemente *objetivo*, si bien lleva implícito un grado de confianza, pero la manifestación de esta confianza no suele ser la meta primordial de tales asignaciones.

Cabe, finalmente, señalar que la probabilidad que nace del sentido común no se alinea en ninguna escuela determinada, ni sigue ninguna corriente de pensamiento. Se basa generalmente en la experiencia anterior, en la intuición o en el razonamiento inductivo, pero no calcula frecuencias, ni cuenta los casos favorables y posibles.

3.2. Tratamientos de la probabilidad

Existen interpretaciones de la probabilidad que la entienden como modo de describir aspectos del mundo observable. Estas descripciones dan lugar a teorías distintas. La semilla de estas teorías está en lo que hemos denominado “sentido común de probabilidad”, concepto próximo a lo que Toulmin³⁶ llama “probabilidad informal” .

A partir de este “sentido común de probabilidad” y teniendo en cuenta el origen y grado de evidencia que posee el sujeto, podemos distinguir los tratamientos que siguen:

³⁶ S. Toulmin, *The uses of argument*, (Cambridge 1967).

3.2.1. Probabilidad frecuentista

Si se contemplan los resultados provenientes de la puesta en ejecución de un aparato que se utilice en un experimento, resulta la concepción *frecuencialista* o *estadística* de **von Mises**. Un análisis del comportamiento de las frecuencias relativas de datos, correspondientes a fuentes empíricas, o experimentos, sugiere que estas frecuencias tienden a *estabilizarse* a medida que aumentan las pruebas experimentales. Las frecuencias fluctúan en torno a un cierto valor, pero estas fluctuaciones parecen disminuir en tamaño al aumentar el número de datos.

En expresión de **Venn**³⁷, uno de los primeros tratadistas de la interpretación frecuencial de la probabilidad, "la idea fundamental que tiene en la mente el lector, acerca de una serie de datos, es que, en ella, se combina una irregularidad individual con una agregada regularidad". Esto es, del hecho aislado no puede extraerse estadísticamente ninguna inferencia, pero sí, del colectivo de hechos tomados en su conjunto. Probabilistas contemporáneos han abundado en esta idea de Venn, que concretan más, señalando que las frecuencias relativas parecen converger y, en consecuencia, que el límite de esa convergencia debe proveer la deseada interpretación de la probabilidad.

El paso de un ente empírico, la frecuencia, a un ente matemático, la probabilidad, entraña dificultades muy graves, que se han pretendido resolver acudiendo a estimaciones de varios tipos. Estas estimaciones pretenden tender un puente entre probabilidades y frecuencias. Pero ni siquiera las teorías frecuenciales, suplementadas con las reglas para la estimación inductiva, han logrado hacer *efectivas* estas estimaciones. Ha sido preciso acudir a la fe, en las previsiones de probabilidad, en una cláusula *metafísica*. Por otra parte, la necesidad de revisar los juicios de probabilidad, al aparecer nueva evidencia, nuevos resultados de pruebas, pone de manifiesto la no efectividad de las estimaciones. Ante este nuevo fracaso, se ha acudido a definiciones operativas de carácter pragmático.

³⁷ J. Venn, *The logic of chance* (Nueva York 1963).

¿Por qué esta insistencia en recurrir, de un modo u otro, a las interpretaciones frecuencias? Algo tendrá la liebre para que la persiga el galgo. Este *algo* son razones de tipo psicológico y de tipo práctico, avaladas por una tradición inmemorial. El uso de las teorías frecuencias ha permitido tratar fenómenos y problemas en los que no existía ningún tipo de relación estructural en los instrumentos de experimentación, como dados sesgados, o en los que la naturaleza actúa espontáneamente en la causación de observaciones, como en los procesos de nacimiento y muerte, etc. En síntesis, el campo de investigación en las ciencias naturales se ha ampliado merced a las teorías frecuencias.

3.2.2. La definición de Laplace

Puede examinarse el aparato mismo de experimentación y sacar conclusiones de su estructura (simetría, etc.), que constituyan razón suficiente para considerar unas respuestas más próximas a la *certeza* que otras. **Laplace**, escribe en su *Essai*³⁸, al referirse a los principios del cálculo de probabilidades: "El primero de estos principios es la definición misma de probabilidad, la cual [...] es la razón entre el número de casos favorables y el de posibles". El segundo de estos principios empieza así: "Pero ello supone los casos igualmente posibles". A este principio se le llama también *Principio de indiferencia*, lo cual presupone dos cosas: *uniformidad* en la distribución e *independencia* en las pruebas que se realizan.

Supongamos que está lloviendo y consideramos una parcela sobre la cual cae la lluvia. Dos áreas cualesquiera de esta parcela están expuestas a la lluvia por igual. Decimos que la distribución de la lluvia es uniforme. Lo que el principio afirma es que en la asignación de probabilidades se supone una distribución uniforme en ausencia de razones en contra. Y supongamos ahora que tenemos una población de la que una parte ha sido vacunada y otra no contra la viruela, y que conocemos los porcentajes respectivos de los atacados por dicha enfermedad. La correlación entre la afección de la enfermedad

³⁸ P. S. Laplace, *Essai philosophique sur les probabilités* (Paris 1796).

y la vacunación puede ser positiva, nula o negativa. Cuando es nula, decimos que los sucesos son estocástica o estadísticamente *independientes*, que la vacunación no surte efectos sobre la enfermedad. Lo que el principio de indiferencia asume es *independencia estadística* en ausencia de razones contrarias.

Si queremos calcular la probabilidad de obtener un número par en el lanzamiento de un dado, vemos que se cumple el principio de indiferencia: todas las caras tienen, dada la simetría del dado, la misma “posibilidad” de aparecer (naturalmente en esa simetría se supone homogeneidad en la composición del dado, no estar cargado), hay 6 casos posibles (las 6 caras del dado) y 3 favorables a que salga par, luego la probabilidad es $3/6=1/2$.

3.2.3. Probabilidad lógica

Puede considerarse la probabilidad como una relación en el contexto de los razonamientos inductivos. Esta relación lógica, o probabilidad lógica, ha adoptado dos formas históricamente importantes:

a) como relación entre premisas y conclusión en la teoría de la argumentación, según **Keynes**³⁹ y la escuela de Cambridge;

b) como relación entre datos e hipótesis, tal como aparece en la teoría de la confrontación de **Carnap**⁴⁰.

Esta probabilidad posee un *status* epistemológico. Tiene su origen en el azar subjetivo, debido a conocimiento imperfecto de relaciones entre proposiciones; su verdad es la conformidad de lo que se dice con lo que se siente o piensa; se apoya en la posibilidad lógica que surge del estado de las cosas, y se basa en la evidencia que presentan las distintas formulaciones que establecen las gentes cuando *expresan* juicios acerca de la realización de sucesos. Lo sustantivo en esta concepción es la relación entre las evidencias que presentan pares de proposiciones, más bien que los correspondientes pares de sucesos, cuya realización expresan. Se supone que ambas proposiciones pertenecen al mismo lenguaje.

³⁹ J. M. Keynes, *A treatise on probability* (Londres 1921).

⁴⁰ R. Carnap, *Logical foundations of probability* (Chicago 1950)

La probabilidad lógica se interpreta como relación, o función, cuyo dominio está constituido por dos proposiciones o enunciados: el primero es un cuerpo de conocimiento o evidencia, y el segundo, un enunciado cualquiera del lenguaje dado. El cuerpo de evidencia, a su vez, se construye como un conjunto de enunciados del mismo lenguaje, y es el que sirve de término de comparación de la evidencia de los otros enunciados. Si se trata, por ejemplo, de conjeturar o emitir un juicio acerca de que salga cara en el próximo lanzamiento de una moneda, el *cuerpo de evidencia* está constituido por los dos casos posibles y la evidencia parcial demandada está representada por el único caso posible. Se ve, pues, que el razonamiento que se hace al aplicar la fórmula de Laplace es el mismo que se hace en la probabilidad lógica.

La mayor parte de juicios de probabilidad acerca de hipótesis de los científicos, jugadores y personas de la calle, son formulados en términos absolutos, sin ninguna referencia a un cuerpo de evidencia. Son juicios *elípticos*, referidos siempre, implícitamente, a algún cuerpo de evidencia, aunque éste no se mencione de forma explícita. Por lo general, este cuerpo de evidencia está constituido por el conjunto de conocimientos que se poseen sobre la materia objeto del juicio. Si digo que “va a llover mañana”, esta aseveración está sustentada por otra de este estilo: “dadas la condiciones meteorológicas de las que se tiene noticia en un momento dado...”

Las cuestiones más debatidas en materia de probabilidad provienen precisamente del cómo utilizar la evidencia a la hora de emitir juicios de probabilidad.

3.2.4. La probabilidad como propensión o “chance” objetiva

La probabilidad en este caso, lo mismo que en las interpretaciones frecuenciales, se apoya en el posible azar existente en la naturaleza, como consecuencia del indeterminismo físico que gobierna el mundo. Aquí se trata de un indeterminismo considerado “ex ante”,

antes de que se realicen los acontecimientos. Si existe el azar físico, habrá una disposición, por parte de la naturaleza, a que se produzca el hecho fortuito. Esta disposición puede considerarse como la contraparte “ex ante” de experimentar, de las frecuencias obtenidas “ex post” de la experimentación, y da lugar también a una probabilidad de origen físico. Karl Popper llama a esta propiedad disposicional “propensión física”. Este nombre es el que ha logrado imponerse, por el peso específico del autor, padre de la teoría.

El escrito de Popper, donde expone por primera vez su teoría, data de 1957. Siguieron otros trabajos y, como consecuencia de ellos, y durante casi 25 años, se produce una amplia literatura en torno al tema: adhesiones, divergencias, explicaciones, nuevas exposiciones y nuevas teorías, críticas de todo género y en todos los tonos. No podemos entrar aquí en detalles⁴¹.

3.2.5. Probabilidad subjetiva

Estas cuatro concepciones de la probabilidad suelen catalogarse, por la mayor parte de los autores, como probabilidades objetivas, si bien se reducen en última instancia a establecer vínculos entre la prueba experimental y las conclusiones, a contar casos. Pero, ¿qué casos? La selección de casos a contar es algo de gusto personal, algo subjetivo. De la probabilidad como “relación lógica” ha escrito Mackie⁴² que aunque es un concepto de algo objetivo, un crítico puede decir que, en fin de cuentas, tiene sólo “status subjetivo”.

Así, pues, como una opción más, puede el sujeto apelar a sus propias *creencias* acerca de la situación real y medir el grado de estas creencias sobre la base de lo que está dispuesto a aportar en su defensa. Estos grados de creencia tienen, como única restricción, el que pertenezcan a una persona racional y coherente.

Dentro del cuadro clasificatorio que estamos haciendo de las teorías de la probabilidad, la probabilidad subjetiva pertenece a las

⁴¹ Cf. S. Gutiérrez Cabria, *Filosofía de la probabilidad*, ed. Tirant lo Blanc (Valencia 1992).

⁴² Op. cit.

psicológicas o epistemológicas. Se basa en el azar subjetivo, debido al desconocimiento de las causas de los sucesos, lo que produce un ambiente de incertidumbre. La *posibilidad* es de naturaleza epistémica, y la *verdad* es una propiedad del estado de la mente, esto es, el conocimiento o creencia. La persona que está en posesión de esta verdad ha de ser *consistente*, en el sentido estricto de la palabra; el cuerpo de creencias que posee ha de ser *coherente*. Todos estos términos han de ser cuidadosamente estudiados, y esto sobrepasa este trabajo. Puede consultarse nuestra obra citada, *Filosofía de la Probabilidad*.

Salvadas estas dificultades, la probabilidad subjetiva se integra plenamente en las "teorías positivistas" de la ciencia. En un sentido directo y correcto, la lógica de las "creencias científicas" es trivial cuando los estados de la naturaleza son conocidos. La cosa se complica en ambiente de incertidumbre. Admitida la probabilidad subjetiva, la lógica inductiva que se apoya en ella, es una clara extensión de la lógica deductiva clásica, y el carácter de esta extensión, en términos generales, es hoy claramente reconocido. Pero faltaríamos a los cánones de la filosofía si este "status" ontológico de la probabilidad subjetiva nos impidiera ver en ella dificultades aún no superadas totalmente.

3.3. Interpretaciones axiomáticas

Las interpretaciones de la probabilidad anteriores describen aspectos del mundo observable. Su variedad está justificada por el gran número de aplicaciones que reciben en prácticamente todos los campos del saber. Algunas pueden explicarse por la mutación o extensión natural de otras; en ningún caso es posible reducirlas a una sola por no ser válidas todas las transiciones de unas a otras. Ante estas dificultades se ha apelado a introducir la probabilidad axiomáticamente. Así concebida, la probabilidad es un indefinible. Su estructura no está, por su misma naturaleza, relacionada con algo observado o experimentado, algo que esté fuera de la mente. Existe en el vacío por derecho propio de su esencia como ente lógico. El

concepto de probabilidad, así concebido, existe únicamente como sujeto de un sistema de relaciones y su significado viene delimitado por el sistema de axiomas.

La teoría de la probabilidad se erige así como una rama de la matemática, un capítulo de la teoría de la medida. Aporta, en cambio, una estructura abstracta inmensamente fecunda que permite obtener probabilidades complejas a partir de otras más simples, sin tener en cuenta el valor concreto de unas u otras.

Como toda teoría matemática pura, el tratamiento axiomático de la probabilidad es de nula utilidad práctica en tanto no se den a sus términos indefinidos interpretaciones concretas, esto es, definiciones semánticas que conviertan los axiomas del cálculo en aserciones significativas.

Ahora bien, no es posible dar una aplicación específica a una teoría pura sino mediante convenciones adicionales, no derivables de consideraciones estrictamente matemáticas. El establecimiento de estas convenciones suele eludirse en los libros de texto y en las aulas; suele considerarse como una tarea básicamente práctica que no necesita de ninguna discusión teórica. Se proclama, por el contrario, que debe entenderse por probabilidad todo cuanto satisface los axiomas de la teoría de la probabilidad y sólo aquello. Ciertamente, a la probabilidad así definida pueden aplicarse las conclusiones de la teoría matemática.

3.4. Uso y abuso de las interpretaciones de la probabilidad

Las *teorías frecuenciales* se apoyan en la descripción del pasado para predecir el futuro, pero tienen el inconveniente de que los experimentos nunca son repetidos con exactitud. No logran superar la barrera de “no efectividad” a pesar de ser suplementados por reglas de estimación. Se mantienen en su empleo muy generalizado, merced a un *cláusula metafísica*: la fe en las previsiones anunciadas, en base a la *estabilidad de las frecuencias*. Su uso es debido a razones psicológicas y metafísicas; estas razones son insuficientes, en sí, para

que sean avaladas por la ciencia, salvo que funcionen bien; esto es precisamente lo que ocurre con las interpretaciones frecuenciales: funcionan bien y constituyen los cimientos de la estadística.

La gente tiende a no ver la laguna lógica que existe entre la probabilidad y las frecuencias. Las teorías frecuenciales han permitido estudiar fenómenos en los que no hay ninguna relación aparente entre causa y efecto. Se estudian muestras pequeñas, cuya evidencia se amplía con revisiones sucesivas. No hay nada en las teorías frecuenciales que se oponga a las reglas de racionalidad.

El nacimiento de las *teorías propensivistas* tiene su origen en la falta de "efectividad" de las teorías frecuenciales. Es, como dijimos, una visión de lo físico empírico "ex ante" de experimentar. La probabilidad física es así dilucidada, pero no definida. Es una característica "irreducible", no directamente observable, del mundo físico, pero que ha de ser creída sin que importe cómo se llega a esa creencia. Hay una tendencia entre los científicos a creer que debe existir algún concepto de la naturaleza u origen físico que ayude a una mejor comprensión de la ciencia.

La propensión se apoya, y está asociada, a las condiciones que generan los sucesos, y no a los mismos sucesos. Estas condiciones han de estar bien definidas, lo contrario de lo que sucede con la probabilidad subjetiva. Pero, como ésta, tiene el inconveniente de no ser (por ahora) medible directamente; Popper acude para esta medida a los resultados "ex post", esto es, a las frecuencias. Su mejor uso ha de ser en mecánica cuántica. El día que se logre una cuantificación directa de las propensiones, en base a una ordenación lineal de las mismas, se habrá dado un paso hacia las aplicaciones a otros campos.

La *probabilidad lógica* murió, en parte, con Carnap en 1961. Ha sido sustituida por el neorrealismo angloamericano: realidad frente a idealismo. Fue combatida por el empirismo radical de Ayer, que rechaza lo formal. Algunos probabilistas modernos, como Beneson y Horwich, pretenden instaurar una teoría lógico-relacional de carácter

objetivo, con concesiones a la subjetividad, explotando el sentido lógico de la probabilidad como fuente de estimaciones racionales de la probabilidad empírica. Pretenden dar así sentido a series de estimaciones infinitas falibles. El principal problema de la teoría lógico-relacional es explicar la *evidencia total disponible*, que nunca es lograda ni estadística ni técnicamente. El fracaso de Carnap y su escuela, en el problema de la decidibilidad finita, lo suplen en las nuevas teorías científicos y estadísticos mediante estimaciones basadas en pequeñas muestras, según los cánones de la inferencia estadística.

La dificultad máxima del logicismo es encontrar una medida única de los grados de creencia. Carnap dejó graves problemas en herencia a la lógica inductiva, que ha buscado otros caminos, principalmente en estadística y teoría de la decisión.

La *probabilidad clásica*, como todas las comentadas anteriormente, tiene un uso restringido. Da resultados aceptables cuando el conocimiento de la evidencia relevante, que soporta cada una de las alternativas posibles, permita aplicar sin ambigüedades el principio de indiferencia. Las alternativas deben ser *distinguibles* y *equiprobables*. Pero pretender estas probabilidades únicas a partir de la ignorancia o poco conocimiento es oscurecer el concepto mismo de probabilidad, que no deja de ser un modo de conocimiento.

Las dos virtudes de la definición de Laplace son la sencillez y los éxitos prácticos. Sus fallos provienen de la mezcolanza que hace de conceptos objetivos y subjetivos, de su *circularidad* (en la definición) y de su aplicación restringida al cumplimiento del principio de indiferencia.

La *probabilidad subjetiva* está de algún modo presente en todo juicio de probabilidad, por el mero hecho de que el acto de juzgar es propio de personas. En el horizonte de la probabilidad debe aparecer siempre un observador. Pero esto no significa, como quieren los subjetivistas radicales, que toda la probabilidad sea subjetiva, ni siquiera que su uso sea el mejor en todas las situaciones. Cuando las condiciones generadoras de la probabilidad están bien definidas,

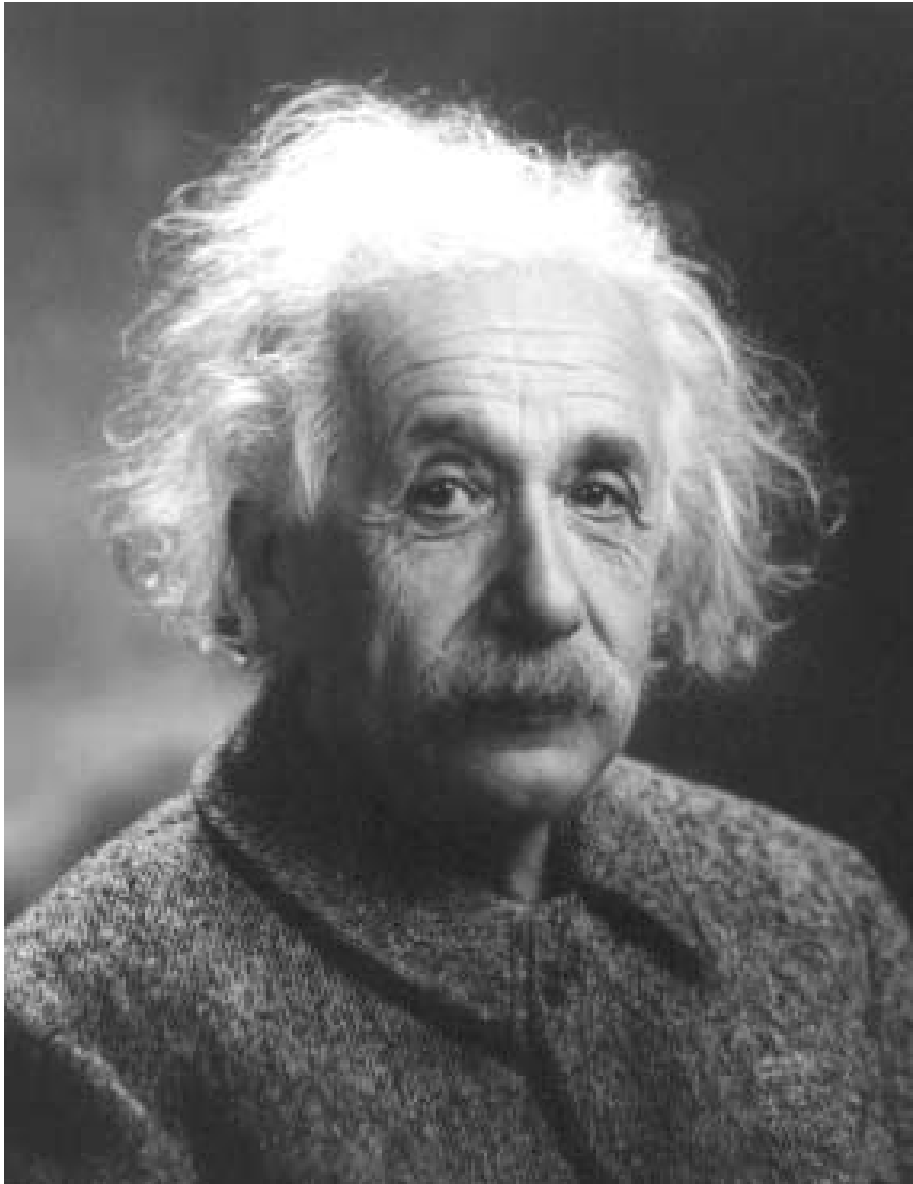
darán mejor resultado otras interpretaciones objetivas; la probabilidad subjetiva se hará, en cambio, imprescindible cuando tales condiciones estén mal determinadas o el fenómeno sea irreproducible. En casos en que las condiciones del fenómeno son perfectamente objetivas, como en el lanzamiento de dados o monedas, la probabilidad subjetiva es poco satisfactoria.

Los juicios de probabilidad subjetiva, no formalizados, están impresos en el alma popular, que los formula constantemente. Una probabilidad subjetiva formalizada puede hacerse siempre de las probabilidades obtenidas por el resto de las teorías. La probabilidad subjetiva puede ser el último recurso, cuando las otras teorías fallan, para obtener enunciados de probabilidad.

Las *teorías axiomáticas* son ampliamente utilizadas en la formalización de muchos modelos. Con todo, contienen fallos importantes: no arrojan apenas luz acerca de lo que es la probabilidad en sí. Necesitan asunciones suplementarias para su posible interpretación práctica, proporcionadas por otras teorías. La formulación matemática resuelve el problema de la medida, pero deja abierta la cuestión de la valoración de las probabilidades estimadas. Fréchet, uno de los padres de las axiomáticas frecuentistas, se expresa claramente sobre este punto⁴³: “es rigurosamente imposible obtener aplicación concreta alguna, cualquiera que fuese, de la teoría axiomática sola”.

Las ventajas del tratamiento unificador para todas las teorías, y la solución de muchos problemas, antes irresolubles, gracias a la axiomática, son incuestionables.

⁴³ M. Fréchet, *Problemas científicos y filosóficos* (México 1958).



Albert Einstein.

Cap. 4. La cosmología contemporánea

*Hay más cosas en el cielo y en la tierra,
Horacio, que las que se pueden soñar en tu
filosofía. (Shakespeare, Hamlet).*

*Me temo que el universo no sólo es más
misterioso de lo que nos imaginamos, sino más
misterioso de lo que nos podemos imaginar.
(J. B. S. Haldane).*

*Lo único incomprensible en el universo es
que sea comprensible. (A. Einstein).*

En los siglos XVII y XVIII, principalmente con los descubrimientos de Galileo sobre las leyes del movimiento - *Leyes de Galileo* (1602 y 1609) - se inicia un nuevo estilo en el estudio de la cosmología. En este nuevo estilo se da importancia preeminente a la física y a la matemática, y se utilizan nuevos instrumentos de observación: no olvidemos la construcción del telescopio de Galileo y el tratado *Dioptrice* de Johannes Kepler. Resultado de estos avances fueron las "leyes de Kepler" y el triunfo de la teoría heliocéntrica, de la que ya hemos hablado en el Capítulo 1. Mencionemos algo más sobre su concepción del espacio.

Isaac Newton representa toda una revolución en cosmología. Hay un doble espacio: uno relativo y otro absoluto. Dios, independientemente de las cosas, ha hecho el espacio y el tiempo absolutos, como medios para ejercer su omnipresencia en todas las cosas, tiem-

pos y lugares. El espacio no se identifica con Dios ni es un atributo divino, pero es distinto e independiente de las cosas. Tampoco es una forma vacía, sino el medio o el órgano por el cual Dios manifiesta su presencia en el mundo y percibe inmediatamente los estados de las cosas. El espacio puede llamarse el “sensorio” de Dios, pues “solamente aquello que está presente puede ser sentido por lo que está presente”¹.

Leibniz tiene un profundo sentido de la pluralidad y diversidad de las sustancias; pero, a la vez, también de la unidad del universo, en virtud del orden jerárquico y conexión armónica de todas las entidades que lo integran. Con la precisión del matemático, define en su *Teodicea*²: “Yo llamo mundo a toda la serie y colección de cosas existentes, para que no se diga que puedan existir muchos mundos en diferentes tiempos y lugares”. El universo es uno. En la naturaleza no hay hiatos, saltos ni vacíos. Todas las cosas están unidas, entramadas y compenetradas hasta el infinito en una interdependencia espacial y temporal. El universo es infinito, porque es el reflejo, la representación, la fulguración de Dios. No puede estar limitado por la nada, porque la nada no existe; ni por otra cosa, porque ésta pertenecería a su vez al universo, y no lo limitaría. El universo se constituye por una multitud ilimitada de sustancias simples, cada una de las cuales es, a su manera, imagen de todo el universo y del Creador. En el universo reina un orden perfecto: en el material, en virtud de las causas eficientes, y en el de las almas, por las leyes morales y las causas finales. Entre los cuerpos y las almas hay una armonía perfecta. De la diversidad, de la jerarquía organizada y del orden resulta la belleza del universo.

Como precursor de las teorías cosmogónicas modernas hemos de citar a Kant. Para **Kant**, el caos uniforme primitivo era inestable; a la formación de una pequeña concentración, siguió un desequilibrio, los materiales afluyeron a esta concentración y aumentó de ese modo el núcleo central. En la caída de materiales diversos sobre el núcleo, sus

¹ Cf. S. Gutiérrez Cabria, *Dios, ciencia y azar*, BAC (Valencia 2003)

² G. Leibniz, *Teodicea* (Madrid 1928).

acciones mutuas determinarían desviaciones cuyo resultado fue una circulación común en el mismo sentido y en la misma dirección. Por la atracción universal, fueron acumulándose los elementos y dando lugar a los planetas, como núcleos secundarios de condensación.

4.1. Cosmogonía de Laplace

Existían muchas hipótesis cosmogónicas desde muy antiguo, pero no adquirieron suficiente precisión como para ser examinadas cuantitativamente. La cosmogonía de Laplace emplea los métodos de la mecánica y el análisis matemático disponibles en su tiempo para dar una explicación sobre el origen del cosmos.

*Pierre Simon Laplace*³ parte de la regularidad del sistema solar, donde las revoluciones de los planetas y satélites se verifican en el mismo sentido, y de esta circunstancia, así como de que las órbitas son casi circulares y están en un mismo plano, se enuncia la hipótesis de un origen común. Este origen común es, para Laplace, una nebulosa muy extensa girando alrededor de su eje. La nebulosa, dice Laplace, no pudo estar “difusa” si giraba, porque la cohesión de las moléculas alejadas sería menor que la fuerza centrífuga, y aquéllas escaparían. Por consiguiente, la nebulosa está limitada por la superficie en la que la fuerza centrífuga equilibra la gravedad.

Ahora bien, por efecto de la radiación al exterior, la nebulosa se enfría. Al enfriarse se contrae. Supongamos que existe en la nebulosa un núcleo central, factor principal de su cohesión. Las partículas, al contraerse la nebulosa y al estar sujetas a la fuerza central, conservan el momento de la cantidad de movimiento; el área descrita en la unidad de tiempo por el radio vector es constante, y disminuyendo la distancia al núcleo por efecto de la contracción, debe necesariamente aumentar la velocidad. Las partículas situadas en los “paralelos” alejados del “ecuador” se acercarán a éste, en virtud de la contracción, pero en las situadas cerca del ecuador, el aumento de velocidad puede compensar la acción gravitatoria. Si es compensada,

³ S. Laplace, *Œuvres complètes de Laplace* (París 1878).

rompen su cohesión con la nebulosa y se separan de ella en forma de un anillo ecuatorial.

Estos anillos originaron, según Laplace, los planetas. He aquí cómo: El rozamiento entre las partículas constituyentes empezó por hacer que las velocidades en las trayectorias fueran proporcionales a los radios, moviéndose el anillo como se movería un sólido rígido. Pero este anillo sería inestable, y, por serlo, se fraccionaría. De este fraccionamiento vienen a resultar condensaciones de materia nebulosa, que, agrupándose por atracción mutua darían lugar a la nebulosa origen del planeta. Esta nebulosa giraría en sentido directo, el de la rotación del anillo primitivo, y sería a su vez origen del sistema de satélites a la manera como antes se ha originado el sistema de planetas.

Esta teoría no explica, entre otras cosas, los siguientes hechos: por qué Urano, Neptuno y sus satélites giran en sentido retrógrado; por qué giran también en sentido retrógrado los satélites más alejados de Saturno y Júpiter; por qué la mitad interior de los anillos de Saturno y el primer satélite de Marte, Fobos, giran en sentido del planeta, durando su revolución menos que la de éste; por qué sólo en Júpiter coincide el plano de su ecuador con el de su órbita.

A lo largo de todo el siglo XIX y parte del XX se desarrollaron distintas teorías con el fin de completar o modificar la de Laplace. Debemos citar, como más salientes, las de Roche, que hizo un análisis cuantitativo de la de Laplace intentando hallar las superficies equipotenciales; la de Faye, que partía de una nebulosa sin núcleo; la de Moulton, basada en la hipótesis de nebulosas en espiral, y la de See, quien imagina que los planetas son extraños al sistema solar y que en tiempos remotos cayeron dentro de su esfera de acción, dentro de una atmósfera densa que rodeaba entonces al Sol.

Se conocen otras teorías, entre las que citaremos las de Arrhenius y Belot. Pero aunque cada teoría explica determinados hechos a su manera, partiendo a veces de extrañas hipótesis, ninguna de ellas da una explicación completa del origen del universo. Hoy son todas ellas recuerdo histórico ante los últimos avances de la cosmología.

4.2. El universo de Albert Einstein

Tanto Aristóteles como Newton creían en el tiempo absoluto. Pensaban que se podía medir inequívocamente el intervalo de tiempo entre dos acontecimientos, y que dicha medida sería la misma si la efectuaban dos personas que usaran un buen reloj. Se consideraba al tiempo totalmente separado e independiente del espacio. Esto es, por otra parte, lo que se conforma al sentido común. Sin embargo, los nuevos hallazgos de la ciencia nos obligan a cambiar nuestras ideas acerca del espacio y del tiempo. Las nociones que nos sugiere el sentido común funcionan bien cuando se usan en el movimiento de las cosas comunes, como por ejemplo balones o planetas, que viajan con velocidades relativamente lentas; pero cuando se aplican a cuerpos que se mueven con velocidades próximas a la de la luz, ya no funcionan en absoluto.

La teoría de Maxwell predecía que las ondas luminosas debían viajar a una velocidad constante. En 1887 Albert Michelson y Edward Morley llevaron a cabo un cuidadoso experimento consistente en comparar la velocidad de la luz en la dirección de la Tierra con la velocidad de la luz en la perpendicular a dicho movimiento. Ambas velocidades resultaron ser exactamente iguales. Entre 1887 y 1905 hubo distintos intentos por explicar el experimento de Michelson-Morley. El principal corrió a cargo del físico holandés Hendrik Lorentz, que hablaba de "contracción de los objetos" o de "retardo de los relojes" cuando estos se mueven a través del éter.

En 1905, en un famoso artículo, **Albert Einstein** señaló que había que abandonar la idea de tiempo absoluto. Con este postulado se indicaba la base en la que se apoyaría la nueva teoría llamada de la *relatividad general*: para todos los observadores en movimiento libre, independientemente de cuál fuera su velocidad, las leyes de la ciencia deberían ser las mismas. Esta idea tan simple tendría como consecuencia la equivalencia entre masa y energía. Y otra, también notable, es el cambio de nuestras ideas acerca del concepto de espacio y tiempo. En la teoría de la relatividad general el espacio y el

tiempo son cantidades dinámicas; cuando un cuerpo se mueve o una fuerza actúa, queda afectada la *curvatura* del espacio y del tiempo, y, en contrapartida, la estructura del *espacio- tiempo* afecta al modo en que los cuerpos se mueven y las fuerzas actúan.

Estos nuevos conceptos del espacio y del tiempo iban a revolucionar nuestra imagen del universo. Vamos a intentar dar una noción intuitiva de ellos. Figurémonos una extensión plana, como la superficie de un billar sobre la que colocamos dos o más bolas. No existe razón alguna para que se atraigan, y seríamos los primeros en sorprendernos si viésemos a dichas bolas precipitarse unas contra otras. Pero supongamos ahora que nuestra superficie experimental, en lugar de ser el plano perfectamente rígido y horizontal de una superficie de mesa de billar, sea, por ejemplo, un edredón. Si encima de éste colocamos una masa cualquiera, una bola de billar como en la experiencia indicada, o simplemente una pequeña bolita cualquiera, produciremos una deformación de la superficie, tanto más importante cuanto más considerable sea la masa de aquélla.

En estas condiciones, si al lado ponemos igualmente sobre el edredón otra bola, comprobaremos que esta última, como consecuencia del hueco formado por la precedente, se precipitará hacia ella, hasta que ambas masas se encuentren reunidas en el fondo, observándose que la fuerza con que la segunda masa se precipitará hacia la primera será tanto más considerable cuanto más pronunciado sea el hueco, es decir, cuanto más importante sea aquella primera masa.

Una conclusión se impone en seguida: la de que no hay, propiamente hablando, atracción de las bolas entre sí, pudiéndose solamente decir que el hecho de colocar una masa en el edredón crea un hueco que atraerá la masa vecina. No es, pues, la masa la que actúa sobre la masa; aquélla no hace más que deformar el espacio, de suerte que la otra masa se halla sometida a una influencia totalmente extraña.

Son consideraciones de este mismo tipo las que desarrolló Einstein en su teoría de la relatividad para explicar la gravitación a través

del universo. Según el ilustre físico, asistiríamos, *grosso modo*, a fenómenos comparables a los expuestos, salvo que la superficie del edredón es un continuo de dos dimensiones, en tanto que el espacio es un medio de tres. Pero, según Einstein, se impone generalizar que cuando una masa se halla apostada en un punto cualquiera del universo, resulta de ello una verdadera curvatura del mismo en dicho punto, al igual que la superficie del edredón resultaba curvada por la bola de billar. Esta curvatura, tanto más importante cuanto más importante es la propia masa, constituye de hecho una verdadera “deformación” del universo, de donde resulta que las masas próximas serán atraídas al hueco así formado.

El universo no será, pues, como lo imaginábamos antaño, un medio regular con líneas de referencia equidistantes y rigurosamente paralelas, repartidas según las tres dimensiones clásicas, sino un medio turbulento que reproduce en el espacio las deformaciones de una superficie de edredón, sobre la cual se ha colocado un cierto número de masas de diversa importancia.

Es así como se llega a concebir una *cuarta dimensión* sobre la cual se ha escrito tanto y que a menudo se ha malinterpretado. Si en el espacio de tres dimensiones hablamos de deformaciones, de curvaturas, de huecos y de atracción de masas hacia éstos, es necesario que se produzcan por el efecto de una fuerza (inconcebible a nuestros sentidos) que sería perpendicular a todo el espacio por entero, en una palabra, que vendría dirigida según una cuarta dimensión. Esto explica por qué el universo relativista es cuatridimensional, siendo la cuarta dimensión el tiempo.

Por otra parte, es práctico acudir a representaciones que el uso corriente ha hecho familiares. Entre éstas, las más naturales e intuitivas son las referentes al espacio y al tiempo. Ambas parecen esencialmente distintas. Podemos, por ejemplo, volver sobre nuestros pasos en el espacio, pero el tiempo pasado no vuelve jamás. De este modo, la observación del mundo que nos envuelve nos ha hecho concebir un espacio de tres dimensiones. Toda la ciencia clásica se

basa en esto. Los resultados obtenidos partiendo de ella se verifican en todos los casos corrientes, y Einstein pudo establecer que esta correspondencia se basaba enteramente en la gran velocidad de la luz; pero el acuerdo cesa desde el momento en que se consideran los inmensos espacios y las enormes duraciones que intervienen en astronomía.

Este universo *espacio-tiempo* tiene propiedades que no es fácil imaginar mentalmente. Dicho universo es, en efecto, ilimitado sin ser infinito, y posee una curvatura variable en cada punto, según la cantidad de materia acumulada en cada uno. Es algo así como una especie de burbuja de jabón, cuya superficie se hallase arrugada de manera irregular y cuya curvatura pudiese aumentar por aproximación o separación de las masas. El universo no es el interior de la burbuja, sino su superficie. Hay que recordar además que la burbuja tiene tres dimensiones, mientras la burbuja-universo tiene cuatro, tres del espacio y una del tiempo.

4.3. La expansión del universo y el “big bang”

Einstein postuló un universo curvado, ilimitado, finito y estático. Estaba tan seguro de que el universo tenía que ser *estático* que modificó su teoría de la relatividad para hacer que ello fuera posible, introduciendo en sus ecuaciones la llamada *constante cosmológica*. Introdujo una fuerza “antigravitatoria” que estaba inserta en la propia estructura del espacio-tiempo. Sostenía que en el espacio-tiempo existía una tendencia intrínseca a la expansión, y que esta constante tendría un valor que equilibraría exactamente a la atracción de toda la materia en el universo, logrando así la existencia de un universo estático. El holandés **W. de Sitter**, el ruso **A. Friedmann** y el belga **G. Lemaître** probaron la inestabilidad del universo de Einstein, siendo conducidos por consideraciones teóricas a la hipótesis de un universo en expansión. Georges Lemaître fue el primero que postuló que hubo un “átomo primitivo”, formado por toda la masa del universo en estado de fluido nuclear denso, cuya explosión hubiera dado lugar al mundo que hoy contemplamos: es el *big bang*.

Uno de los problemas más interesantes que plantea la evolución del universo es el desplazamiento hacia el rojo de las rayas espectrales de las nebulosas. Los hechos que fueron objeto de observación son los relativos a las nebulosas en espiral, objetos extragalácticos situados a distancias enormes de nosotros, de dos a miles de millones de años-luz. Las distancias que nos separan de las nebulosas se han podido determinar gracias a las estrellas más brillantes de las mismas, que suelen ser las variables *cefeidas*, con un período de variación luminosa debido a una pulsación física de la estrella. Uno de los descubrimientos más importantes de la astronomía es la relación que existe entre el brillo de una estrella variable cefeida y su período de variación; esta ley permite determinar el brillo real de una de estas estrellas conociendo su período. El conocimiento del brillo real de esta estrella conduce al de su distancia y, por consiguiente, a la de la nebulosa a la que pertenece.

Se debe a **Edwin Hubble**, del Observatorio de Monte Palomar, la determinación de las distancias de tres nebulosas en las que se descubrieron variables cefeidas. El corrimiento de las rayas H y K de su espectro hacia el rojo, de ser debido a un *efecto Döppler-Fizeau*⁴, acusaría velocidades de alejamiento fácilmente calculables. Hubble y Humason encontraron en 1929 que la nebulosa más lejana está dotada de una velocidad de alejamiento de 20.000 km. por segundo. La explicación de estos hechos constituyó uno de los problemas más difíciles de la astronomía.

Si la expansión del universo fuera muy lenta, quedaría frenada por la fuerza de la gravedad; si se expandiera más que un cierto valor crítico, no habría freno, y la expansión del universo continuaría por siempre. La situación es análoga a la que se da cuando se lanza un cohete hacia el espacio desde la Tierra. Si el cohete lleva una velocidad relativamente baja, acabará parándose frenado por la gravedad

⁴ El corrimiento de las rayas se debe a la variación de la frecuencia en la luz. Si la estrella se aleja, la frecuencia de ondas será menor que en el supuesto estacionario; lo contrario ocurrirá si se acerca. Las estrellas que se alejan tendrán espectros desplazados hacia el rojo, y las que se acercan, hacia el azul. Esta relación entre frecuencias y velocidades es el efecto Döppler-Fizeau.

y caerá de nuevo a la Tierra. Si lleva una cierta velocidad superior a la "crítica" (unos once km por segundo), la gravedad no podrá pararlo y se alejará de la Tierra definitivamente. Hawking⁵ anota que "este comportamiento del universo podría haber sido predicho a partir de la teoría de la gravedad de Newton, en el siglo XIX, en el XVIII, o incluso a finales del XVII". Pero la idea de un universo estático estaba tan arraigada que el propio Einstein introdujo en 1915 la constante cosmológica en sus ecuaciones, como hemos visto.

El universo se expande en todas las direcciones, como lo prueba la llamada "radiación galáctica", descubierta en 1965 por **Arno Penzias** y **Robert Wilson**, la cual proviene de todas las direcciones. Se sorprendieron estos físicos al encontrar que su detector de sonidos captaba más ruido del esperado. Este ruido no parecía provenir de ninguna parte; no se detectaba su dirección ni su intensidad. Además era el mismo de día que de noche, y el mismo en todas las estaciones del año, a pesar de los movimientos de la Tierra. Esto hacía pensar que la radiación debía provenir de más allá del sistema solar, e incluso de más allá de nuestra galaxia. De hecho, hoy sabemos que esa radiación ha viajado hasta nosotros a través de la mayor parte del universo observable. Es una radiación uniforme, muy poco intensa, análoga a la de un cuerpo a muy baja temperatura, una especie de residuo fósil de la luz y calor que acompañó los inicios del universo. Así, Penzias y Wilson encontraron inconscientemente una confirmación de lo que con anterioridad había predicho Alexander Friedmann, y que se resume en estas dos suposiciones muy simples: que el universo parece el mismo en cualquier dirección desde la que se lo observe, y que ello también sería cierto si se le observara desde cualquier otro punto.

George Gamov, discípulo de Friedmann, había formulado la hipótesis según la cual el universo en sus primeros instantes debió haber sido muy caliente y denso. De acuerdo con esto, Bob Dicke

⁵ S. Hawking, *A brief history of time. From the big bang to black holes* (Nueva York, 1988). Trad. española: *Historia del tiempo, del big bang y de los agujeros negros* (Barcelona 1989).

y Jim Peebles, de la universidad de Princeton, pensaron que la luz proveniente de lugares muy lejanos, producida en los inicios del universo, estaría llegándonos ahora y sería la que acababan de descubrir Penzias y Wilson.

Friedmann había propuesto un solo modelo de expansión, aunque de sus suposiciones se pueden deducir otros dos. En el primero, el universo se expande con suficiente lentitud para que la atracción gravitatoria entre las diferentes galaxias sea capaz de frenar y luego detener la expansión: las galaxias se acercan y el universo se contrae. A lo largo del tiempo, tomado como abscisa, la separación entre dos galaxias sigue una curva como la trayectoria de un proyectil lanzado que logra su impacto. El espacio está curvado sobre sí mismo, análogamente a como aparece la superficie de la tierra. Es, por lo tanto, finito en extensión. En el segundo modelo, la expansión es tan rápida que la atracción no puede parar la expansión del universo, aunque la frene. La curva de separación entre dos galaxias empieza en cero y crece de modo constante perdiéndose en el infinito. En este caso el espacio es infinito. En el tercero, el universo se expande con velocidad cada vez más pequeña logrando la "velocidad crítica" de expansión; el espacio no está curvado, y, por lo tanto, también es infinito. La curva de separación entre las galaxias es de forma parabólica.

La cosmología parece señalar que el universo no es eterno, que tendrá un final, aunque sea muy remoto. No podrá escapar a una de estas dos posibles muertes: por frío o por fuego. En el primer caso se habla de "universo abierto": su expansión prosigue indefinidamente; las galaxias se pierden en el infinito; las estrellas se extinguen una a una, después de haber irradiado sus últimas reservas. La materia misma se disgrega y las últimas motas cósmicas de polvo son engullidas por el inmenso "agujero negro"⁶ en que se ha convertido el

⁶ Hawking explica así (ver *Agujeros negros y Pequeños Universos*, Barcelona 1993) el origen de los agujeros negros: "Cuando la estrella haya consumido su combustible nuclear, nada quedará para mantener la presión exterior y el astro comenzará a contraerse por obra de su propia gravedad. Al encogerse la estrella, el campo gravitatorio de su superficie será más fuerte, y la velocidad de escape ascenderá a los 300.000 km. por segundo, la velocidad de la luz. A partir de ese momento, la luz emitida por esa estrella no podrá escapar al infinito porque será retenida por el

universo agonizante. El espacio-tiempo se reabsorbe y todo vuelve a la nada. En el segundo, la masa total llega a ser superior a un cierto valor crítico y la fase de expansión alcanza su fin. Toda la materia existente se comprime hasta convertirse de nuevo en un simple punto matemático que anula el espacio y el tiempo.

Todas las soluciones de Friedmann se avienen a que en un tiempo dado (hace 10 a 20 mil millones de años), la distancia entre las galaxias debió ser cero. En ese instante, el *big bang caliente* (o simplemente *big bang*), la densidad del universo y la curvatura del espacio- tiempo debieron ser infinitas. A esto llaman los matemáticos un *punto singular*. En 1970, Roger Penrose y Stephen Hawking demostraron, basados en la teoría general de la relatividad de Einstein, que "debe haber habido una singularidad como la del *big bang*, con la única condición de que la relatividad general sea correcta y que el universo contenga tanta materia como la que observamos"⁷.

La hipótesis del *big bang caliente* es hoy generalmente aceptada por la comunidad científica, pues se asienta en observaciones y razonamientos bien fundados. En primer lugar, está el hallazgo de Hubble. En segundo lugar, están las observaciones llevadas a cabo sobre las nebulosas más alejadas de nosotros, cuya composición y movimiento denotan objetivamente la antigüedad del universo. Existe, en tercer lugar, el testimonio de la radiación galáctica, o "radiación de fondo", descubierta por Penzias y Wilson. Otra razón a favor del *big bang* la proporciona la gran cantidad de helio, del orden del 25

campo gravitatorio. De acuerdo con la teoría especial de la relatividad, nada puede desplazarse a una velocidad superior a la de la luz, así que nada escapará si la luz no consigue salir. El resultado será un agujero negro: una región del espacio-tiempo de la que no es posible escapar hacia el infinito. La frontera del agujero negro recibe el nombre de horizonte de sucesos. Corresponde a una onda luminosa de choque procedente de la estrella que no consigue partir al infinito, y permanece detenida en el radio de Schwarzschild: $2 GM/c$, donde G es la constante de gravedad de Newton, M es la masa de la estrella y c la velocidad de la luz".

Contrariamente a lo que ocurre en mecánica clásica, la mecánica cuántica permite que una partícula escape de un agujero negro. Un agujero negro "pequeño" es capaz de emitir partículas "masivas", mientras que un agujero negro con la masa del sol emitiría esencialmente partículas sin masa. La duración de un agujero negro aumenta con su masa; un agujero negro que tuviera la masa de Planck desaparecería en un tiempo del orden de la etapa de Planck. Un agujero negro "solar" viviría 10^{66} años.

⁷ Op. cit.

por ciento de la masa total, existente en el universo. La propia edad de las estrellas aboga a favor del *big bang*, pues los datos relativos a las más antiguas señalan una edad entre los doce y los quince mil millones de años, lo cual es coherente con la duración del universo desde su supuesta aparición. La creencia en la singularidad asociada al *big bang* se ha impuesto gracias al éxito del modelo estándar; pero, cosa digna de señalar, ni este modelo ni la física en general nos permiten describirla: las leyes físicas no pueden aplicarse a un punto de densidad de materia y de energía infinitas.

Es natural preguntarse qué pasó después del *big bang*. Piensan los astrofísicos que al *big bang* siguieron cinco etapas de formación del universo (cuántica, hadrónica, leptónica, radiante y galáctica), y describen con cierta minuciosidad lo que ocurrió en cada una. Aquí sólo diremos que, cada vez que se duplicaba el universo, la temperatura disminuía a la mitad. Un segundo después del *big bang*, la temperatura bajó a unos diez mil millones de grados. El universo contendría entonces fotones, electrones, neutrinos y sus antipartículas, junto con algunos protones y neutrones. Cien segundos después, la temperatura bajaría a mil millones de grados. Los protones y neutrones no tendrían bastante energía para vencer la atracción de la *interacción fuerte molecular* y se combinarían juntos para producir los núcleos de átomos de deuterio (hidrógeno pesado), que contienen un protón y un neutrón. Éstos se combinarían, a su vez, para producir helio (dos protones y dos neutrones). Horas después, la producción de helio y otros elementos debió detenerse. Durante el millón de años que siguieron, el universo continuó expandiéndose. Cuando la temperatura descendió a unos miles de grados, y los electrones y los núcleos no tuvieron suficiente energía para vencer la *atracción electromagnética* entre ellos, comenzarían a combinarse para formar átomos. Conforme algunas regiones se fueron condensando, el tirón gravitatorio, debido a la materia situada fuera de esas regiones, empezaría a hacerlas girar. El proceso continuó.

Los astrofísicos toman como punto de partida 10^{-43} segundos después de la explosión general. En ese momento todo lo existente

estaría contenido en una esfera de 10^{-33} cm. de radio. La temperatura sería del orden de 10^{32} grados. Estamos aquí frente al llamado *muro de Planck de la temperatura*, una frontera de calor extremado, más allá de la cual la física se derrumba. Más acá de ese "muro" podemos deducir, por ejemplo, que entre 10^{-35} y 10^{-32} segundos el universo se hincharía 10^{50} veces; pasaría del tamaño del núcleo de un átomo al de una manzana de 10 cm. de diámetro. Es la llamada "era inflacionaria". Pero al no poder traspasar ciertas barreras, los físicos no pueden explicar la aparición del universo. Pueden remontarse hasta 10^{-43} segundos, pero no más allá. Tropiezan con el muro de Planck. Más allá, la gravedad levanta una barrera infranqueable; 10^{-43} segundos es el llamado *tiempo de Planck*.

Queda pendiente la pregunta: ¿Qué había antes del *big bang*? Mejor aún, ¿que función de energía y materia, de espacio y tiempo, hizo posible el *big bang*?

4.4. El modelo estándar del "big bang"

El modelo estándar del *big bang* predice la existencia de radiación y materia en equilibrio térmico ya desde los primeros momentos que siguieron a la explosión. Esta radiación se habría ido enfriando, manteniendo su carácter de radiación de cuerpo negro durante la época de recombinación hasta el presente. En la actualidad, unos quince mil millones de años después, la temperatura de la radiación de fondo habría bajado hasta los 2,7 grados Kelvin observados.

Este modelo estándar coincide esencialmente con el propuesto por Gamov en 1948, enriquecido con los nuevos conocimientos sobre las partículas elementales, e incorporando la llamada hipótesis de inflación. La expansión *inflacionaria* sería la que se dio al principio en que el universo debió doblar de tamaño en cada pequeña fracción de segundo. El modelo acoge la idea de que los cúmulos de galaxias se originaron a través de perturbaciones en la densidad de materia. Éstas a su vez tendrían su origen en fluctuaciones cuánticas, siendo "estiradas" enormemente durante el proceso inflacionario. Una vez desacopladas materia y radiación, toda acumulación de materia

resultaría de la atracción gravitatoria actuando en contra de la tendencia general a la expansión. Una de las virtudes de la hipótesis de inflación es que sus predicciones son lo suficientemente detalladas como para poder confrontarse con los datos experimentales. Estas predicciones parecen contradecirse con la observación de la gran estructura llamada la *Gran muralla*, consistente en un "muro" de galaxias de al menos 170 Mpc (Megaparsecs) de largo y de sólo 5 Mpc de espesor. Esta estructura se ha ido detectando a través de observaciones sucesivas, realizadas en los últimos años, de bandas estrechas del cielo centradas en torno al cúmulo de galaxias de la *Cabellera de Berenice*.

En el otro extremo de la cuestión están las medidas llevadas a cabo por el satélite COBE (Cosmic Background Explorer). Este satélite fue puesto en órbita terrestre a finales de 1989 y ha realizado una medida del espectro de la radiación de fondo cósmica de microondas, que ha resultado ajustarse perfectamente al espectro de radiación del cuerpo negro predicho por Planck, correspondiente a unos 2,7 grados Kelvin. Estas medidas mostraban una tendencia a la uniformidad en la radiación de fondo que empezó a ser preocupante. Si esto era realmente así, el modelo estándar no sólo no podría explicar la existencia de macroestructuras como la Gran Muralla, sino tampoco la de los cúmulos de galaxias ordinarios.

Los astrónomos eran conscientes de que un cierto nivel de *falta de uniformidad en la radiación de fondo* es necesario para explicar la formación de las galaxias. Por suerte, las medidas de 1992, más refinadas que las anteriores, arrojaron datos diez veces más precisos que los de 1990. Estas nuevas medidas, mostraron *irregularidades* en la radiación de fondo, confirmadas en tres diferentes longitudes de onda, tan amplias como era preciso para que se cumplieran las predicciones de Gamov.

Estos resultados establecen dos hechos: 1) La radiación de fondo debe provenir de "residuos" remotos del espacio-tiempo. 2) La entropía del universo debe ser enorme. La entropía describe, como

sabemos, el grado en el que se desvanece o disipa, o irradia como calor, la energía en un sistema cerrado, y deja de estar disponible para la ejecución de un trabajo. La entropía *específica* es la cantidad de disipación de energía por protón. La entropía específica del universo es enorme. Ninguna clase de fuentes astrofísicas puede proporcionarla, salvo el *big bang* caliente.

4.5. En torno a la frontera de la física

El teorema de Penrose-Hawking predijo que el espacio-tiempo empezó en la singularidad del *big bang* y que iría al final a otra singularidad, el *big crunch* (implosión, gran aplastamiento), según el primer modelo de Friedmann. Esta prueba se apoyaba en la teoría general de la relatividad de Einstein, la cual se aplica en situaciones normales del espacio-tiempo, porque entonces el radio de curvatura del espacio-tiempo es muy grande en comparación con la indeterminación en la posición de la partícula. ¿Qué ocurre en etapas muy tempranas (antes del tiempo de Planck) o muy tardías, cuando los campos gravitatorios son muy fuertes, los radios de curvatura muy pequeños, y los efectos cuánticos no pueden ignorarse? ¿Tiene, de hecho, el universo un principio y un final? Y si es así, ¿cómo son?

En esas singularidades (*big bang* y *big crunch*) no rige la teoría clásica; las partículas carecen de posiciones y velocidades bien definidas y se hallan dispersas en una pequeña región, conforme al principio de incertidumbre de la mecánica cuántica, que no permite medir simultáneamente la posición y la velocidad. Para debatir el origen del universo se necesita, pues, una teoría general que combine la relatividad general con la mecánica cuántica, la "Cosmología Cuántica". Esta teoría está por elaborar. Una aproximación es la moderna teoría de las "supercuerdas", en la que se está trabajando.

En la figura adjunta, tomada de M. Krauss y S. Turner, se representan tres modelos cosmológicos, ideados en tres momentos históricos. A la izquierda aparece el modelo de Einstein, un universo finito en el espacio, pero infinito en el tiempo, que permanece con tamaño fijo por toda la eternidad. Este universo no tiene ningún

límite espacial, y se curva sobre sí mismo en forma de círculo. Después del descubrimiento de la expansión cósmica, los cosmólogos construyeron un modelo de universo infinito en el que la expansión es frenada de modo continuo por la acción de la gravedad, llegando posiblemente a un colapso. Es el modelo representado en la figura del centro. En 1980, los teóricos añadieron una fase de crecimiento rápido llamada inflación, de la que hay actualmente gran evidencia. Las observaciones de los últimos ocho años han puesto de manifiesto que la expansión cósmica empezó a acelerarse hace unos cinco billones de años. Es el modelo representado por la figura de la derecha. La última suerte del universo –expansión continuada, colapso o desgarro (*big rip*)– depende de la naturaleza de la energía negra que conduce la expansión acelerada.

Consideramos ahora dos enfoques cosmológicos en los que sus autores se sitúan en la frontera de la Física, al difuminarse el carácter empírico-real típico de esta ciencia: el modelo de Hawking y el vacío cuántico. Un tercero sería el principio antrópico, en el que no entramos.

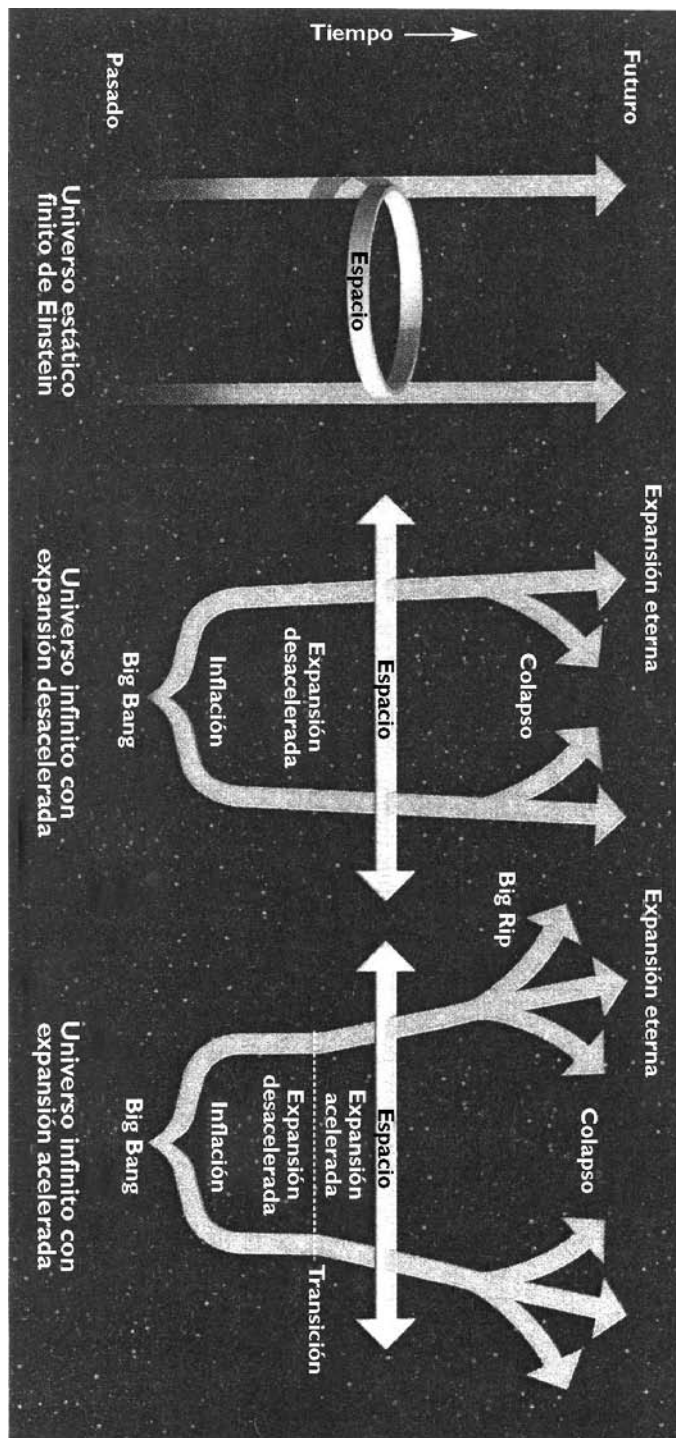
4.5.1. El modelo de Hawking

A partir de 1970 **Stephen Hawking** empezó a concebir la idea de que *quizás el tiempo y el espacio formen una superficie que sea finita en tamaño, pero que no tenga ninguna frontera ni ningún borde*⁸. Para formular su nuevo modelo, Hawking hace las siguientes hipótesis:

1º Adopta la representación de Einstein para el campo gravitatorio, mediante un *espacio-tiempo curvado*. Las partículas tratan de seguir un camino recto pero sus trayectorias se doblan por efecto de un campo gravitatorio.

2º Asume la propuesta de Feynman, según la cual la teoría cuántica ha de presentarse como una *suma de historias*: cada partícula posee en el espacio-tiempo una trayectoria (o historia posible) a la que va asociada una probabilidad.

⁸ Op. cit.



3º Las historias se desarrollan en *tiempo imaginario* (distinto del que percibimos al vivir) que, según Hawking, tiene una dirección perpendicular al tiempo real. Este tiempo hace desaparecer, en la etapa de Planck, la distinción entre tiempo y espacio.

Como resultado de estas hipótesis, Hawking llega a estas conclusiones. En la teoría clásica de la relatividad hay dos modos de comportamiento del universo: o ha existido durante un tiempo infinito, o tuvo un principio en una singularidad dentro de algún tiempo finito en el pasado. En la teoría cuántica hay una tercera posibilidad; al emplearse espacios-tiempo euclídeos, en los que la dirección del tiempo está en pie de igualdad con las direcciones espaciales, es posible que el espacio-tiempo sea finito en extensión, y que, a pesar de eso, no tenga ninguna *singularidad* que forme frontera o borde. Es como una superficie esférica pero con dos dimensiones más. Por ejemplo, la superficie de la tierra posee un área finita, pero no tiene singularidades, límites o bordes.

¿Qué es, pues, lo que esta propuesta predice para el universo? Como todas las historias posibles son finitas en magnitud, cualquiera que sea la medida del tiempo utilizada, se obtendrá un valor *máximo* y otro *mínimo*. Así, el universo tendría un *principio* y un *final*. En tiempo real, el principio sería la *singularidad del big bang*. Pero en tiempo imaginario el comienzo no sería un punto singular. Sería como el polo norte de la tierra, un punto ordinario del planeta en el que rigen las mismas leyes que en todos los demás. Análogamente, el final del universo en tiempo imaginario sería también un punto ordinario.

En el *aspecto científico*, Hawking es muy buen físico-matemático, pero su modelo contiene hipótesis que se alejan bastante de la realidad. Está basado en la aplicación de la mecánica cuántica a la geometría dinámica clásica, y postula la existencia de un superespacio-tiempo que es ontológicamente anterior al espacio-tiempo clásico, el cual no es más que una porción de ese superespacio. Ese superespacio no resulta ser, de hecho, un ente ficticio, sino una

realidad primaria. Hawking se sirve del espacio-tiempo con sentido instrumentalista, no realista, lo cual traiciona su intento.

Respecto al tiempo imaginario, nadie cree que sea más que algo sobre el papel, un modelo matemático, pero la cuestión es si ese concepto tiene su contraparte en la realidad. Para Eddington "es un instrumento meramente ilustrativo que no corresponde a ninguna realidad física". El mismo Hawking confiesa que es un truco matemático para calcular respuestas acerca del espacio-tiempo real. Esta ontologización de operaciones matemáticas, no sólo no es explicada ni justificada, sino que, pensamos, no tiene sentido.

En cuanto a la mecánica cuántica, es voz corriente entre muchos físicos, con Penrose a la cabeza, que "carece absolutamente de sentido real". Lo que se necesitaría es una teoría cuántica de la gravedad, que Hawking admite no existe aún. Respecto a la suma de historias de Feynmann, que una partícula elemental siga realmente todas las trayectorias posibles, es algo que muchos considerarían como fantástico. ¿Qué justificación da Hawking para utilizar esta interpretación? ¿Por qué no la interpretación de Copenhague? ¿Por qué no una interpretación estadística, tipo Born, del fenómeno cuántico? Nada impide manejar las ecuaciones mientras no se tomen como representaciones literales de la realidad.

Tanto en el libro *Historia del tiempo* como en otras publicaciones se ve una preocupación en Hawking por los temas filosófico-teológicos. En la última página de *Historia del tiempo*, invita Hawking a todos, filósofos, científicos y gente corriente, a tomar parte en la discusión de por qué existe el universo y por qué existimos nosotros. Distingue Hawking entre qué es el universo y por qué es el universo, y afirma que los científicos se han preocupado demasiado de la primera cuestión y poco de la segunda, mientras que los filósofos han pecado de lo contrario. El propio Hawking cree haber contestado a la primera, mientras confiesa su ignorancia sobre la segunda. ¿Por qué –escribe– atraviesa el universo por todas las dificultades de la existencia? ¿Es la teoría unificada tan convincente que ocasiona su

*propia existencia? ¿O necesita un creador? Y, si es así, ¿tiene éste algún efecto sobre el universo? ¿Y quién lo creó a él?*⁹

4.5.2. El vacío cuántico

Durante las dos últimas décadas han surgido algunas teorías sobre el origen del universo en las que se echa mano de conceptos de orden metafísico. Así, cuando John Wheeler se refiere a ese "algo" que precedió a la creación del universo, dice: "Todo lo que conocemos procede de un océano infinito de energía que tiene la apariencia de la nada".

De acuerdo con la teoría cuántica, el universo físico observable sólo consta de pequeñas fluctuaciones sobre un inmenso *océano de energía*. En consecuencia, cabe postular que tanto el espacio-tiempo como la materia hayan nacido de una fuente primordial de energía y del flujo cuántico. En la obra *La plenitud del universo*¹⁰, David Bohm escribe:

La materia y la conciencia, el tiempo, el espacio y el universo no representan más que un ínfimo "chapoteo" respecto a la inmensa actividad del plano subyacente, el cual proviene de una fuente situada más allá del espacio y del tiempo.

¿Cuál es la naturaleza de ese plano subyacente? ¿Es algo físicamente medible?

En física existe un nuevo concepto: el llamado *vacío cuántico*. Cuando solemos hablar de vacío nos referimos al *vacío absoluto*, caracterizado por la ausencia total de materia y energía. Este vacío no existe en la realidad. Ni siquiera el "vacío" que separa las galaxias está totalmente vacío; contiene algunos átomos aislados y ciertos tipos de radiación. El vacío en estado puro no es más que un abstracción: no se logrará eliminar de la realidad el campo electromagnético residual contenido en el "fondo" del vacío. Hay que considerar la *equivalencia entre materia y energía*. Dentro de la teoría cuántica, *dado un espacio vacío, si le transferimos una cantidad suficiente de*

⁹ Op. Cit.

¹⁰ D. Bohm, *La plénitude de l'univers* (Le Rocher 1988).

energía, puede surgir de él la materia. Si planteamos la tesis de que en el seno del "vacío" existe una energía residual (este "vacío" es el *vacío cuántico*), ésta puede convertirse en materia en el curso de sus "fluctuaciones cuánticas". De esta manera se podría postular que la materia surgió de un "vacío" inicial. Sobre si esto significaría que el universo brotó de la nada, cabe recordar a Lewis Carrol cuando escribió: "Cuando yo uso una palabra, significa exactamente lo que yo quiero que signifique, ni más ni menos". La nada es eso, nada; el vacío cuántico es algo. El universo vacío de materia-energía es llamado *universo de Minkowski*. Alternativamente, se podría suponer que al principio, inmediatamente antes del *big bang*, un flujo de energía inconmensurable fue transferido al vacío original, el cual generó una fluctuación cuántica primordial de la que habría de nacer nuestro universo. Si esto es así, cabría decir que lo que se esconde detrás del *muro de Planck* es energía primordial de potencia ilimitada, y que antes de la Creación había una duración infinita, un tiempo donde no se distinguía aún entre pasado, presente y futuro.

A este tiempo que todavía no ha sido separado en un orden simétrico –escribe Guitton¹¹ – cuyo presente no sería más que un espejo doble, a ese tiempo que no transcurre, corresponde la misma energía, total, inagotable. El océano de energía ilimitada es el Creador.

En estudios realizados por E. P. Tryon¹², éste llega a concluir que la energía total de nuestro universo es nula. Si este resultado se aceptara, se podría entonces afirmar que no hay diferencia energética entre nuestro universo y el universo de Minkowski. Desde el punto de vista energético, la creación del primero *ex nihilo* no supondría de hecho ninguna alteración. Se podría entonces postular que el nacimiento del universo viniera de una *fluctuación espontánea* del vacío. El universo, según Tryon, pudiera ser simplemente otro modo de expresar *la nada* y, en consecuencia, podría brotar de la nada. Ciertamente, esta "nada" parece demasiado llena de actividad como para merecer tal nombre. Por otra parte, desde el punto de vista

¹¹ J. Guitton e I. Bogdanov, *Dieu et la science* (Paris 1992). Ed. española: *Dios y la ciencia. Hacia el metarrealismo* (Madrid 1996).

¹² E. P. Tryon, *Nature* vol. 246 (1973) p. 396.

empírico, la idea del universo como fluctuación del vacío recuerda la que tenía Boltzmann al considerar el universo como fluctuación respecto al equilibrio termodinámico, y se encuentra con la misma pregunta que a él le asaltó: ¿Por qué no se observan tales fluctuaciones, sino más bien un universo que existe ya, desde hace quince mil millones de años?

Estas teorías han dado lugar a los llamados “multimundos” o “mundos oscilantes”. En estos modelos, el universo no sería más que el producto de una ingente y descomunal fluctuación cuántica del espacio vacío que daría lugar a una violenta ebullición de burbujas que crecerían hasta ser universos, algunas de las cuales se colapsarían dando lugar a nuevas ebulliciones de mundos nuevos que nacerían de las cenizas de otros en un proceso que podría no tener principio ni fin. En los modelos cíclicos, el universo se expande y colapsa, continuando todos los procesos en la misma dirección temporal, con la entropía creciendo. Pero podría hacerse la conjetura de que en cada nuevo ciclo hubiera una nueva dirección del tiempo, de acuerdo con la propuesta de Thomas Gold: *El tiempo se invierte durante la contracción cósmica*. El mundo cíclico de renacimiento y muerte es sólo una especulación fruto de nuestra ignorancia de las “singularidades” del espacio-tiempo.

Otra interpretación de la teoría de los mundos múltiples, que ha atraído la atención de los cosmólogos durante estos últimos años, es la de los “universos paralelos”. Según Hugh Everett, su autor, ante la tesitura de hacer una elección, ligada a un acontecimiento cuántico, el universo se ve forzado a dividirse en dos “versiones”, idénticas en todos sus puntos¹³. Esta teoría entra en claro conflicto con la inter-

¹³ La noción de universos paralelos no descansa sobre ningún fundamento científico verificable. Ha sido propuesta con el fin de resolver ciertas paradojas provenientes de la física cuántica. La idea arranca de un experimento imaginario, el “gato de Schrödinger”. Schrödinger imaginó un gato encerrado en una caja que contenía un frasco de cianuro. Había un dispositivo tal que al desintegrarse una partícula de cierta materia radioactiva el frasco era roto por la caída de un martillo; el veneno era liberado y el gato moría. Como la física cuántica trata sólo con hechos probables, no hay posibilidad de predecir exactamente el momento en el que se produciría la desintegración radioactiva. “Ex ante” del experimento sólo podremos hablar, asignando un 50% de probabilidad al fatal desenlace, de un 50% de gato vivo y de un 50% de gato muerto, situación que Schrödinger consideraba inadmisibile. Para salvar esta paradoja, el físico Hugh Everett

pretación cuántica de la Escuela de Copenhage. La mayor parte de los físicos la rechaza. John Wheeler, uno de sus propulsores, hizo esta confesión: "He tenido que desprenderme a disgusto de esta hipótesis, a pesar del vigor con el que la apoyé al principio, porque temo que sus implicaciones metafísicas sean excesivas".

Un análisis crítico de estos modelos nos lleva a reflexiones de índole física y metafísica. Ante todo, digamos que los modelos que consideran una fluctuación cuántica en el vacío pretenden responder a la vieja pregunta ¿por qué hay algo y no nada?, reactivada por Heidegger, y últimamente por Prigogine, para mostrar que el espacio-tiempo, la energía y la materia, "pudieron" surgir de la nada, sin el concurso de la creación divina. Se remiten a experimentos de la mecánica cuántica en los que parecen emerger de la nada ciertas partículas. Las partículas surgen en un contexto de *realidad física*, algo que existe previamente, mientras que esa realidad física no se da en el origen del espacio-tiempo, la energía o la materia. Prigogine intenta partir del vacío de Minkowski, que podría originar el universo *por un paso del estado virtual al estado material* mediante la materialización de partículas. Se parte, pues, de "algo", aunque sólo sea potencialidad dinámica, *virtualidad*, que existe previamente a la "fluctuación creadora de la materia". Ese algo preexistente, esa realidad, exige una explicación que no se da. La pregunta sobre "por qué hay algo y no nada" subsiste; es una pregunta de índole metafísica, no se satisface con una respuesta física. Todo esto explica por qué esta supuesta autocreación *ex nihilo* encuentra comentarios comedidos entre la generalidad de los físicos. Así, G. Smoot, director del proyecto COBE, ideado para rastrear los vestigios del "big bang"

ideó la teoría de los "universos paralelos". Según esta teoría, en el momento de la desintegración, el universo se dividiría en dos y daría origen a dos realidades: en el primer universo el gato estaría vivo, y en el segundo, estaría muerto. Tan real sería el primer universo como el segundo, y ambos existirían totalmente separados. Estaríamos, pues, ante dos mundos diferentes, entre los que no habría ya ninguna comunicación posible. El proceso se extendería a infinidad de universos. Según la interpretación de Copenhage, los dos estados del gato, que corresponden a dos estados posibles de la función ondulatoria, son irreales: uno de los dos se materializa cuando miramos en el interior de la caja y observamos el hecho real.

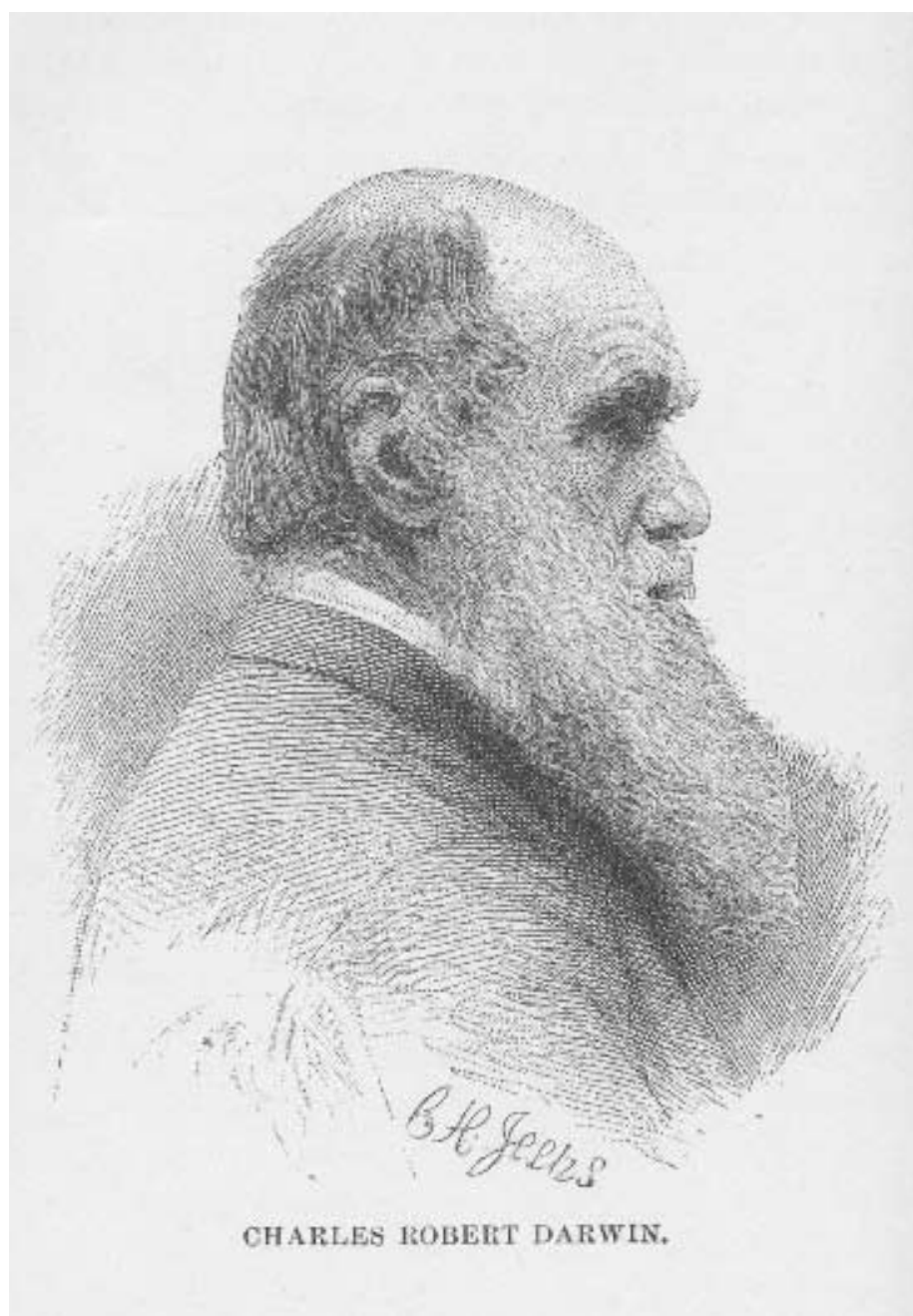
y cuyas aportaciones, en el sentir de Hawking, representan el mayor descubrimiento del siglo, escribe¹⁴:

El origen del espacio-tiempo sigue siendo una "tierra incógnita", por lo que es posible encarar la creación del universo "casi" a partir de la nada. Creación prácticamente "ex nihilo", pero no del todo.

Aquí la pregunta fundamental es "¿por qué?", pero Smoot añade: *La ciencia no se somete a este tipo de interrogantes, que siempre corresponden a filósofos y teólogos.*

En todo caso, la misma mecánica cuántica está rodeada de paradojas y contradicciones. Por otra parte, cosmólogos como Hermann Bondi y Hannes Alfven (Premio Nobel de Física de 1970) no ven imaginable que se llegue a construir algún día un modelo de universo que recoja toda la materia que existe como surgida de un brote en el vacío de una fluctuación cuántica en el tiempo cero.

¹⁴ G. Smoot, *Arrugas en el tiempo* (Barcelona 1994).



CHARLES ROBERT DARWIN.

Cap. 5. Evolución y origen de la vida

La estructura molecular de la humanidad... ¿no será precisamente ella la que, desde siempre, nos tiende el extremo del hilo que ya no esperábamos encontrar? ¿La verdad que, una vez más, nos "salta a la vista" y que no veíamos?... (Teilhard de Chardin, El Fenómeno Humano).

Dios no interviene directamente en el orden natural, donde causas secundarias bastan para producir el efecto planeado. (F. Suárez, De opere sex dierum).

La evolución es un concepto universal que abarca toda la realidad del universo, vida y hombre; es *cosmogénesis* (origen y desarrollo del cosmos), *biogénesis* (origen y desarrollo de la vida) y *antropogénesis* (origen y desarrollo del hombre). No hay cesura fundamental en el proceso evolutivo. Hemos tratado ya de la cosmogénesis, y las preguntas a las que debemos contestar ahora son éstas: ¿Ha habido una evolución biológica? Caso de existir, ¿se puede dar una explicación causal de ella? ¿Puede la evolución salvar las fronteras entre lo orgánico y lo inorgánico, entre los irracionales y el hombre? A estas preguntas añadamos la formulada por el Premio Nobel **François Jacob**¹: *¿Quién ha elegido los planos de la primera molécula de ADN, portadora del mensaje inicial que permitirá reproducirse a la primera*

¹ F. Jacob, *The Logic of Living Systems* (Londres 1974).

célula viva? Pero, además, la pregunta existencial del hombre ha de ser ésta: ¿Por qué y para qué el proceso de la evolución?

5.1. El dinamismo de la materia

La descripción de la *evolución cósmica*, tanto la “material” como la “biológica”, sólo puede entenderse si damos a la palabra “materia” un significado distinto al que le atribuyó el materialismo de los siglos XVIII y XIX, que se apoyaba en la concepción mecanicista de un universo gobernado por la mecánica de Newton. Pues esta evolución aparece legítimamente ligada a las potencialidades de la materia de las que es una clara manifestación. No poco contribuyeron a esta concepción materialista las teorías y especulaciones de La Mettrie, Holbach, Vogt, Büchner, Haeckel, Feuerbach, Marx, Engels, y tantos otros.

El mecanicismo materialista, sostenido por estos filósofos, ha sido combatido en nuestro siglo por pensadores como Whitehead, Merleau-Ponty o Zubiri. **Zubiri**, por ejemplo, sustituye la noción aristotélica de *sustancia* – que no es más que una construcción mental – por la de *sustantividad* de una cosa, noción puramente descriptiva de las notas que caracterizan a la cosa. Esta diferenciación le sirve de base para definir *estructura*, concepto útil para mejor entender la teoría de la evolución. En su libro² *Sobre la esencia* escribe:

En un cuerpo inanimado, las sustancias que lo componen dan lugar a otra sustancia; pero formalmente es la sustantividad de esa sustancia lo que le confiere carácter de realidad por excelencia. La cosa es más clara aún en los seres vivos. Su sustantividad no coincide ni formal ni materialmente con la sustancialidad. Un organismo no es una sustancia: tiene muchas sustancias, y sustancias renovables; mientras que no tiene sino una sola sustantividad, siempre la misma. La esencia de un ser vivo es una estructura [...]. La estructura no es una forma sustancia informante, porque sus notas se codeterminan mutuamente, y porque la estructura no es una sustancia, sino sustantividad...La esencia es de suyo principio de la sustantividad como estructura.

² X. Zubiri, *Sobre la esencia* (Madrid 1963).

Zubiri se refiere aquí a la estructura material que define como *conjunto sistemático de notas, cerrado y cíclico*³, entendiendo por “nota” cualquier dato de observación que permita conocer la peculiaridad de la cosa a que pertenece. Así, un cristal de sal común se nos presenta como objeto sólido delimitado en el espacio por una superficie cúbica, es incoloro y soluble en agua, su análisis revela que es cloruro sódico, etc. Todas estas notas definen la estructura del cristal. Cada nota actúa “cíclicamente” en el conjunto estructural, en cuanto que por su posición funcional dentro de él opera sobre las demás. Las notas constituyen un conjunto “cerrado”, todo está referido al propio objeto sin conexiones externas. Las estructuras materiales son esencialmente dinámicas y participan del dinamismo de la materia misma.

Como Zubiri, muchos científicos entienden la realidad del cosmos en términos de sustantividad y estructura, y no de sustancia; desechan todo reduccionismo mecanicista. Esto les lleva a una deducción inmediata: Como toda estructura particular nace y muere, así ocurrirá con el cosmos, en contra del “eterno retorno cíclico del universo”. Desaparecieron las estructuras del dinosaurio, del australopiteco, y desaparecerán la del agua, la de la calcita, la del león y la del hombre. En el ínterin, subsisten las estructuras que contemplamos en nuestro universo. ¿Por cuánto tiempo? Es una de las preguntas a las que la ciencia de hoy no sabe contestar de modo absoluto.

Hemos aludido a las “potencialidades de la materia” como factotoras de la evolución. Pero, ¿cómo se ejercitan esas potencialidades? ¿Cuál es su razón y origen? A la primera pregunta contesta la ciencia así: Primero se opera la génesis de la materia. Una vez producida la materia, sigue dos tendencias, dos flechas del tiempo⁴:

³ Op. cit.

⁴ La segunda ley de la termodinámica dice que en cualquier sistema cerrado el desorden, o la entropía, aumenta siempre con el tiempo. Esto constituye un ejemplo de lo que se llama una *flecha del tiempo*: algo que distingue el pasado del futuro dando una dirección al tiempo. Hay al menos tres flechas del tiempo: además de la *termodinámica*, que acabamos de definir, están la *psicológica* y la *cosmológica*. La psicológica señala la dirección en que nosotros sentimos que pasa el tiempo, la dirección en que recordamos el pasado y no el futuro. La cosmológica es la dirección del tiempo en la que el universo se está expandiendo en vez de contraerse. La expresión “flecha del tiempo” se debe a

una, de aniquilación, como la fusión nuclear y la radioactividad; otra, de génesis de estructuras más complejas. La primera, de acuerdo con el segundo principio de la termodinámica, tiende a la uniformidad y a la aleatoriedad (ley del azar) y, en consecuencia, al aumento de entropía y degradación. La segunda flecha tiende a la diferenciación y orden crecientes (la organización). En esto radica la neogénesis de estructuras. Todo esto precisa de una explicación más detallada.

5.2. Evolución y termodinámica

En el curso de la segunda mitad del siglo XIX la física se decanta en dos concepciones que responden a dos visiones distintas del mundo. Por un lado, la dinámica, donde devenir y eternidad parecen identificarse; el mundo regido por la dinámica se reduce a una afirmación inmutable de su propia identidad, lo mismo que el péndulo perfecto oscila en torno a su posición de equilibrio. Por otro lado, en la termodinámica reina el universo de la degradación, de la progresiva evolución hacia un estado de equilibrio presidido por la uniformidad. Aquí el péndulo deja de ser perfecto y por efecto del rozamiento queda condenado a la inmovilidad. A la eternidad dinámica se opone así el "segundo principio de la termodinámica", la ley del crecimiento irreversible de la entropía, formulado por **Rudolf Clausius** en 1865. Al determinismo de las trayectorias dinámicas se opone el no menos inexorable de los procesos que nivelan las diferencias de presión, de temperatura, de concentración química, que llevan irremisiblemente a un sistema aislado a su estado de equilibrio, de máxima entropía. En otras palabras: el universo está en perpetua lucha contra el irreversible incremento del desorden.

Fue **Ludwig Boltzmann** quien mostró que tras el segundo principio de la termodinámica reinaba la eternidad invariante de las leyes de la dinámica. Así, en una población numerosa de partículas, el efecto de las colisiones puede dar lugar al crecimiento de la entropía y, por consiguiente, a la irreversibilidad termodinámica. Había construido así un modelo microscópico de la evolución irreversible del conjunto

Eddington en *The nature of the physical world* (traducción al castellano con el título: *La naturaleza del mundo físico*, Buenos Aires, 1945).

de partículas hacia un estado de equilibrio. Pero este modelo no se cumple en los sistemas vivos donde, como se ve a través de la historia de los fósiles, las organizaciones celulares se han transformado de modo constante en niveles de complejidad creciente. Dicho de otro modo, la vida no es sino la historia de un orden cada vez más elevado. A medida que el universo torna a estados de equilibrio, se las arregla para crear estructuras más y más complejas. Esto es lo que señala el premio Nóbel de Química **Ilya Prigogine**, para quien "el desorden no es un estado 'natural' de la materia, sino, por el contrario, un estadio que precede a la aparición de un orden más elevado"⁵.

Esta concepción que iba contra las ideas admitidas entonces le fue sugerida a Prigogine por el siguiente experimento de Bénard: Se calienta agua y se observa que las moléculas se organizan, se reagrupan de manera ordenada formando células hexagonales. Este fenómeno, conocido como *inestabilidad de Bénard*, intrigó a Prigogine. ¿Por qué y cómo aparecen esas células en el agua? ¿Qué podía provocar el nacimiento de una estructura ordenada en el seno del caos? Prigogine concluyó que lo que es posible en la dinámica de líquidos debe serlo en química y biología.

Para entender mejor el razonamiento de Prigogine hay que empezar reconociendo que las cosas que nos rodean se comportan como sistemas abiertos, es decir, intercambian continuamente con su entorno materia, energía y –lo que es más importante– *información*. Además, esos sistemas en continuo movimiento varían a lo largo del tiempo y deben ser considerados como fluctuantes. Las fluctuaciones pueden ser tan importantes que la organización que las acoge se encuentre incapacitada para tolerarlas sin transformarse. A partir de ese umbral crítico, hay dos posibilidades: o el sistema es destruido por la amplitud de las fluctuaciones, o alcanza un nuevo orden interno, caracterizado por un nivel superior de organización. El descubrimiento fundamental de Prigogine es éste:

La vida descansa en estructuras dinámicas, "estructuras de disipación", cuyo cometido consiste, precisamente, en

⁵ I. Prigogine e I. Stengers, *Entre le temps et l'éternité* (París 1988). Ed. española: *Entre el tiempo y la eternidad* (Madrid 1990).

disipar el influjo de energía, de materia y de información responsable de una fluctuación.

La vida extrae sus propiedades directamente de esa misteriosa tendencia de la naturaleza a organizarse espontáneamente yendo hacia estados cada vez más ordenados y complejos. En el sentir de Jean Guitton⁶, el universo es un vasto pensamiento. En cada partícula, átomo, molécula, célula de materia, vive y obra, a espaldas de todos, una omnipresencia... Quiere esto decir que el universo tiene un eje; o mejor un sentido. Este sentido profundo se encuentra en su interior, bajo la forma de una causa transcendente. En cuanto a la razón y origen último de esas potencialidades de la materia, la ciencia no puede tener respuesta. Habrá que acudir a la filosofía y a la teología.

5.3. El hecho de la evolución

La primera cuestión que se presenta es sobre lo que debemos entender por *evolución*. Una contestación bastante precisa la encontramos en estas palabras del Premio Nobel francés François Jacob⁷:

La teoría de la evolución puede ser esencialmente compendiada en dos proposiciones. Primero, que todos los organismos, pasados, presentes o futuros, descienden de uno o varios sistemas vivientes que surgieron espontáneamente. Segundo, que las especies se derivan unas de otras por selección natural de los mejores procreadores.

Hay que distinguir la "microevolución" de la "macroevolución. La microevolución es la que ha sido observada por los naturalistas, y resulta de la conjunción de las mutaciones, de la selección natural y eventualmente del aislamiento de las poblaciones. Sus mecanismos son actualmente conocidos, por lo menos en sus líneas generales. La macroevolución consiste en las "transformaciones" de especies. La diferencia entre ambos tipos de evolución reside en que el primer tipo excluye toda aparición de órganos nuevos; en cambio, el segundo tipo la postula.

⁶ J. Guitton y G. e I. Bogdanov, *Dieu et la science* (Paris 1991). Edición española: *Dios y la Ciencia. Hacia el metarrealismo* (Madrid 1996).

⁷ Op. cit.

La propuesta de **Darwin y Wallace**⁸ de la “transformación de las especies” a través de la “selección natural”, produjo un gran impacto

⁸ Charles Darwin (1809-1882) nació en Shrewsbury y murió en Down (Beckenham). Era hijo de Robert Waring Darwin, y nieto de Erasmus Darwin, ambos médicos prestigiosos. Su abuelo materno era el famoso industrial de la porcelana Josiah Wedgwood. Su padre le orientó hacia la medicina para seguir la tradición familiar, y en 1825 le envió a Edimburgo. Las clases de medicina le disgustaban y se mareaba en las operaciones. Allí trabó amistad con aficionados a la historia natural y asistió a las lecciones de Robert Jameson sobre zoología y geología. Dedicaba gran parte de su tiempo a sus colecciones de historia natural. En vista de su poca afición por la medicina, su padre le envió a Cambridge a hacer estudios teológicos. Tampoco allí se encontró a gusto, y asistía a las clases de botánica y las excursiones del profesor Henslow, con el que trabó amistad. La vida social, la caza y su colección de coleópteros también le absorbían mucho tiempo. Tras concluir su estancia en Cambridge, Henslow le propone como naturalista, sin sueldo, en el bergantín *Beagle* (a las órdenes del capitán Robert Fitz Roy), dedicado a estudios cartográficos de la marina británica, lo que aceptó de inmediato, convenciendo a su padre. Fue un viaje alrededor del mundo que duró cinco años, entre 1831 y 1836, durante los cuales acumuló una gran cantidad de datos. A su regreso a Inglaterra se estableció en Londres. Fue nombrado miembro de la Royal Society y secretario de la Geological Society, y trató al geólogo Lyell. En 1839, Darwin se casó con su prima Emma Wedgwood y, por problemas de salud, se retiró al campo en 1842, en Down, donde residió hasta su muerte dedicado a estudiar y escribir. Fue enterrado en la Abadía de Westminster.

En 1859 Darwin publica su obra fundamental, *On the origin of species by means of natural election, or The preservation of favoured races in the struggle for live*. En ella apenas aludió al origen del hombre (otros lo hicieron inmediatamente, como T. H. Huxley), y desarrolló este tema más tarde en *The descent of man, and selection in relation to sex* (1871).

Darwin nos describió en su autobiografía, escrita sólo para su círculo íntimo (no fue publicada de forma completa hasta 1958, editada por su nieta Nora Barlow), la evolución de sus ideas religiosas. En contraste con su padre y su abuelo paterno, que eran deístas librepensadores, Darwin era cristiano anglicano cuando se embarcó en el *Beagle*. Después reaccionó contra el cristianismo, pero cuando escribió *El origen de las especies* todavía era teísta. Finalmente evolucionó hacia un agnosticismo con vacilaciones: “En mis más extremas fluctuaciones nunca he sido un ateo en el sentido de negar la existencia de Dios. Creo que por lo general (y más a medida que envejezco), pero no siempre, la más correcta descripción de mi estado mental sería la de agnóstico” (v. *The life and letters of Charles Darwin*, editadas por F. Darwin, Londres 1887).

Si hemos de ser justos y fieles a la historia, al lado del nombre de Darwin hemos de colocar el de Alfred Russel Wallace, otro naturalista viajero. Muy joven realizó una campaña zoológica de cuatro años por la cuenca del Amazonas. Luego, en 1854, marchó a Indonesia, donde permaneció ocho años estudiando la fauna de las diversas islas del archipiélago malayo. Interesado por el problema del origen de las especies, publicó en 1855 un artículo en el que concluía que “cada especie ha surgido coincidente, tanto en el espacio como en el tiempo, con una especie preexistente muy afín a ella”. Este trabajo le puso en contacto epistolar con Darwin. En 1858 intentó combinar la doctrina de Malthus con sus propias observaciones sobre la diversificación de las especies en variedades, estableciendo también la teoría de la selección natural. Envío una copia del manuscrito que contenía estos resultados a Darwin, quien sufrió un gran disgusto al ver resumida en unas pocas páginas una teoría en la que llevaba trabajando más de veinte años. El asunto se arregló al mediar Lyell y el botánico Hooker y publicarse conjuntamente el artículo de Wallace y un breve resumen de los trabajos de Darwin. Este incidente motivó el que Darwin acelerara la publicación de su obra, que había permanecido en eterno proyecto. El 26 de noviembre de 1859 aparecía *The origin of species*.

en la historia de la biología. Con todo, la idea de una interconexión de carácter evolutivo entre organismos vivos, había tenido precursores, entre los cuales se contaba el abuelo de Darwin, Erasmus Darwin. La primera teoría completa de la evolución biológica, en sentido estricto, no aparece hasta principios del siglo XIX, y se debe a **Lamarck** (1744-1829). Según Lamarck, el uso más intenso que un individuo de una especie hace de un órgano conduce al mayor desarrollo del mismo, y el desuso, a su debilitamiento y eventual atrofia:

El uso frecuente de cualquier órgano, cuando se confirma por el hábito, conduce a su desarrollo, y lo dota con un tamaño y potencia que no posee en los animales que lo ejercitan menos⁹.

En cuanto a la aparición de nuevos órganos (y especies), sigue el principio de “la función crea el órgano”, dentro de una tendencia general de la naturaleza al incremento de la complejidad:

La producción de un nuevo órgano resulta de la ocurrencia de una necesidad nueva y apremiante, así como de los movimientos orgánicos ocasionales y sostenidos por esa necesidad [...] La naturaleza ha producido todas las especies de animales en sucesión, empezando por los más imperfectos, o los más simples, y acabando su trabajo con los más perfectos, a fin de crear una complejidad gradualmente creciente en su organización¹⁰.

El plan seguido por la naturaleza al producir animales claramente comprende una primera causa predominante. Esto dota a la vida animal con el poder de hacer la organización gradualmente más compleja¹¹.

Los caracteres adquiridos, de una manera u otra, son transmitidos por herencia:

⁹ J. B. Lamarck, *Philosophie zoologique, ou Exposition des considérations relatives à l'histoire naturelle des animaux* (París 1809). Trad. española (Barcelona 1986).

¹⁰ Ibid., *Histoire naturelle des animaux sans vertèbres* (París 1815).

¹¹ Ibid.

*Todo lo que ha sido adquirido, delimitado o modificado en el curso de las vidas de los individuos, es preservado gracias a la reproducción y transmitido a nuevos individuos nacidos de los que han experimentado cambios*¹².

Con todo ello, los seres vivos se ajustan a las necesidades del medio ambiente; así, en un famoso ejemplo, las jirafas tienen el cuello largo porque éste ha crecido poco a poco, generación tras generación, para que ellas pudieran alcanzar las copas de los árboles.

Lamarck fue criticado por la débil evidencia empírica que aportaba en apoyo de su teoría. Por otra parte, la teoría de Lamarck carecía de un mecanismo natural plausible que explicase los cambios evolutivos. Este mecanismo es el que proporcionó precisamente Darwin en *El origen de las especies*, publicado en 1859; un libro en el que se aportan gran cantidad de hechos y datos empíricos. Darwin parte, por un lado, de que en los individuos de una especie surgen por azar variaciones naturales que son transmisibles hereditariamente. Por otro lado,

*dado que se producen más individuos de los que pueden sobrevivir, tiene que haber, en cada caso, una lucha por la existencia, ya sea de un individuo con otro de su misma especie o con individuos de especies distintas, ya sea con las condiciones físicas de la vida*¹³.

Los individuos con variaciones favorables tendrán más probabilidades de sobrevivir y reproducir su especie.

*Por el contrario, podemos estar seguros de que toda variación perjudicial, por poco que lo sea, tiene que ser rigurosamente eliminada. A esta conservación de las diferencias y variaciones favorables a los individuos y a la destrucción de las que son perjudiciales, la he llamado yo selección natural*¹⁴.

¹² C. Darwin, *On the origin of species by means of natural selection* (Londres 1859). Edición española: *El origen de las especies por la selección natural* (Madrid 1985).

¹³ Ibid.

¹⁴ Ibid.

La proposición, de que todas las especies *vivas y extintas* de todos los organismos vivos estén interconectadas por relaciones de índole evolutiva, fue aceptada rápidamente por los biólogos como interpretación lógica de los hechos observados, aunque su explicación por la selección natural tuvo muchos altos y bajos en el nivel de aceptación. Por otro lado, la *genética* de **Mendel**¹⁵ corrigió fuertemente la propuesta inicial de Darwin, muy simplista. Sólo entonces, con el advenimiento de la genética, como análisis cuantitativo, estadístico, de la transmisión hereditaria, basado en el concepto mendeliano de factores hereditarios discretos (los genes) que controlan esa transmisión, junto con la investigación citológica y genética del papel de los cromosomas en el núcleo celular, se llegó a la *moderna síntesis* de la selección natural darwiniana y la genética mendeliana, como explicación básica de los cambios evolutivos. Hoy el término “evolución” se suele utilizar en un sentido amplio para significar no sólo la evolución biológica, en su sentido estricto, sino también la formación de los primeros seres vivos a partir de una organización de la materia, lo que se llama “evolución molecular”.

Darwin consideró que la selección natural era efectuada por la acción del medio ambiente sobre el espectro de diferencias individuales presentes en cualquier población biológica de una especie dada, de modo análogo a como se hace la selección de animales para mejorar la raza. Los cambios experimentados fueron contemplados

¹⁵ Gregor Johann Mendel (el primer nombre, “Gregor” , lo tomó al entrar en religión) nació en Heinzendorf (Moravia) en 1822, y murió en Brunn (Moravia) en 1884. Entonces Moravia formaba parte del Imperio Austro-Húngaro (hoy forma parte de la República Checa), y es habitual caracterizar a Mendel como austriaco (en todo caso, él pertenecía a la minoría morava de lengua alemana). En 1843 ingresó en el monasterio de agustinos de Brunn, y en 1847 fue ordenado sacerdote. Desde 1851 a 1853 estudió matemáticas, física y ciencias naturales en la Universidad de Viena. Allí estudió con los físicos von Ettinghausen y Döpler (el del efecto de su nombre), y con el botánico Unger. A partir de 1854 enseñó en el Instituto Profesional (Realschule) de Brunn, hasta 1868. En este último año fue elegido abad (vitalicio) del monasterio.

Antes de Mendel la transmisión de los rasgos de los progenitores era vista como un proceso de “mezcla”, en el que los rasgos se diluían. Tras exhaustivos experimentos, Mendel descubre las leyes que llevan su nombre, aplicando las matemáticas a un problema biológico. En 1865 presenta sus resultados a la Sociedad de Ciencias Naturales de Brunn en su transcendental artículo *Versuche über Pflanzen-Hybriden* (*Experimentos sobre hibridación de plantas*). La obra de Mendel permaneció casi desconocida hasta que fue redescubierta en 1900 por De Vries (holandés), Correns (alemán) y von Tschermak (austriaco).

por él como debidos al azar, a las exigencias del organismo, y a la relación con el ambiente físico, nutricional y biológico, ambiente que consideró como seleccionador natural, permitiendo que algunos organismos poseedores de determinadas características se reprodujeran más rápidamente que otros para constituirse en predominantes en las subsiguientes poblaciones. Ahora conocemos la existencia de los genes que, de vez en cuando y repentinamente, sufren mutaciones, causadas por diversos agentes, las cuales son aleatorias con respecto a la supervivencia del organismo, es decir, respecto a su aptitud para sobrevivir y reproducirse. Como veremos, esta "aleatoriedad" está hoy, gracias a la biología molecular, mejor establecida que en los años 1937-1950 en los que fue propuesta la *moderna síntesis*.

La aceptación universal de la evolución por parte de los biólogos se basa en que no existe una alternativa mejor. Los llamados "creacionistas" dicen que se trata de una mera teoría y que no es "un hecho de la ciencia". Para ello argumentan que la evolución no es contrastable en el sentido de Popper, es decir, no es "falsable". A esto contestan los evolucionistas que, con el mismo razonamiento, la geología histórica y gran parte de la moderna cosmología no pasarían de ser meras teorías, y que, en general, toda explicación del pasado exige ser basada sobre inferencias de observaciones del presente. Todas estas ciencias, lo mismo que la evolución biológica, tienen carácter histórico y no tiene sentido recoger observaciones experimentales para ser sometidas a los procedimientos de contrastación o falsación a los que se someten los datos en el método científico hipotético-deductivo.

La idea de la evolución biológica se refiere principalmente al pasado y, en su forma general, afirma simplemente que existen relaciones genéticas entre los distintos organismos que observamos sobre la tierra o entre fósiles también conocidos. La idea inferida es la de *descendiente* con alguna modificación mediante algún mecanismo. Cuál sea el mecanismo de selección natural es cuestión debatida históricamente. Hasta el advenimiento de la moderna bio-

química y la biología molecular, las observaciones que conducían a postular la evolución eran tomadas de la anatomía comparada y de la morfología de organismos vivos o extintos (los últimos se reducían a esqueletos), considerados en relación con el lugar, clima y demás condiciones ambientales.

La bioquímica actual ha puesto de manifiesto similitudes fundamentales a nivel molecular entre todos los organismos vivos desde la bacteria hasta el hombre: por ejemplo, en muchos de sus órganos de almacenaje y uso de energía y transposición de sustancias a través de membranas, y en las estructuras proteínicas de sus macromoléculas. Según Jacob,

*por encima de la diversidad de formas y variedad de actividades, todos los organismos utilizan los mismos materiales para llevar a cabo análogas reacciones, como si el mundo viviente, como un todo, usara siempre los mismos ingredientes y los mismos recipientes, pendientes de sazonado y cocinado*¹⁶.

La parte de esta ciencia llamada "biología molecular" ha demostrado, no sólo que los primeros portadores de información hereditaria en los organismos vivos son los ácidos nucleicos ADN y ARN, sino también que el código que traslada la información de las secuencias básicas ADN, a través del mensajero ARN, a las secuencias de aminoácidos en proteínas, es el mismo en todos los organismos vivos. La más simple y ampliamente aceptada razón de este hecho es que todos los organismos vivientes han derivado de una original y particular aglomeración de materia, que llegó a ser autorreproductora; y precisamente sucedió que el código que tenía en aquella época es el mismo ahora impreso en todos los organismos subsiguientes. La universalidad de este código es sólo explicable como resultado de la evolución. No se dispone de ninguna otra explicación científica.

La biología molecular proporciona otra poderosa e independiente confirmación de la evolución mediante la comparación de

¹⁶ F. Jacob, op. cit.

las secuencias de aminoácidos en proteínas. Si dos especies están conectadas mediante algún árbol evolutivo y si, como es sabido, las secuencias de aminoácidos de una clase dada de proteínas acumulan con el tiempo variaciones en las regiones menos críticas de su función, cuanto más difiera la proteína, en las dos especies, tanto más ampliamente separadas están verosímilmente en el árbol evolutivo. De este modo, y mediante cuidadosos análisis estadísticos, ha sido posible construir árboles de relaciones entre organismos a partir de la evidencia molecular. Estos árboles filogenéticos se asemejan mucho a los contruidos sobre la evidencia morfológica que proporciona la paleontología.

La hipótesis evolutiva ha superado el test de consistencia con observaciones de una clase ni siquiera pensable hace cinco décadas, cuando emergió la "moderna síntesis". Todo esto no excluye todo tipo de controversia sobre el tiempo y restricciones de la evolución, pero contribuye a hacer perfectamente razonable el "hecho de la evolución biológica".

5.4. El origen de la vida

Algunos piensan hoy que la vida habría aparecido en torno a las fuentes cálidas submarinas que proliferan a lo largo de las dorsales activas. **Ilya Prigogine** e **Isabel Stengers**¹⁷ avanzan esta hipótesis:

El agua rica en metales que brota de estas fuentes a una presión de unas 275 atmósferas puede alcanzar 350 grados centígrados y entra en contacto con el agua fría del océano: se trata entonces de una situación de intenso no-equilibrio, único en su género sobre la tierra. ¿Quizá las diferentes fuentes cálidas que nacen y mueren a lo largo de las dorsales han sido así lugar de "experimentos" múltiples, y quizá una de las chimeneas hidrotermales fósiles, olvidada en alguna parte de una dorsal, es el desierto lugar donde nació la vida? Si el camino emprendido por la historia de la vida tuvo como origen la ebullición de las

¹⁷ I. Prigogine e I. Stengers, op. cit.

aguas opacas salidas de las bocas hidrotermales podríamos decir en verdad: en el principio era la actividad, la actividad química intensa, productora de moléculas complejas y diversas, concentrada en torno a las fracturas de la corteza terrestre donde la tierra misma está en transformación, alimentada por la gigantesca producción de entropía que acompaña este devenir. ¿La vida hija de la tierra antes de ser hija del sol?

Los autores citados se plantean en seguida algunas cuestiones: ¿Podemos imaginar un mecanismo de reacción susceptible de sintetizar moléculas capaces de hacerse portadoras de información, de jugar un papel específico en otras reacciones? ¿Cómo puede la irreversibilidad inscribirse en la materia de modo que las estructuras que crea sean capaces de convertirse en actrices de otra historia?

La dificultad básica para explicar cómo la vida pudo comenzar está en que todos los organismos vivientes son extremadamente complejos. La vida, como ya se ha señalado, no es más que la historia de un "orden" cada vez más elevado y general. Pues a medida que el universo vuelve a su estado de equilibrio, se las arregla, a pesar de todo, para crear estructuras más y más complejas. En el sentir de Prigogine, los fenómenos de autoestructuración iluminan una propiedad de la materia totalmente nueva. Existe una trama continua que une lo inerte, lo previviente y lo viviente: por su construcción, la materia tiende a estructurarse para llegar a ser materia viva. Esa estructuración se lleva a cabo a nivel molecular, de acuerdo con leyes que son aún desconocidas. Se comprueba, de hecho, el comportamiento extrañamente "inteligente" de esas moléculas o agregados moleculares, pero no se pueden, con todo, explicar los fenómenos. Impresionado por el conocimiento de ese orden, subyacente al caos aparente de la materia, escribe Prigogine¹⁸:

Lo asombroso es que cada molécula sabe lo que harán las otras moléculas, simultáneamente y a distancias macros-

¹⁸ Ibid.

*cópicas. Nuestros experimentos muestran que las moléculas se comunican. Todo el mundo acepta esta propiedad en los sistemas vivos, pero es, por lo menos, inesperada en los sistemas inertes*¹⁹.

Estamos, pues, invitados a dar este paso decisivo: hay continuidad entre la materia llamada "inerte" y la materia viva. La vida extrae sus propiedades de esa misteriosa tendencia de la naturaleza a organizarse espontáneamente y a encaminarse hacia estados más ordenados y complejos.

No parece posible que la selección darwiniana pueda llevar a cabo este diseño organizativo mientras no existan organismos vivientes que sean capaces de reproducir su naturaleza. Un darwinista, dicen los escépticos, puede imaginar un roedor mutante con una membrana entre los dedos, y que con ello logre alguna ventaja en su lucha por la supervivencia, con el resultado de que se extienda un nuevo rasgo en la población a que pertenece; se puede tener la esperanza de que adicionales mutaciones le permitan el vuelo. El problema está en que este escenario depende de que el roedor tenga descendencia y que ésta herede la característica mutante, pero las sustancias químicas no tienen descendencia.

El reto de la evolución estaría en conseguir alguna combinación química donde poder iniciar la reproducción y la selección. Este campo de estudio logró su mayor éxito a principios de la década de los años 1950 cuando **Stanley Miller**, un estudiante graduado en la Universidad de Chicago, obtuvo en el laboratorio de **Harold Urey** pequeñas cantidades de dos aminoácidos, haciendo saltar una chispa en una mezcla de gases que se suponían existentes en la atmósfera de la tierra primitiva. Experimentos basados en el modelo de Miller produjeron una variedad de aminoácidos y otros compuestos complejos empleados en el proceso genético. Se podía suponer así que los compuestos químicos necesarios para producir la vida habrían estado presentes sobre la tierra primitiva en cantidades suficientes.

¹⁹ Véase a este respecto la obra de J. Guitton y G. e I. Bogdanov, *Dieu et la science* (París) 1991). Trad. española: *Dios y la ciencia. Hacia el metarrealismo* o la de A. Landé, *Nuevos fundamentos de la mecánica cuántica* (Madrid 1968).

El experimento de Miller-Urey validaba en cierto sentido el modelo teórico propuesto por **Alexander Oparin** y **J.B. Haldane** en la década de 1920. El modelo Oparin-Haldane suponía que la tierra primitiva tuvo una atmósfera “reductora” compuesta de gases como amoníaco, hidrógeno y metano, con poco o nada de oxígeno libre. En la atmósfera actuarían diversas formas de energía (como la chispa de Miller) que formarían los compuestos orgánicos esenciales. Estos compuestos debieron acumularse hasta que los primeros océanos llegaron a la consistencia de una sopa caliente diluida, la “sopa prebiótica”. Surgirían así las proteínas, producto de la polimerización de los aminoácidos, los ácidos nucleicos, moléculas ya capaces de replicación, y los polisacáridos, polímeros de los azúcares. De la interacción de esas macromoléculas y otras agrupaciones moleculares más simples tuvieron que surgir las primeras y más sencillas células procarióticas, y, con ellas, un nuevo y más elevado orden de estructuras cósmicas, las estructuras orgánicas, y con ellas la vida.

El científico español **J. Oró** realizó estudios de laboratorio en la línea de Oparin, Haldane y Miller-Urey. Llegó a la conclusión de que hace más de tres mil millones de años – tiempo del que proceden los primeros fósiles hallados de organismos bacteroides – se daban las condiciones adecuadas, y los materiales aptos, para la formación de macromoléculas orgánicas: aguas marinas superficiales que, en contacto con los elementos que contenía la atmósfera, se fueron convirtiendo en la *sopa prebiótica*.

Las críticas actuales a la sopa prebiótica proceden de distintos frentes. Los geoquímicos informan que la atmósfera de la tierra primitiva no era probablemente de la intensa capacidad reductora necesaria para que el aparato de Miller-Urey diese los resultados apetecidos. Incluso bajo condiciones ideales, y probablemente irreales, los experimentos no pudieron producir algunos de los componentes precisos para la vida. Los químicos han mostrado que los compuestos orgánicos producidos en la tierra primitiva podrían quedar sujetos a reacciones químicas que los harían inapropiados para la vida. La

contestación de los evolucionistas encierra un argumento filosófico. La vida evidentemente existe, y si la única explicación concebible de su existencia es un proceso natural, las dificultades no pueden ser tan insuperables como parece. La vida parece haber existido en forma celular hace casi cuatro mil millones de años, quizá tan pronto como la tierra se hubo enfriado suficientemente. El problema que plantean los no evolucionistas es si el surgimiento de las primeras moléculas autorreproductoras, y la consiguiente evolución de toda la maquinaria de la célula, pudo ocurrir en ese breve tiempo geológico.

El cómo y el cuándo surgió la vida está aún rodeado de misterio. Con todo, hay una serie de hechos, relativos al origen de la vida, en que la actual comunidad científica parece estar de acuerdo. Son los siguientes: Hace cuatro mil millones de años la vida no existía aún. En algún momento se formarían las primeras moléculas orgánicas. De acuerdo con un principio químico, conocido con el nombre de *estabilización topológica de cargas*, las moléculas incluirían en su estructura cadenas de átomos en alternancia (sobre todo, carbono, nitrógeno y oxígeno) que formarían, al unirse, sistemas estables. Estos sistemas serían los aminoácidos. Los aminoácidos se unirían, a su vez, para formar las primeras cadenas de esos materiales de la vida llamados "péptidos". En las olas de los primeros océanos del mundo comenzarían a surgir así, según el mismo proceso, las primeras moléculas nitrogenadas (purinas y primidinas), de las que nacerá más tarde el primer código genético. Las primeras partículas nitrogenadas se fortalecerían al asociarse al fosfato y a los azúcares hasta elaborar los prototipos de los nucleótidos, los elementos de base que, al formar interminables cadenas, conducirían a esa etapa fundamental de lo viviente que es la aparición del ácido ribonucleico, el ARN. En algunos centenares de millones de años, la evolución engendraría sistemas bioquímicos estables, autónomos, protegidos del exterior por membranas, parecidos ya a ciertas bacterias.

El problema fundamental que hubieron de afrontar esas células arcaicas fue el de la reproducción. Era necesario que esas primeras

células aprendiesen a “copiar” en alguna parte la elaboración de sus proteínas de base, con el fin de poder fabricar ellas mismas nuevas proteínas iguales a las anteriores. Aquí, una vez más, una ley inscrita en el fondo de la naturaleza permitió el milagro: los aminoácidos más “polares” (con mayor carga electrostática) debieron ser espontáneamente atraídos por moléculas nitrogenadas, mientras que los menos polares debieron unirse a otras familias, como la citosina. Así nacería el primer esbozo de “código genético”.

En opinión de muchos biólogos, ninguna de las operaciones mencionadas podría llevarse a cabo por azar. Para que la unión de los nucleótidos, por ejemplo, condujera por azar a la elaboración de una molécula de ARN utilizable, sería necesario que la naturaleza multiplicara a tientas los ensayos durante, al menos, 10^{15} años, esto es, un tiempo cien mil veces más largo que la edad total de nuestro universo.

Pero hay otras voces que asignan al azar una misión específica en el origen y evolución de la vida, como vemos a continuación. Debemos hacer una observación: una cosa es que se atribuya el origen y evolución de la vida al azar, como *factoautor*, y otra, que el azar sea utilizado como instrumento al servicio de las potencialidades ejercidas por la naturaleza.

5.5. Azar y necesidad

Hasta tiempos recientes, ley y azar eran alternativas distintas para interpretar el mundo natural. La interacción entre ley y azar es en todo caso sutil y compleja. Esto es lo que ocurre cuando se pretende analizar la conjunción de ambos en el caso que nos interesa: el estudio del origen y evolución de la vida.

El proceso de la evolución biológica está regido por leyes. Pero en múltiples ocasiones, la evolución hacia especies superiores se encontró ante encrucijadas, y la naturaleza siguió a veces evolucionando por caminos distintos. Los derroteros seguidos no están predeterminados de antemano. Los súbitos cambios hereditarios a nivel celular, las *mutaciones*, son fortuitos. Todo ello implica que van

unidos el azar (la “deriva génica”) y la necesidad, como ya dejara escrito Demócrito, cuatrocientos años a. C.: *Todo lo que existe en el universo es fruto del azar y la necesidad*.

En su libro *El Azar y la Necesidad*²⁰, el Premio Nobel francés **Jacques Monod** contrapuso los “procesos de azar”, a que dan lugar las mutaciones que se producen en el material genético de un organismo, y la “necesidad” de situar sus consecuencias dentro de una “ley ordenadora”, con organismos replicativos que aseguren la continuidad de ese organismo como forma viva. Puso de manifiesto que esas mutaciones en el material genético, el ADN, son los resultados de fenómenos fisicoquímicos, y que sus posiciones en el aparato molecular que aporta la “información genética” dependen totalmente del azar con respecto a las consecuencias biológicas y a las necesidades del organismo. Las cadenas de ADN son independientes, lo cual implica azar: “Puro azar, absolutamente libre, pero ciego, en la verdadera raíz del estupendo edificio de la creación”. La idea de un mundo en función del hombre, según el principio antrópico, chocaba abiertamente con esta conclusión. En la misma obra se lee: “La Antigua Alianza ya está rota, el hombre sabe al fin que está solo en la inmensidad indiferente del universo, de donde ha surgido por azar”.

Pero, ¿es todo azar y, por lo tanto, no es necesario un creador y conservador de tal edificio? G. Salet, en su libro *Azar y Certeza*²¹, mostró que la probabilidad de que la selección natural haya actuado positivamente desde el origen de la vida es prácticamente nula. De aquí concluía, en oposición a Monod, que “no hay más remedio que admitir que la Inteligencia es anterior a la Vida”. Al margen de este tema polémico, hay dos cuestiones en las que coincidimos con Monod.

Coincidimos con Monod cuando combate la hipótesis de Teilhard de Chardin, según la cual una fuerza evolutiva, atribuida a Dios, y dada de antemano, explicaría el ascenso evolutivo hasta llegar al

²⁰ J. Monod, *Le hasard et la nécessité* (París 1970). Trad. española: *El azar y la necesidad*, (Barcelona 1977).

²¹ G. Salet, *Azar y certeza* (Madrid 1975).

“punto omega”. Tal fuerza, ideada partiendo de la fe en el progreso del siglo XIX, representa una “proyección animista” que no encuentra justificación en la ciencia natural.

También estamos de acuerdo con Monod (antiguo comunista) cuando combate la biología marxista que, desde los tiempos de Engels, y pasando por Althusser, contempla una materia eterna que se desarrollaría por saltos “dialécticos”. Esto lleva también a una proyección animista y a un espejismo antropocéntrico, incompatibles ambos con la ciencia, lo cual pone de manifiesto, según Monod, “la quiebra epistemológica del materialismo dialéctico”²².

¿Damos la razón a Monod, cuando, contra un Dios creador, intenta negarlo con su teoría, tan radicalmente como al materialismo dialéctico?

Manfred Eigen, también premio Nobel, formuló con Eugen Winkler, en el libro *El juego*²³, una tesis opuesta a la de Monod, la cual comparten hoy muchos biólogos. La tesis, que figura en el subtítulo, es ésta: *Las leyes naturales dirigen el azar*. En el prólogo de la edición alemana del libro de Monod, el propio Eigen escribe²⁴:

En el mismo grado que la forma individual debe su origen al azar, en ese mismo grado constituye una necesidad ineludible el proceso de selección y evolución.

La interrelación entre azar y ley (o necesidad) en el desarrollo del origen de la vida fue objeto de discusiones en los años setenta y ha seguido después. Rupert Riedl²⁵ expresa así la sabia conjunción de ley y azar en el proceso de la evolución:

La evolución opera aquí con ese antagonismo, sumamente ambivalente, entre el azar necesario y la necesidad fortuita. A través de todas sus capas se conserva en ella lo que

²² J. Monod, op. cit.

²³ M. Eigen y M. Winkler, *Das Spiel. Naturgesetze steuern den Zufall* (Munich 1975).

²⁴ M. Eigen, Prólogo a J. Monod, *Zufall und Notwendigkeit. Philosophische Fragen der modernen Biologie* (edición alemana de *Le hasard et la nécessité*) (Munich 1971).

²⁵ R. Riedl, *Die Strategie der Genesis. Naturgeschichte der realen Welt* (Munich 1976).

comienza como azar, como indeterminación, pero termina como algo creativo, como libertad. Y crece constantemente lo que surge como necesidad, como determinación, pero acaba como ley y orden, como sentido orientador, como sentido de una posible evolución [...]. Ahora bien, un "mundo" surgido de esta estrategia ni es mero producto del azar ni está planificado de antemano, como sostiene Jacques Monod con los existencialistas, ni era promovido por el vitalismo, como piensa Teilhard. Ni la libertad de la evolución lo ha privado de sentido ni el crecimiento de las leyes lo ha dejado sin libertad [...]. Este mundo ni es determinista ni indeterminista, ni materialista ni idealista.

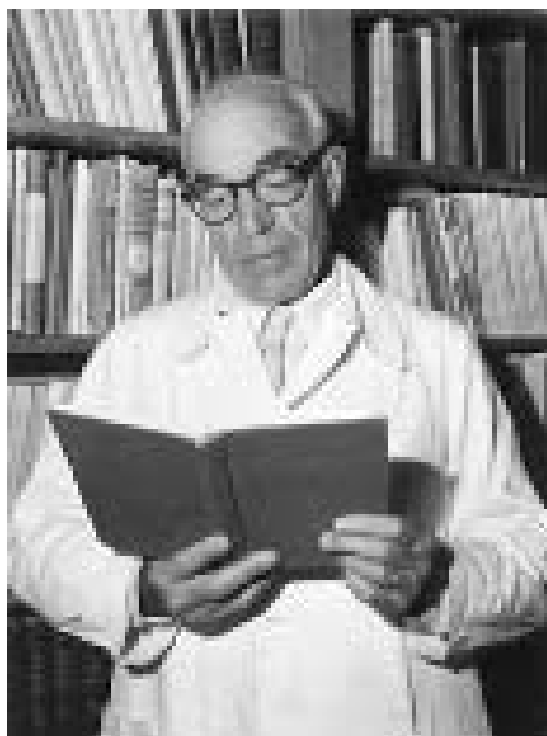
No olvidemos la doble flecha a la que está sometida la naturaleza, como dijimos en la primera sección de este capítulo: una primera flecha que lleva a la aleatoriedad, al desorden, y otra que conduce a la organización, al orden, a la ley. Las estructuras de no equilibrio o "estructuras disipativas", ideadas por Prigogine y sus colaboradores de Bruselas²⁶ arrojan nueva luz acerca de esta relación inestable entre ley y azar. Desde luego, las leyes de la evolución existen y dejan mucho espacio al azar; pero, ¿por qué leyes se han ensamblado esas moléculas hasta dar lugar a ese edificio terriblemente complejo que es el ADN? Más aún, ¿quién ha determinado esas leyes? El biólogo François Jacob planteó esta cuestión: "¿Quién ha elaborado los planos de la primera molécula de ADN, portadora del mensaje inicial que permitiera reproducirse a la primera molécula?"²⁷.

Para más información sobre las cuestiones planteadas en este capítulo, remitimos al lector a nuestro libro²⁸.

²⁶ I. Prigogine - G. Nicollis, *Quat. Rev. Biophysics*, 4, 132 (1971).

²⁷ F. Jacob, Op. Cit.

²⁸ S. Gutiérrez Cabria, *Dios, ciencia y azar*, BAC (Madrid 2003).



John C. Eccles.

Cap. 6. La relación mente-cerebro

6.1. La mente humana

La mente humana no puede entenderse desde sí misma. Su estudio se inscribe en el marco biológico e histórico a que el hombre ha llegado en el estadio que ocupa hoy. El día en que quedó completado el proceso de la hominización ocurrió algo que A. R. Wallace, contemporáneo y coautor con Darwin de la teoría de la evolución, formuló con estas palabras¹:

Desde el momento en que la primera piel fue usada como prenda de abrigo, desde el instante en que por primera vez se utilizó una lanza para la caza o se plantó la primera semilla, se realizó una gran revolución en la naturaleza, una revolución sin parangón en todos los milenios anteriores, porque acababa de surgir un ser que no necesitaba estar sujeto por más tiempo a los cambios de la naturaleza, un ser que en algún aspecto era superior a la naturaleza misma, por cuanto sabía cómo controlar y regular sus operaciones, y podía mantenerse en armonía con ella, no a través de cambios corporales, sino mediante un avance de la mente [...]. El hombre no había escapado simplemente del dictado de la "selección natural", sino que incluso había obtenido para sí una parte del poder que, antes de su aparición, era ejercido en exclusiva por la naturaleza misma. Podemos, pues, prever un tiempo en que la tierra

¹ Alfred Russel Wallace, *The origin of human races and antiquity of man deduced from the theory of "Natural Selection"* (Londres 1964).

sólo producirá plantas cultivadas y animales domésticos, un tiempo en que la selección humana habrá desplazado a la selección natural [...].

Dicho en otras palabras: atravesado el Rubicón psíquico de la hominización, el hombre inicia la construcción de la cultura y, con ella, el camino de la humanización. La cultura hay que crearla y no hay en la dotación biológica del hombre nada que le diga con exactitud el modo de realizarla. La mente humana no puede explicarse sólo a partir de unos principios anímicos y unas facultades que despliegan sus potencialidades en abstracto; la mente humana ha de explicarse también como resultado de una interacción social y de la participación de vida individual en el proceso evolutivo. Todo esto lleva implícita una consecuencia: el nivel cultural se puede perder y no es absurdo pensar en un hombre futuro degradado, regresado a formas elementales de pensamiento análogas a las del hombre primitivo.

Se ha hablado y se ha escrito mucho afirmando que la evolución de la vida ha seguido un ritmo paralelo a la cerebración creciente. De hecho, el sistema nervioso en general, y muy particularmente el cerebro, se ha convertido en el órgano material básico de las formas superiores de comportamiento, es decir, en la infraestructura biológica necesaria para acceder a una vida dotada de más grados de libertad frente al medio ambiente. El sistema nervioso central no solo recoge los impulsos nerviosos que provienen de los sentidos y los transforma eventualmente en estados de conciencia, sino que los integra además en distintos niveles de complejidad. De estas integraciones salen los impulsos hacia los músculos y glándulas encargados de ejecutar los mandatos.

El sistema nervioso proporciona a los vertebrados y al hombre dos grandes unidades funcionales, con el fin de conservar y mejorar su vida: el sistema de relación, que atiende principalmente a las relaciones del organismo con el mundo exterior, y el sistema autónomo, que atiende sobre todo a la regulación de la vida vegetativa. El mundo del pensamiento es una singularidad humana de su sistema de relación. Pero es poco lo que sabemos acerca del modo en que

el cerebro actúa en la labor intelectual. Sabemos que esta labor depende de la integridad funcional del cerebro, de modo especial la de los lóbulos frontales, y que no hay conciencia sin cerebro, y mucho menos pensamiento.

6.2. El problema mente-cerebro²

El problema alma-cuerpo se ha puesto de moda en los últimos tiempos. El reinado del alma iniciado con Platón ha tenido su réplica con los distintos materialismos: el materialismo mecanicista del siglo XVIII, el materialismo fisiológico del siglo XIX, y el materialismo neurofisiológico –cibernético o no– de las últimas décadas. Todos estos materialismos se traducen en *monismo antropológico*.

Debemos felicitarnos –escribe Mario Bunge³– por el retorno de uno de los problemas más viejos, intrigantes y difíciles de los ubicados en la intersección de ciencia y filosofía, esto es, el llamado problema mente-cuerpo. Por su parte, Feigl declara⁴: El problema mente-cuerpo está otra vez en la avanzada de las discusiones filosóficas más activas e inteligentes.

La discusión actual gira en torno a dos preguntas principales: si existe eso que llamamos “mente”, y, en caso de que exista, si es algo distinto del cerebro. En otras palabras: ¿Es suficiente esa estructura orgánica, prodigiosamente sofisticada, que es el cerebro, para explicar la conducta, facultades y propiedades del ser humano? ¿O es, más bien, necesario postular la existencia de otro factor humano, no orgánico, no material?

La primera de esas preguntas recibe hoy respuesta afirmativa casi unánime. La segunda es el centro del problema mente-cerebro propiamente dicho. A la solución de este problema se han dedicado muchos estudiosos durante los últimos años. A continuación vamos a exponer brevemente algunas de las soluciones propuestas.

² Cf. S. Gutiérrez Cabria, *Dios, ciencia y azar* (Valencia 2003).

³ M. Bunge, *The mind-body problem* (Oxford 1980). Ed. española: *Materialismo y ciencia* (Barcelona 1981).

⁴ H. Feigl, *The mental and the physical* (Minneapolis (1980).

6.2.1. Identidad entre mente y cerebro

La teoría de la identidad mente-cerebro fue desarrollada por **Herbert Feigl**, quien la expuso en su obra *The mental and the physical*, y que fue ampliamente divulgada entre filósofos y neurólogos anglosajones. Según Popper “es actualmente la más influyente de todas las emitidas desde una ontología materialista”⁵.

Feigl se esfuerza en superar el conductismo, mediante la reivindicación de la realidad de la mente. El hombre es algo más que un mecanismo automático de estímulo-respuesta. En el ser humano existen factores causales de la conducta, estados mentales que poseen una realidad propia, anterior al comportamiento y causante de él. La mente (el ego) es, pues, una realidad objetiva; no es la conducta, sino el principio interno de la conducta. Su concepción de la realidad es ilustrada por Feigl mediante un experimento mental, la “autocerebroscopia”:

Si dispusiésemos –escribe⁶– de un autocerebroscopio, esto es, de un aparato que nos permitiera ver exhaustivamente los procesos físicos y químicos en que consiste la actividad de nuestro cerebro, y del cerebro ajeno, conoceríamos, también exhaustivamente, la verdadera realidad de nuestros actos mentales, e incluso podríamos predecir nuestras acciones futuras.

C.V.M. Smith presenta esta objeción: “La acción futura de un cerebro no podría ser la misma conociendo el mecanismo de su actividad presente que no conociéndolo”. **Pribram** y **Pinillos** hacen otra objeción de orden epistemológico y metódico: esa tesis, dicen, es una construcción mental procedente de una hipótesis *a priori* no basada en la experiencia; la realidad sólo puede ser científicamente conocida en términos fisicoquímicos.

A la pregunta sobre el tema mente-cerebro, Feigl contesta categóricamente: “La mente existe, pero es el cerebro”⁷. Así planteada

⁵ K. Popper y J. C. Eccles, *The self and its brain* (1977). Ed. española: *El yo y su cerebro* (Barcelona 1985).

⁶ H. Feigl, op. cit.

⁷ Ibid.

la cuestión, cabe preguntar. ¿Está la neurología en situación de responsabilizar al cerebro de todo aquello de que es capaz el hombre? Según Feigl la respuesta es afirmativa. Los procesos teleológicos de la mente, la cognición, la intencionalidad de la conducta, etc., son todos fenómenos a los que la psicofisiología actual puede asignar una causa neurológica. Su teoría del autocerebroscopio es un intento de mostrar esa posibilidad.

La ontología que sustenta la teoría de la identidad mente-cerebro es el llamado *materialismo fisicalista*. El reduccionismo defendido por Feigl no se limita sólo a mantener que lo psíquico es reducible a lo biológico, sino, además, que lo biológico es, a su vez, reducible a lo físico. Esta doble reducción se resuelve en una realidad homogeneizada, esto es, sin saltos cualitativos, sin desniveles, donde rige una rigurosa continuidad, desde el átomo de hidrógeno hasta el hombre.

En su libro *De la materia a la razón*⁸, el filósofo **J. Ferrater Mora** ha expuesto su pensamiento acerca de la relación entre "lo mental" y "lo orgánico". Ferrater no niega que sea lícito científicamente el empleo de los nombres "mente" y "conciencia", como hicieron los conductistas ortodoxos, pero piensa que "lo mental" no tiene realidad autónoma, porque se identifica totalmente con "lo neural". Para él, la mente no pasa de ser el conjunto de los datos de la conciencia individual, percibidos por el sujeto como suyos (pensamientos, voliciones, creencias, sentimientos, etc.) y científicamente investigables por los métodos de la psicología no conductista. "Más que de coordinación e interacción entre procesos mentales y procesos neurales se trata de una identidad entre ambos"⁹. Es la idea que mejor se ajusta, según él, a la realidad de la vida humana, tal como la ciencia actual nos la da a conocer. Sólo cabe decir, pues, que "entre lo mental y lo neural puede haber una diferencia intensional, pero no una diferencia extensional, porque uno y otro modo de la actividad tienen el mismo referente"¹⁰.

⁸ J. Ferrater Mora, *De la materia a la razón* (Madrid 1979).

⁹ Ibid.

¹⁰ Ibid.

Como consecuencia de esta actitud intelectual, Ferrater rechaza claramente una opinión del último **Wittgenstein**, según la cual es posible que ciertos fenómenos psicológicos no puedan ser investigados fisiológicamente. Ferrater polemiza agudamente con los defensores del dualismo y del interaccionismo¹¹.

6.2.2. El emergentismo

La anterior representación de lo real no es admisible para el *materialismo emergentista*, según el cual, la materia se despliega en niveles de ser *cualitativamente* distintos. Cada uno de estos niveles supone el anterior, al que supera ontológicamente, y es irreducible a él. Contra el fisicalismo, el emergentismo exhibe el hecho de la evolución: los procesos evolutivos son aquellos de los que emergen cosas nuevas, entes con propiedades que no existían antes. El fisicalista, por contraste, habrá de negar el devenir de una realidad que vaya de menos a más, o considerará, como sumo, los efectos de la evolución como puras modificaciones cosméticas. El más calificado expositor de la doctrina emergentista es, sin duda, **Mario Bunge**. Su libro *The mind-body problem*, es su más completo y sistemático estudio del problema mente-cerebro, tal como lo plantea en la actualidad. Las líneas fundamentales pueden resumirse así: Para el materialismo emergentista, la conducta es la expresión motora de eventos acaecidos en el sistema nervioso central, explicable con ayuda de leyes biológicas, algunas de las cuales contienen información nueva; la actividad mental es la actividad biológica de *subsistemas plásticos* del sistema nervioso central, explicable con ayuda de leyes biológicas que se expresan mediante enunciados nuevos. La propiedad emergente más destacada, como vemos, del sistema cerebral humano es la plasticidad, su "aptitud para la autoprogramación y autoorganización", debida al hecho de que la conectividad intercelular es variable, no está fijada de antemano y para siempre. De la plasticidad provienen las cualidades irreducibles del cerebro, lo que llamamos "mente".

¹¹ Cf. infra.

A la pregunta, ¿qué es la mente?, Bunge contesta¹²:

La mente no es un ente separado del cerebro o paralelo a él o interactuante con él... La mente es una colección de actividades del cerebro [contra el dualismo]; [...] es una propiedad emergente que sólo poseen los organismos dotados de sistemas neuronales plásticos de gran complejidad [contra el fisicalismo].

En su obra *Lo físico y lo mental*¹³, el psicólogo **José Luis Pinillos** ha expresado su actitud personal ante el problema mente-cerebro, o, según sus palabras, el problema entre lo "físico" y lo "mental". Pinillos se enfrenta con las diversas formas en que el reduccionismo fisicalista pretende negar toda validez científica a la subjetividad y a la introspección, esto es, a los "datos inmediatos de la conciencia". En la necesidad de la *experiencia interna* para la construcción de una psicología genuina están de acuerdo neurofisiólogos como Sperry, Eccles y los españoles P. Gómez Bosque y D. Barcia. Los actos mentales existen en la realidad, y exigen métodos de estudio distintos de los usados en la neurofisiología y la experimentación en animales.

En relación estrecha con la psicología cognitiva, Pinillos propone como tesis plausible el *interaccionismo emergentista*, del cual dice¹⁴:

El interaccionismo emergentista que propugnamos no entiende que lo físico y lo mental sean sustancias distintas y heterogéneas. No supone, desde luego, que la conciencia sea un sistema cerrado. Cree, más bien, que la mente puede considerarse como un grado superior (de actividad) que la materia ejecuta sobre sí misma en su proceso de organización, y que, por consiguiente, esta continuidad de originación hace posible la acción recíproca de un nivel a otro. Se trata, pues, de una interacción entre momentos o

¹² M. Bunge, *Epistemology and methodology* (Dordrecht 1985). Ed española: *Epistemología* (Barcelona 1980).

¹³ J. L. Pinillos, *Lo físico y lo mental* (Madrid 1978).

¹⁴ Ibid.

niveles de una realidad emergente, pero no de interacción entre elementos heterogéneos y sin comunidad de origen. Lo cual, por descontado, no implica la negación de diferencias cualitativas importantes entre los distintos niveles de realidad que en la evolución se han producido.

6.2.3. El dualismo interaccionista de Popper-Eccles

Bunge reconoce que, a pesar del auge de las interpretaciones fisicalista y emergentista del monismo materialista, el dualismo continúa siendo hoy la teoría más popular entre filósofos, psicólogos y neurólogos. Entre los filósofos, la figura más representativa es sin duda Popper.

Popper¹⁵ elabora su famosa teoría de los tres mundos, para enfrentarse con el problema mente-cerebro. El Mundo 1 es el de las entidades físicas. El Mundo 2 es el de los fenómenos mentales: estados de conciencia, experiencias subjetivas, disposiciones psicológicas, etc. El Mundo 3 es el de los productos de la mente: el lenguaje, las teorías científicas, los mitos explicativos, las instituciones sociales, las obras de arte, etc.

Nadie duda de la realidad del Mundo 1, pero Popper se esfuerza en demostrar la de los mundos 2 y 3. *"Es real, dice, todo lo que produce efectos empíricamente comprobables. Serán, pues, reales las entidades que, sea cual fuere su naturaleza, pueden actuar causalmente o interactuar con cosas materiales reales ordinarias, aun cuando su realidad parezca más abstracta que la de las cosas ordinarias. Pues bien, los objetos del Mundo 3 son reales en este sentido: actúan o pueden actuar sobre el Mundo 1 independientemente de su materialización o incorporación"*.

La realidad del Mundo 3 exige, según Popper, la del Mundo 2. No sólo porque aquél es efecto de éste, sino porque la interacción Mundo 3-Mundo 1, "sólo es posible mediante el trámite de procesos mentales, que son entidades del Mundo 2". Los tres mundos interactúan con reciprocidad. Popper saca estas conclusiones:

¹⁵ K. Popper y J. C. Eccles, *The self...*, op. cit.

La mente, "el yo consciente", surgido seguramente por evolución de la materia autoorganizada, es una entidad real que trasciende lo puramente físico y corporal, aunque precise de ello para existir. Dicho más claramente, la mente (Mundo 2, entidad inmaterial, aunque no desencarnada ni desencarnable) es distinta del cerebro (Mundo 1), pero interactúa con él. Es el yo –o la mente– quien posee un cerebro, y no el cerebro quien posee un yo¹⁶.

Popper llega incluso a manifestar cierta sintonía con las metáforas platónicas del barco y el timonel, el auriga y el carro, el músico y el instrumento: "La mente, decía Platón, es el timonel; el Yo es el ejecutante, cuyo instrumento es el cerebro; pienso que el Yo , en cierto sentido, toca el cerebro del mismo modo que un pianista toca el piano".

En *Búsqueda sin término*¹⁷, Popper escribe:

Propongo que consideremos a la mente, antes que nada, como "un órgano que produce objetos del mundo 3" (en el sentido más general) e interactúa con ellos. Así, propongo que contemplemos esencialmente a la mente humana como el productor del lenguaje humano, respecto del cual nuestras actitudes básicas son innatas; y como el productor de teorías, de argumentos críticos y de muchas otras cosas, tales como errores, mitos, historias, dichos, utensilios y obras de arte.

Más adelante añade:

El problema mente-cuerpo se divide en, al menos, dos problemas bastante distintos: el problema de la muy estrecha relación entre estados fisiológicos y ciertos estados de conciencia, y el problema muy diferente de la emergencia del yo y su relación con el cuerpo. Es el problema de la emergencia del yo el que, sugiero, sólo puede ser resuelto si se toma en consideración el lenguaje y los efectos del "mundo 3", y la dependencia que de ellos tiene el yo.

¹⁶ 16 Ibid.

¹⁷ K. Popper, *Búsqueda sin término. Una autobiografía intelectual* (Madrid 1993).

El dualismo interaccionista de Popper recibió el refrendo entusiasta del neurólogo, premio Nobel en 1963, **John C. Eccles**. Conjuntamente escribieron el libro *The Self and its brain*. Eccles expuso también sus ideas en *Evolution of the brain: creation of the self*¹⁸.

Eccles inicia su respuesta al problema mente-cerebro desde dos puntos de partida: lo que actualmente se sabe acerca de la transmisión de la vida y de los caracteres hereditarios (doble hélice de Watson y Crick, código genético), y lo que hoy se piensa acerca de la aparición de la especie humana en el curso de la filogénesis o evolución. Asumiendo ambos puntos de vista, el neurofisiólogo llega a la formulación de su pensamiento antropológico. Según Eccles, la interacción perceptiva y volitiva entre el Mundo 1 y el Mundo 2 acontece en el cerebro; más precisamente, en el córtex cerebral. No es que el alma tenga allí su sede; el alma no tiene una localización espacialmente circunscrita, pero es el córtex cerebral, lugar de donde parten los impulsos motores y a donde llegan las impresiones sensoriales, donde necesariamente ha de realizarse la interacción entre ambos mundos. Se trata, por tanto, de conocer, en la medida en que nuestra ciencia lo autorice, cómo esa interacción se produce.

6.3. Valoración sucinta de estas teorías

Es un hecho que eminentes neurólogos contemporáneos recusan decididamente la identidad mente-cerebro. Empecemos por el testimonio de nuestro compatriota, el neurofisiólogo **Rodríguez Delgado**. Empieza por explicar neurofisiológicamente las múltiples formas de psiquismo: la distinción entre lo imaginario y lo real, los niveles más complejos del recuerdo, el ejercicio de la libertad, el movimiento voluntario, los estados emocionales. En el psiquismo superior se pueden integrar tres componentes: el cerebro, lo mental y el alma o espíritu. El cerebro es material; lo mental, "elaboración intracerebral de la información extracerebral", es transmaterial, pero puede ser objeto de experimentación científica; el alma y el espíritu son "conceptos metafísicos, entidades no corporales, inmortales,

¹⁸ J. Eccles, *Evolution of the brain: creation of the self* (1989). Ed. española: *La evolución creadora* (Barcelona 1985).

con posibilidades de salvación y condenación". Con todo, Rodríguez Delgado no se pronuncia de modo explícito acerca de la realidad del alma:

La ciencia -escribe- ha conquistado lo mental como tema de investigación empírica, pero el espíritu queda fuera de la investigación científica. Los científicos pueden considerar el alma como un mito creado por necesidades psicológicas, y el espíritu como una interpretación religiosa de lo mental sobre la cual recae la responsabilidad para la vida futura, o pueden aceptar su existencia como verdad religiosa. En todo caso, el espíritu existe en la cultura humana como un concepto que no debería ser ignorado.

Dentro de la bibliografía de Rodríguez Delgado relativa al problema mente-cerebro, podemos mencionar "Les bases neurobiologiques des activités spirituelles", en *L'esprit et la science* (París 1983), y "Bases biologiques du réel et de l'imaginaire", en *Imaginaire et réalité* (París 1984). En castellano puede leerse la conferencia *Libertad y condicionamiento neuronal*, Fidia farmacéutica (Madrid 1990).

En cuanto al problema cuerpo-alma, la actitud de Rodríguez Delgado parece seguir la línea de pensamiento de los neurólogos Cajal, Flechsig y Goldstein.

¿Cuál es esa línea? Más o menos explícitamente, creían, como hombres, en la existencia de un alma inmortal y espiritual, pero como científicos investigaban la textura y la función del cerebro, con la esperanza de encontrar la clave del psiquismo humano. Esa duplicidad entre el hombre y el científico se observa también en Eccles. En él se unen el neurofisiólogo eminente y el hombre que siente en su alma la necesidad de afirmar la singularidad del ser humano en medio del cosmos, y la dignidad que tal condición le confiere. Eccles se pronunció más explícitamente sobre el tema que los neurólogos antes citados. Se expresa así¹⁹: "Cada alma es una nueva creación divina implantada en el feto en crecimiento, en algún momento en-

¹⁹ J. Eccles, op. cit.

tre la concepción y el parto". Poco después afirma que "la relación mente-cerebro refuerza poderosamente nuestra creencia en el alma humana y en su origen milagroso por obra de una creación divina". Lo cual es el reconocimiento no sólo del Dios creador del cosmos, sino también del Dios amoroso a quien debemos nuestra existencia. Podríamos aportar opiniones análogas de otros neurofisiólogos, como Penfield o Sperry.

Con respecto al emergentismo hemos de reconocer que presenta ventajas frente al fisicalismo. En él se reconocen las diferencias cualitativas que existen entre los distintos seres humanos y, sobre todo, permite hacer una lectura realista de la realidad, ya que el hombre difiere sustancialmente de su entorno, con respecto al cual es irreducible y al cual supera ontológicamente. Al ser la mente una cualidad emergente del cerebro, no se puede decir sin más que lo mental sea idéntico a lo cerebral. La mente, en efecto, posee unas facultades funcionales que rebasan lo puramente fisiológico o biológico y, por supuesto, lo físico.

Por otra parte, y frente al dualismo, el monismo emergentista justifica y da razón de la experiencia que el yo encarnado hace de sí mismo como unidad psicosomática. El ser humano no es el resultado de la interacción de dos entes, o de su unión puramente accidental, y como mero episodio; es un ser *ontológicamente uno*, si bien dotado de una ontología especial para cubrir toda la gama de lo real, desde lo físico a lo psíquico, pasando por lo químico y lo biológico.

Con todo, la teoría emergentista tiene sus flancos débiles, hacia los cuales apuntan las críticas de los fisicalistas. ¿Qué sentido tiene, en efecto, afirmar un "monismo de sustancia", después de haber reconocido la pluralidad de propiedades cualitativamente diversas e irreducibles? Éste es el motivo por el cual tanto fisicalistas como cibernetas motejan al emergentismo de "dualismo camuflado". Y, sobre todo, esto, que atañe a la esencia misma del emergentismo: Si la mente representa un fenómeno auténticamente emergente respecto a "todas" las demás realidades, propiedades y leyes del mundo material (físicas, químicas, biológicas), es de lógica inferir

que la mente es una realidad no física, no química, no biológica, no material, por más que esté esencialmente relacionada con todos esos niveles de lo real.

El dualismo interaccionista de Popper tampoco está libre de problemas. Empecemos por observar que el hombre del dualismo no está tan lejos, como parece a primera vista, del robot del fisicalismo. En efecto, la interpretación popperiana de la mente es bastante afín a la explicación emergentista. Por otra parte, llama la atención su repliegue hacia la idea platónica de la relación mente-cerebro, esto es, alma-cuerpo. Este repliegue se distancia, no sólo de los actuales materialismos, sino también de la antropología bíblica. Como en los mejores tiempos del cartesianismo, el cerebro (el cuerpo) vuelve a ser en Popper la *res extensa*, un mecanismo gobernado por la *res cogitans*, una entidad “des-almada” –en expresión de Ruiz de la Peña (65)– , y a la mente no le queda sino constituirse en “el espíritu de la máquina”.

La experiencia mística es una de las vivencias más peculiares que puede experimentar el ser humano. Existen muchos estudios que atestiguan la enorme carga afectiva de los sujetos que llevan consigo estas experiencias y su capacidad de transformación posterior de las conductas. La discusión sobre la relación mente -cerebro se puede llevar también a cabo en el análisis de casos concretos. Un ejemplo interesante surge de las experiencias místicas. No están dilucidados con precisión las estructuras cerebrales que actúan en estos fenómenos de misticismo o simple trascendencia, pero sí decir que el lóbulo temporal y quizá parte del lóbulo occipital están implicados en ellos.

La existencia de estructuras responsables de la experiencia mística es ajena a la creencia en seres sobrenaturales. Independientemente de que se sea creyente o no, es importante saber que existen en el cerebro estructuras que hacen posibles estas experiencias. La activación de estas estructuras cerebrales, tanto en condiciones normales como patológicas (como por ejemplo en los ataques epilépticos), explicaría el fenómeno religioso, así como su universalidad en todas las culturas.



John von Neumann.

Cap. 7. Positivismo y neopositivismo

En lo referente a la cuestión de verdad, o falsedad, no hay oposición alguna entre el científico naturalista y el teísta que cree en un Dios transcendente (Alfred Ayer, Lenguaje, verdad y lógica).

El positivismo es una corriente de pensamiento que dominó gran parte de la cultura europea desde 1840 hasta casi la primera guerra mundial. Coincidió con una época de expansión colonial en la que tuvo lugar la transformación industrial de Europa con sus consecuencias sociales: utilización de los descubrimientos científicos en los sistemas de producción, desarrollo de grandes ciudades, crecimiento impresionante de la red de intercambios comerciales, triunfo de la medicina sobre las enfermedades infecciosas, etc. Es el triunfo de la revolución industrial sobre el sistema tradicional de vida. La ciencia está vinculada a este desarrollo de la industria de modo mutuo, lo que permite avances muy significativos en amplios campos del saber. Es la época de los grandes matemáticos, como Cauchy, Gauss, Weierstrass o Riemann; de físicos, como Maxwell, Hertz o Faraday; de termodinámicos como Clausius o Thomson; de químicos como Berzelius o Mendeléiev; de microbiólogos como Koch o Pasteur; Bernard edifica la fisiología y la medicina experimental; son los tiempos de la teoría evolucionista de Darwin, los de la construcción de la torre Eiffel de París o de la apertura del canal de Suez.

La estabilización política, la industrialización y los avances de la ciencia y de la técnica conducen a un ambiente sociocultural que el

positivismo interpreta, ensalza y favorece. Pronto se harán sentir los efectos negativos de la sociedad industrial: los desequilibrios sociales, las luchas por la conquista de los mercados, la condición mísera del proletariado o la explotación de menores, por poner algunos ejemplos significativos. Los marxistas diagnostican estos males de modo distinto a como lo hacen los positivistas. Éstos creen que estas lacras desaparecerán con el aumento de la instrucción popular, el avance de la ciencia y el incremento de la riqueza.

Los positivistas reclaman el primado de la ciencia: sólo conocemos lo que adquirimos a través de la ciencia, y mediante el método científico, que ha de extenderse al estudio de los hechos constituidos por las relaciones humanas y sociales. El positivismo se caracteriza por un optimismo que surge de la creencia en un progreso imparable como resultado del trabajo e ingenio humanos. Es el culto a la divinidad del hecho.

El positivismo prescinde de toda proposición que no pueda verificarse por medios empíricos. En consecuencia, la metafísica, junto con la ética y la religión, al no estar constituidas por conceptos y proposiciones verificables de modo fáctico, se basan en pseudo-conceptos. La matemática y la lógica no pasan de ser tautologías, formas convencionales incapaces de decir algo acerca del mundo. La filosofía es un análisis de la semántica y de la sintaxis del único discurso significativo, el discurso científico.

7.1. El positivismo de Auguste Comte

El iniciador y representante más calificado del pensamiento positivista fue el francés **Auguste Comte**. Comte nació en Montpellier en 1798. Alumno de la Politécnica de París, carecía de formación filosófica¹. Al romper con los vínculos de la familia, debido a su espíritu

¹ En la Biblioteca Positivista elaborada por Comte figuran 150 volúmenes. Bajo el epígrafe "Síntesis", el que más se aproxima a la filosofía, incluye 33 obras, aparte de las suyas. Entre éstas están *Política de la Moral* de Aristóteles, la *Biblia*, el *Corán*, *Ciudad de Dios* y *Confesiones* de San Agustín, *Tratado del Amor de Dios* de San Bernardo, *Imitación de Cristo* (Kempis, en lengua original y la traducción en verso de Corneille). De entre lo filosófico destacamos *Ensayos filosóficos* de Hume, contrastando con el *Catéchisme de Montpellier* y la *Exposición de la doctrina católica* de Bossuet y los *Comentarios al Sermón de la Montaña* de San Agustín, y los *Pensamientos de Pascal*.

de independencia, y falto de recursos, se dedicó a la enseñanza particular de las matemáticas como medio de subsistencia; por lo menos hasta 1842, como él mismo confiesa. Hacia 1818 entabló amistad con **Saint-Simon**, que contaba ya 58 años. En carta a Valat, en mayo del mismo año, afirmaba que gracias a *esta unión de trabajo y de amistad* había hecho más progresos su espíritu en seis meses que los que hubiera hecho en tres años de estudio en los libros. Bajo la dirección de Saint-Simon escribió su *Système de politique positive*.

En abril de 1826 concurrían a oír sus lecciones sobre la nueva filosofía personajes como Humbolt, Poincot, Fourier y Eichthal. Al presentarse sus oyentes a escuchar la cuarta lección, encontraron el domicilio de Comte cerrado y deshabitado, sin previo aviso. El renombrado filósofo había sido atacado de un acceso de locura y llevado al manicomio del doctor Esquirol. Nuevas crisis le llevaron a atentar contra su vida, arrojándose un día al Sena. Sacado del río con vida, vuelve a emprender, en 1829, sus conferencias ante un público tan escogido como antes. Al año siguiente empieza a publicar su *Curso*. Según él mismo da a entender, y Littré confirma, componía cada tomo de memoria, sin escribir nada hasta que lo tenía todo meditado y determinado. En esta época, en que la publicación de su obra empezó a darle nombradía, empezó a servirse de un modo muy singular de la generosidad de sus admiradores, haciéndoles ver que debían contribuir a hacerle posible la gran misión de implantar en el mundo civilizado la *filosofía positiva*. El mismo Comte narra su encuentro con Guizot pidiéndole que le dotara una cátedra de *Historia de la filosofía positiva*; la solicitud empezaba textualmente así: *je lui ai fait l'honneur* (le he hecho el honor), lo que dejó estupefacto a Guizot. Atacó vehementemente a Aragó por no haberle proporcionado una cátedra de matemáticas en la Escuela Politécnica y se declaró contra la Academia de Ciencias, a la que calificó de *masse aveugle et passionnée* (masa ciega y apasionada) después de fracasar su candidatura a ingresar en ella (el contrincante era nada menos que Sturm).

No figura nada de Descartes, ni de Kant, ni de ningún filósofo, salvo Diderot. No falta *Du Pape* de Maistre, precedido de la *Politique Sacrée* de Bossuet.

Nuevos accesos de locura condujeron a Comte, en la última etapa de su vida, a un seudomisticismo extravagante. El año 1842 debería ver nacer una nueva religión, adecuada al grado de evolución de la humanidad. El nuevo ser supremo, el "grand être", ante quien los hombres habrían de postrarse de rodillas en veneración y adoración perpetuas, sería la humanidad misma, tal cual ella es, con sus perfecciones y defectos, para elevarla a la mayor perfección. Esta religión era la "religión positiva". Su obra en cuatro tomos² *Système de politique positive ou Traité de sociologie instituant la religion de l'humanité* (1851-1854) contiene las instrucciones prácticas, curiosas y algo fantásticas, para la institución de esta religión. Al meterse Comte a fundador de una nueva religión, Saint-Simon se separó de él. Esto mismo hicieron muchos de sus admiradores como Stuart Mill y Littré. Para este último, "la religión positiva es una locura que no se aviene con la condenación de la metafísica y la teología"³.

El principio fundamental de Auguste Comte consiste en eliminar todas las cuestiones metafísicas referentes a las causas primera y final, intentar explicar todas las ideas y las teorías en términos de hechos concretos, y considerar como válidos y establecidos solamente los que han sido demostrados por la experiencia. El gran criterio positivista es: "Toda proposición que no sea estrictamente reducible al simple enunciado de un hecho, particular o general, no puede ofrecernos ningún sentido real e inteligible". Según Comte, las concepciones de la mente humana marchan en tres etapas: teológica, metafísica y científica o positiva. Piensa que el hombre pasa de lo *teológico* a lo *positivo*. El estado *metafísico* (el de las revoluciones que intentan regenerar la sociedad) es artificial y se puede prescindir de él. El nuevo estado es *científico* en lo espiritual, industrial en lo temporal. No hay ni libertad ni azar. Para que pueda hablarse de una nueva civilización, se requiere descartar la libertad y la casualidad. Comte insiste en la necesidad de extraer del desarrollo científico nuevas bases para una disciplina que sustituya a la antigua filosofía

² A. Comte, *Œuvres d'Auguste Comte* (Paris 1968-1970).

³ E. Littré, *Paroles de la philosophie positiviste* (Paris 1859).

teológico-metafísica. No basta la disolución del antiguo régimen intelectual, en nombre de la ciencia; es necesaria "la reorganización total del sistema especulativo". La especialización empírica ha servido temporalmente para la extensión del espíritu positivo. Realizada ésta, la permanencia de aquélla supone poderosos obstáculos a todos los grandes progresos científicos, e incluso compromete gravemente la conservación real de los resultados anteriores.

El materialismo agresivo de Comte, no sólo lo llevó a truncar todas las ciencias, negándoles toda base metafísica, sino a lanzar invectivas contra la psicología, que estaba destinada, sin que él lo previese, a un próximo y vasto desarrollo. En el proyecto comtiano hay una doble influencia, la cienticista y la política. Al comienzo de su obra está, a modo de ideal, la tarea de hacer una "política científica". Pero la "ley de jerarquización de las ciencias", idea que pertenece a los albores de su pensamiento, modifica substancialmente toda pretensión de reducir las complejas cuestiones sociales a ciencias cuyo objeto propio es más simple. Comte afirma que la ciencia social, para él superior a las demás en metodología y en doctrina, ha de hacer posible la política científica. En el fondo, insiste, no se debe concebir más que una sola ciencia, la ciencia humana o, más exactamente, social, de la que nuestra existencia constituye a la vez el principio y el fin, y a la que viene naturalmente a fundirse el estudio racional del mundo exterior. En Comte la humanidad avanza gradualmente hasta la triunfal fase final, en que la ciencia queda sometida a su esquema filosófico.

Comte es el verdadero fundador del positivismo, si bien hay que reconocer que hubo precursores, entre los cuales él mismo reconoce como principal a Hume, y como secundario a Kant. Entre sus seguidores más importantes citemos a Littré, Lafitte, Taine y Mill.

Littré era el heredero intelectual de Comte, pero por desavenencias entre ambos quiso excluirlo de su sucesión. Littré no quiso ceder su puesto de continuador de la obra del positivismo y fundó una *Escuela positivista independiente* que facilitó la aclimatación del

positivismo en Francia. Contribuyó a ello la misma personalidad del autor del *Diccionario de la lengua francesa* y el apoyo de la francmasonería (Littré se había hecho masón en 1875). Su filosofía es sensualista y agnóstica; su moral, relativista. Littré se convirtió al catolicismo la víspera de su muerte. Su partido casi desapareció con él, y la revista por él fundada, *Philosophie Positive*, le sobrevivió sólo dos años. **Pierre Lafitte**, señalado por Comte como su sucesor, tomó en serio la obra positivista en sus tres aspectos, doctrinal, religioso y político. Le ayudaron Magnin, Lonchampt y Robinet, con los que fundó la revista positivista *Revue Occidentale*.

Después de Littré, el positivismo francés tuvo su máximo representante en **Hyppolite Taine**, quien por su brillantez obtuvo un éxito clamoroso. Fue autor de obras tan célebres como *Los orígenes de la Francia contemporánea* e *Historia de la literatura inglesa*. Taine aplicó las ideas positivistas a la crítica literaria y a la estética.

John Stuart Mill es el sistematizador de la Lógica positivista, junto con Bain, Lewes, Tyndall y Huxley. Dentro de la tradición empirista, asociacionista y utilitarista, trabajó intensamente por configurar un conjunto de teorías lógicas y ético-políticas, que marcaron con su impronta la segunda mitad del siglo XIX inglés. El ensayo *Sobre la libertad*, escrito en colaboración con su esposa Harriet Taylor, es un clásico de los derechos de la persona, mientras que su *Sistema de lógica raciocinadora e inductiva*, sigue siendo un modelo de la lógica inductiva. Deben citarse también, entre los ingleses, a Carus, Spencer, Harrison y Clifford. El *Incognoscible* y las ideas evolucionistas de Herbert Spencer dieron la vuelta al mundo.

7.2. El neopositivismo o positivismo lógico

El positivismo de Comte tuvo en Inglaterra una clara manifestación en la llamada "dialéctica de las dos culturas", iniciada por **Thomas H. Huxley**, y que seguía aún viva a mediados de este siglo. Pero donde recibió una inyección especial fue en Viena en la década 1920-1930 por obra de un grupo de pensadores, científicos, matemáticos y filósofos, que formaron el llamado *Círculo de Viena*. Su origen data

de 1922, fecha en que **Moritz Schlick**, el fundador y guía del grupo, fue llamado a ocupar la cátedra de filosofía de las ciencias inductivas en la Universidad de Viena. En torno al profesor Schlick se reunían en seminario semanal, entre los principales miembros del Círculo, filósofos que pronto lograrían la celebridad como Otto Neurath, Rudolf Carnap, Philipp Frank, Victor Kraft, Félix Kaufmann, Kurt Redemeister, Herbert Feigl, Friedrich Waismann. Casi todos tenían una mayor o menor formación en matemáticas y lógica, pero había también verdaderos matemáticos, como Karl Menger, Hans Hahn, John von Neumann y Kurt Gödel. Ciencia y matemáticas, junto con la lógica simbólica, fueron los temas que adquirieron especial relieve en el debate, con miras a una nueva concepción de la filosofía de la ciencia.

En 1929, redactado por **Carnap y Neurath** –y firmado también por **Hahn**, parece que a regañadientes–, apareció el escrito programático conocido como *Manifiesto del Círculo de Viena*. Este escrito fue redactado por los dos autores citados, aprovechando una ausencia de Schlick en Norteamérica, y a algunos de los principales miembros del Círculo (capitaneados por Menger) les disgustó. Menger creó su propio seminario escindido, en el que acabarían participando Gödel y von Neumann. Ese mismo año, y en el Congreso celebrado en Praga, el Círculo entró en relación con la *Sociedad de Berlín para la Filosofía Empírica*, movimiento de similar orientación filosófica neopositivista que había constituido **Hans Reichenbach**, y a la que pertenecían también Alexandre Hertzberg, Walter Dubislav, Kurt Grelling, Carl G. Hempel y Richard von Mises. Las actividades de ambos grupos fueron muy intensas y, bajo la dirección de Carnap y Reichenbach, los *Annalen der Philosophie* se transformaron en la revista *Erkenntnis*, órgano principal del movimiento, encargado de propagar las ideas neopositivistas. Con la muerte de Hahn en 1934 y la de Schlick, asesinado por un estudiante a la entrada de la universidad, junto con la oposición del grupo al nazismo, se inicia la dispersión del Círculo. Varios de sus miembros de ascendencia judía emigraron a Estados Unidos, donde fueron bien acogidos, principalmente por Charles Morris, que había ya contactado antes con miembros de Viena y Berlín.

En la década 1940-1950 pervivió en Norteamérica hasta que se fue extinguiendo.

Los autores del *Manifiesto* se declaran preocupados por el hecho de que el pensamiento metafísico y teológico vuelva por sus fueros “no sólo en la vida, sino también en la ciencia, haciéndose valer “en asociaciones y sectas, en libros y revistas, en conferencias y cursos universitarios”⁴. La finalidad del Manifiesto es contrarrestar esta tendencia y, a tal fin, exhorta a superar la vaguedad del discurso filosófico desde

*el espíritu de la Ilustración y de la investigación antime-
tafísica. La única herramienta capaz de suministrar una
rigurosa, exacta, científica, cosmovisión es el método de
las ciencias de la naturaleza, lejos de las crónicas impre-
cisiones de la metafísica y la teología.*

Los firmantes del texto estiman además que esta concepción es capaz de “dar forma a la vida pública y privada”, influyendo benéficamente en todos los ámbitos de la sociedad moderna: economía, sociología, política, etc.

La idea central del *Manifiesto* es claramente “ciencia contra metafísica”, donde por metafísica hay que entender todo producto intelectual que no se ajuste a la experiencia empírica. La “concepción científica del mundo” librerá, según los neopositivistas, al discurso racional de las brumas pseudofilosóficas. De aquí se deduce que no hay misterios, sino sólo “problemas” que pueden ser claramente formulados y resueltos. Toda cuestión que no se acomode a estos presupuestos ha de considerarse como pseudoproblema. Metafísicos y teólogos hacen arte pero no conocimiento. “Sus análisis no dicen nada, son mera expresión de un sentimiento vital, luego no responden a la realidad objetiva, pues es real todo, y sólo, lo que puede ser integrado en el conjunto del edificio de la experiencia”. Aquí esta

⁴ H. Hahn-O. Neurath-R. Carnap, *Wissenschaftliche Weltauffassung. Der Wiener Kreis*, reproducido en H. Schleichert, *Logischer Empirismus* (Munich, 1975), 201-222. Ver también: *Erkenntnis*, 1 (1930) 74. En H. Feigl y S. Toulmin, *El legado del positivismo lógico*, (Instituto de Lógica, Valencia, 1981) puede verse una traducción del *Manifiesto* del Círculo de Viena.

el meollo del Manifiesto neopositivista. "La concepción científica del mundo no admite como conocimiento incondicionalmente válido el que tenga su fuente en la razón pura" [...] Reconoce tan sólo "los enunciados de experiencia y los enunciados analíticos de la lógica y las matemáticas". El propio Manifiesto sintetiza así su concepción científica del mundo: Es "empirista y positivista" y opera con un determinado método, "el del análisis lógico", que habrá de aplicarse a los materiales empíricos".

Una gran influencia en el Circulo de Viena fue ejercida por **Wittgenstein**, que asistió a sus reuniones durante un tiempo. En su *Tractatus Logico-Philosophicus*⁵, Wittgenstein intentó disciplinar el discurso filosófico mediante un riguroso análisis del lenguaje que permitiera deslindar lo que podemos decir "con sentido": "Todo aquello que puede ser dicho, puede decirse con claridad; y de lo que no se puede hablar, mejor es callarse"⁶. Para él, las únicas proposiciones dotadas de sentido son las emitidas por las ciencias de la naturaleza, al poder ser confrontadas con la realidad. Cuando son así avaladas por la confrontación, dicen lo único que puede ser dicho. La filosofía debería, pues, limitarse a repetir lo que ellas dicen y prohibir que se diga algo fuera de esto. La misión del filósofo queda reducida así a la crítica del lenguaje. Posteriormente, el llamado "segundo Wittgenstein" alteraría substancialmente este discurso filosófico. La llamada "filosofía analítica" de raíz anglosajona, bebiendo de las fuentes de Wittgenstein y del tradicional empirismo inglés, se centra en el análisis del lenguaje, con un enfoque antimetafísico, aunque las actitudes de sus representantes ante la religión son variadas. En Cambridge trabajaba la discípula predilecta de Wittgenstein, N. Anscombe, dentro de un riguroso catolicismo. Una tendencia de la filosofía analítica la constituyen los neoanalistas de la *Escuela de Oxford*, con Ryle, Wisdom, Austin Strawson, etc., que enlazan con Moore y el segundo Wittgenstein y que, rechazando el análisis reduccionista del lenguaje, vuelven a dar validez al lenguaje común con sus diferentes usos para denotar valores de la realidad.

⁵ L. Wittgenstein, *Tractatus Logico-Philosophicus*. Ed. de E. Tierno Galván (Madrid, 1981) Mejorada por la nueva versión de J. Muñoz-I. Reguera (Madrid 1987).

⁶ Ibid.

Si interesante es el Círculo de Viena para los filósofos, también lo es para los matemáticos. En él participaron dos de los más grandes matemáticos del siglo XX, **von Neumann**⁷ y **Gödel**⁸. Más precisamente, como hemos visto, los matemáticos más caracterizados del Círculo (salvo Hahn) lo abandonaron a raíz de la publicación del Manifiesto para integrarse en un grupo aparte coordinado por Karl Menger (que había empezado a reunirse en 1928), aunque las relaciones personales siguieron siendo cordiales. En este grupo se hicieron importantes aportaciones a los Fundamentos de la Matemática, la Topología y la Economía Matemática.

Aunque los miembros del Seminario de Menger compartían con sus colegas neopositivistas su crítica a la “verborrea metafísica”, no

⁷ John von Neumann nació en Budapest (entonces parte del Imperio Austro-Húngaro) en 1903, y murió en Washington en 1957. Sus aportaciones a las Matemáticas fueron muy importantes, pero también lo fueron a la mecánica cuántica, la termodinámica y la economía. La historia de sus opiniones religiosas es entretenida. Sus padres eran judíos, y se adhirió al catolicismo con ocasión de su primer matrimonio con una católica húngara, aunque aparentemente desinteresado por toda cuestión religiosa. Su segundo matrimonio fue con una judía y abandonó ese, digamos, catolicismo nominal. Cuando fue diagnosticado de cáncer, se produjo en él una gran conmoción interior y volvió a la fe católica, que después de la conversión de su madre había ya considerado en los años 1920-30. Algunos de sus sorprendidos amigos opinaron que se dejó instruir en la doctrina católica porque el capellán católico del hospital era un hombre culto, con el que von Neumann podía hablar de Roma y de la Grecia clásica, cosa que no podía hacer con los soldados de su escolta. Sin embargo, von Neumann había ya anteriormente señalado a su madre: “*Probablemente exista Dios. Muchas cosas son más fáciles de explicar si existe Dios que si no existe*”. Asentía también sonriendo al argumento de Pascal: “En la medida en que hay una cierta probabilidad de pérdida del paraíso para los incrédulos, es en efecto correcto ser creyente”. Se acordaba perfectamente de su latín, y sorprendió a un visitante en su lecho de muerte, recitando en latín versículos de la secuencia del *Dies iræ*.

⁸ Kurt Gödel nació en Brünn, Moravia, entonces perteneciente al Imperio Austro-Húngaro (hoy Brno, República Checa), en 1906. Murió en Princeton en 1978. Estudió matemáticas en Viena, donde se doctoró en 1930. Ese mismo año se trasladó a Estados Unidos y trabajó en el Instituto de Estudios Avanzados de la Universidad de Princeton, en la que impartió docencia hasta 1938. Sus trabajos con los que adquirió fama mundial versan sobre lógica matemática: por ejemplo, demostró que el axioma de elección es consistente con los otros axiomas (de Zermelo-Fraenkel) de la teoría de conjuntos (después Cohen demostraría que tampoco se puede probar a partir de ellos); rechazó la completa axiomatización de la matemática y mostró que, dada una teoría matemática que contenga al menos la teoría elemental de los números, la teoría es incompleta (esto es, contiene enunciados *indecidibles* que no se pueden probar en la teoría ni como verdaderos ni como falsos). Gödel confesó a Hao Wang (*Reflexiones sobre Kurt Gödel*, Madrid 1987. “Siempre he tenido mis reservas a la hora de hablar de mi relación con el Círculo de Viena, debido a que nunca he sido un positivista lógico, en el sentido en que este término es entendido normalmente y se explica en el manifiesto de 1929. En cambio, algunas publicaciones han contribuido a crear la impresión de que lo he sido”. La concepción que Gödel tiene de la metafísica como filosofía incluye los conceptos de Dios y el alma. Gödel fue amigo y confidente de Einstein durante los últimos años de vida de éste: ninguno de los dos fue positivista.

participaban en general de su reduccionismo radical, en particular en lo referente a su actitud ante la religión.

7.3. El cienticismo

El impacto producido por el neopositivismo fue enorme. La causa está en la firmeza con que defendió la racionalidad científica y la alta jerarquía a la que elevó el conocimiento humano. Este influjo se ejerció ante todo sobre bastantes científicos y filósofos de la primera mitad del siglo y, después, a través de los medios de comunicación, sobre el gran público. De la defensa del método científico se pasó a una excesiva apología de la ciencia, como única depositaria de la razón, en detrimento de otros usos de la racionalidad.

La *ideología cienticista* se asienta en un doble monismo epistemológico y ontológico. Desde el punto de vista epistemológico, sólo lo científico es racional, pues sólo la ciencia produce verdad. Desde el punto de vista ontológico, sólo la racionalidad científica es la que resulta acreditada por la realidad genuina. Lo realmente existente es la *physis*: toda realidad es, al fin de cuentas, realidad física y, en consecuencia, todo lo cognoscible puede y debe ser explicado en términos de leyes físicas.

El sistema ocultaba evidentes debilidades. El monismo que acabamos de señalar impone un doble y brutal reduccionismo: la reducción del discurso racional y la reducción de la propia realidad. La reducción del primer tipo, la epistemológica, fue denunciada por **Karl Popper**⁹, quien refutó concluyentemente el *verificacionismo* neopositivista, contraponiéndolo al *falsacionismo* ideado por él. Demostró la imposibilidad de la llamada *verificación completa*, y que la racionalidad nunca se ha atenido, *de hecho*, al criterio de verificación empírica para comprobar sus investigaciones.

De la voz de alerta de Popper se hicieron eco no pocos científicos y filósofos de la ciencia, quienes se percataron de una excesiva mitificación de la ciencia a la que se convertía en única fuente de

⁹ K. Popper, *Logik der Forschung* (Viena 1934). Ed. española: *La lógica de la investigación científica* (Madrid 1967).

verdad, de certeza y de valor. Se la revestía del carácter omnipotente, omnisciente e infalible de una deidad. Sobre todo, se deslegitimaba la validez de los juicios morales, ya que el cienticismo “prohíbe decir que algo es bueno o malo”. En efecto, según sus premisas, la ética quedaría emplazada dentro de la metafísica, de la teología o de la mística (todas desautorizadas por el cienticismo): sus proposiciones no caen bajo el postulado verificacionista y, por tanto, “carecen de sentido”. Contra esta desautorización protestaron los marxistas humanistas y los partidarios de la Escuela de Francfort, entre ellos Adorno¹⁰, Marcuse¹¹ y Kolakowski¹².

El reduccionismo ontológico, según el cual hay sólo “superficie” (la realidad objetiva de la física), ha sido recusado por eminentes físicos, entre ellos Espagnat y Prigogine. Para Espagnat¹³, amén de la “realidad empírica”, existe la “realidad en sí”, inaccesible al científico y, por ende, “realidad velada”. Ilya Prigogine e Isabel Stengers¹⁴ confiesan que “la ciencia no nos da acceso a los misterios del universo, y que si la visión positivista hubiera de ser aceptada, gran parte del atractivo de la ciencia se perdería”.

La reducción de lo real a lo objetivo, conduce a la negación de la realidad subjetiva. **Carnap** escribió que *el yo no es ningún dato objetivo, que del “pienso” no se sigue el existo*. La noción de persona, el hombre mismo, es un invento reciente según la antropología neopositivista.

Estos rechazos causaron deserciones dentro mismo del positivismo. Wittgenstein nunca se encontró cómodo con los maximalismos cienticistas; ya en el *Tractatus* dio a entender que hay algo más que el mundo de los hechos. Vivía atormentado por la cuestión de la ética, por la muerte y por la idea del yo. Con estas tres cuestiones entrelazaba el tema de Dios y el del sentido de la vida. Tales cuestiones,

¹⁰ T. W. Adorno, *Minima Moralia* (Barcelona 1983).

¹¹ H. Marcuse, *El hombre unidimensional. La ideología de la sociedad avanzada* (Barcelona 1969).

¹² L. Kolakowski, *Tratado sobre la mortalidad de la razón* (Caracas 1969).

¹³ B. d'Espagnat, *A la recherche du réel voilé* (Paris 1979).

¹⁴ I. Prigogine e I. Stengers, *Entre le temps et l'éternité*. Ed. Española: *Entre el tiempo y la eternidad* (Madrid 1990)

según él, rebasan el mundo de los hechos: "Sentimos que incluso cuando todas las cuestiones posibles científicas han sido respondidas, nuestros problemas vitales no han sido tan siquiera tocados"¹⁵. Bastante antes (el *Tractatus* fue publicado en 1921), el 11 de junio de 1916, escribió en su Diario¹⁶:

Al sentido de la vida, esto es, al sentido del mundo, podemos llamarlo Dios. Y vincular a ello la comparación de Dios como Padre. La oración es la reflexión sobre el sentido de la vida. Creer en Dios significa ver que no todo se reduce a los hechos del mundo. Creer significa descubrir que la vida tiene sentido.

El propio Carnap, a partir de la década de 1930, mientras enseñaba en Praga, inició la liberación del empirismo radical. En su *Autobiografía* escribe:

La simplicidad y la coherencia del sistema de los conocimientos, tal como las concebía la mayoría de los miembros del círculo de Viena, le proporcionaban un cierto atractivo y un gran vigor ante las críticas; por otra parte, estas características provocaban cierta rigidez, por lo cual nos vimos obligados a realizar algunas modificaciones radicales para hacer justicia al carácter abierto a la inevitable falta de certeza en todo conocimiento fáctico.

Todo esto explica el rápido ocaso de la mentalidad cienticista en muchos pensadores y científicos contemporáneos. Pero esta afirmación no quiere decir que el cienticismo haya desaparecido.

Lo que sí aparece claro es la insuficiencia del cienticismo y la de la propia ciencia. Olvida el cienticismo que la entera naturaleza está determinada por una conexión unitaria. Al concebir la teoría general de la relatividad, Einstein se inspiró apriorísticamente en la idea de que existía perfecta armonía en el universo. Según él, el fin de la ciencia no es formular enunciados empíricamente correctos,

¹⁵ L. Wittgenstein, *op. cit.*

¹⁶ L. Wittgenstein, *Tagebücher*, 1914–1916, en *Schriften I* (Frankfort 1960).

sino hacer concebible la realidad. Como en los buenos tiempos de Copérnico y Newton, en que el argumento científico tenía siempre una dimensión teológica, así también Einstein apela a su creencia de que *Dios no juega a los dados*, cuando rechaza la tesis de Bohr sobre el principio de complementariedad. Skolimowski tiene la sinceridad de escribir: "Parecemos simplemente incapaces de librarnos de nuestros vínculos con la Teología [...]. Newton, con su ciencia, intentó seguir a la Teología. Nosotros, con la nuestra, intentamos destruirla". Más que de la ciencia, añadimos nosotros, ese intento ha estado a cargo de la filosofía positivista: la visión de la ciencia no tiene nada que ver en sentido estricto con el positivismo.

7.4. Los límites de la ciencia

De la insuficiencia del cienticismo se deduce de modo inmediato la primera y más general limitación de la racionalidad científica: su incapacidad para lograr por ella sola una visión coherente de la total realidad. Incapacidad inherente a la naturaleza misma de la ciencia que en modo alguno disminuye su valor y su indiscutible grandeza. Popper¹⁷ confiesa con humildad:

Hemos de hacernos a la idea de que vivimos en un mundo en el que casi todo lo que es muy importante ha de quedar esencialmente inexplicado. Con la ayuda de las ciencias hacemos lo mejor que podemos [...]; aun así, deberíamos tener siempre presente que, en cierto sentido, eso no es más que arañar la superficie y que, en última instancia, todo queda sin explicar.

A consecuencia de este desconocimiento del universo, se impone la legitimidad de otras formas de conocer que completen y prolonguen el de las aportaciones científicas. Ni la ciencia es toda la verdad, ni la racionalidad científica es toda la racionalidad. Prigogine y Stengers llegan a proponer una "nueva alianza" entre la razón científica y la filosófica:

¹⁷ K. Popper, op. cit.

*Abogamos por que el carácter esencialmente abierto de la ciencia sea reconocido y por que, en particular, la fecundidad de las comunicaciones entre interrogaciones filosóficas y científicas deje de verse frustrada por separaciones o destruida por enfrentamientos. La ciencia no nos da acceso a los misterios del universo, el papel de la filosofía consiste en ayudarnos a llenar las lagunas básicas de nuestros conocimientos*¹⁸.

Es bueno que la racionalidad científica sea "materialista" en cuanto a su objeto y "reduccionista" en cuanto a su método, pero no es bueno, sino claramente malo, que la racionalidad científica y el conocimiento que de ella se deriva sea considerado como norma única y suprema; así conducida, la ciencia se transforma en "cienticismo", lo que corrompe la esencia misma de la ciencia. En sí misma, la ciencia es completamente neutra respecto a la religión: la práctica de la ciencia puede alejar al hombre de Dios, o acercarlo a Él. "Un poco de ciencia aleja de Dios, decía Luis Pasteur, pero mucha devuelve a Él"¹⁹.

El declive del dogmatismo positivista, la petición de una nueva alianza entre ciencia y filosofía, el reconocimiento del carácter enigmático de la realidad, hacen que hoy exista una apelación cada vez mayor al valor de la metafísica. Hay, en efecto, una dimensión de lo real que es lo profundo, lo trascendente, algo incógnito en donde la ciencia no puede penetrar porque no dispone de los medios necesarios. Se trata de las grandes preguntas de siempre sobre el "de dónde", "por qué" y "para qué", los interrogantes en torno a "lo último". Ortega se refería al conocimiento científico como exacto, pero incompleto y "penúltimo".

El dogmatismo, sea el que sea su origen, es siempre malo en el terreno científico. Se ha hecho justamente famoso el caso Galileo, pero la filosofía positivista logró entablar, en el corto tiempo que duró

¹⁸ I. Prigogine e I. Stengers, op. cit.

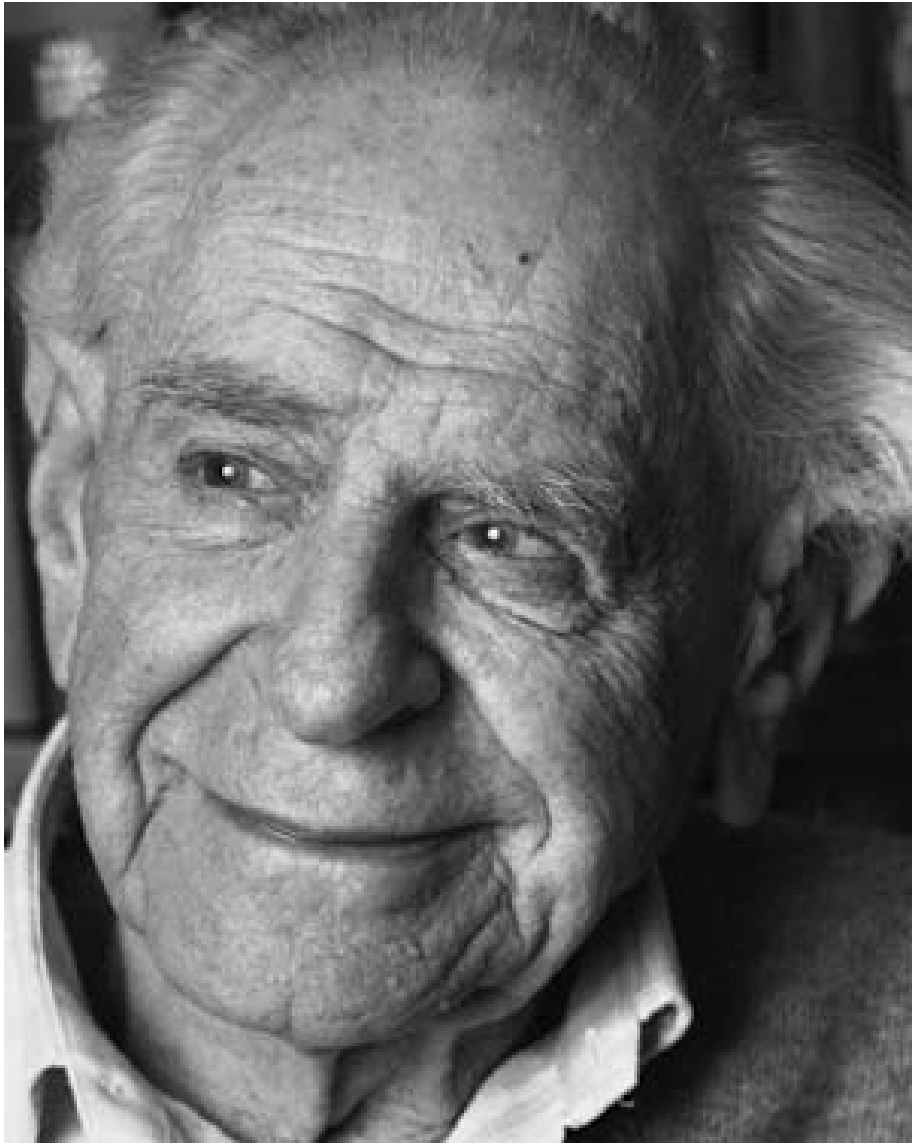
¹⁹ R. Vallery Radot, *La Vida de Pasteur* (Barcelona 1942).

su preponderancia, un desproporcionado número de conflictos con la ciencia. Tal ocurrió con el problema de la "generación espontánea". Los positivistas, con Littré y Berthelot a la cabeza, la defendían por razones ideológicas, negando el origen microbiano de las putrefacciones. La intelectualidad positivista oficial francesa negó de manera recalcitrante la existencia de los microbios patógenos, y retrasó cuanto pudo la introducción en los hospitales de las medidas de asepsia propugnadas por Luis Pasteur. Comte escribió un famoso opúsculo en contra del uso del microscopio, al considerarlo incompatible con el positivismo.

En el campo de la química, tenemos otro ejemplo de "casus belli", ocasionado por los positivistas decimonónicos: la polémica entre *atomistas* y *equivalentistas*, que tuvo una desgraciada influencia para el desarrollo de la química francesa en esa época. La existencia del átomo fue negada como filosóficamente incorrecta. Frente al atomismo de Adolphe Wurtz, los equivalentistas Sainte-Claire, Deville y, sobre todo, Berthelot, lograron, desde sus posiciones oficialistas, imponer hasta casi finales del siglo sus concepciones.

La ciencia se basa en hipótesis debidamente contrastadas. Nuevas hipótesis, de validez más universal, desplazan a las antiguas, y mediante este proceso avanza la ciencia de modo constante. Ningún científico actual podría suscribir las teorías de Galileo o las de Newton. Está claro que tanto la Iglesia, en sus declaraciones no dogmáticas, como la ciencia, han estado sometidas al error a lo largo de la historia. Consideremos el siguiente ejemplo. Desde los tiempos de Newton y Huyghens han coexistido dos teorías sobre la naturaleza física de la luz. Newton sostenía que los haces de luz están formados por una corriente de partículas diminutas, o corpúsculos, y que la sensación de luz se percibe cuando estos corpúsculos llegan a la retina. Huyghens, por el contrario, mantenía que la luz se compone de diminutas ondas vibratorias y etéreas, y que estas ondas se desplazan a lo largo de un haz de luz. Las dos teorías parecen contradictorias. En el siglo

XVIII se seguía la teoría de Newton y en el XIX, la de Huyghens. En la actualidad se han descubierto fenómenos que sólo se pueden explicar por medio de la teoría ondulatoria, y otros que únicamente se aclaran con la teoría corpuscular. Este es un hecho que los científicos aceptan en espera de que, en el futuro, se llegue a una teoría más amplia que reconcilie ambas concepciones. Esta actitud de modestia es nueva. Por ejemplo, hasta finales del XIX la mecánica newtoniana era generalmente considerada como "definitiva" por los físicos.



Karl Popper.

8. Propuestas de metodologías científicas en el siglo XX

8.1. El control de las teorías

Mediante la ciencia buscamos la verdad, pero ésta no se predica de los hechos, sino de las teorías. Y una teoría, en el sentir de Tarski y el propio Popper, es verdadera cuando se corresponde con los hechos. Tenemos así una definición de verdad, pero no un criterio de verdad que nos permita saber si una teoría, entre muchas, es verdadera, porque las consecuencias de una teoría son infinitas y no podemos controlarlas todas. En tales circunstancias, la verdad es un regulador ideal, según Popper. Nos acercamos a la verdad de una teoría eliminando los errores de las que la precedieron y substituyéndola por otra más verosímil. Así pasamos de la teoría de Copérnico a la de Galileo, luego a la de Kepler y Newton y, por fin, a la de Einstein. Esto no quiere decir que la ciencia lleve implícita una ley de progreso. La ciencia puede estancarse; su avance ha conocido obstáculos y seguirá conociéndolos. Pero tenemos, según Popper, un criterio de progreso en la ciencia: una teoría puede acercarse a la verdad más que otra. Esta idea de mayor aproximación a la verdad ha sido desarrollada por Popper mediante una selección de seis tipos de casos que permiten afirmar que una teoría sería sustituida por otra cuando, en el estado actual de nuestros conocimientos, esta última corresponda a los hechos mejor que la primera, en uno u otro sentido.

El criterio de control de las teorías ideado por **Karl Popper** es la *falsación*. Para resolver los problemas hay que inventar hipótesis que

sirvan como intentos de solución. Estas hipótesis han de ser comprobadas. Esto se realiza extrayendo consecuencias de cada hipótesis y viendo si se cumplen. Si se cumplen diremos, de momento, que es confirmada; si por lo menos una de las consecuencias no se cumple, diremos que la hipótesis se ve *falsada*. Se aprecia así que una teoría, para que sea comprobada de hecho, tiene que ser comprobable o controlable en principio, o sea, que tiene que ser falsable. En otras palabras, ha de poder extraerse de ella consecuencias que puedan refutarse, que puedan falsarse por los hechos. Popper escribe:

*Puesto que toda teoría, aunque esté confirmada, siempre puede desmentirse, hay que tratar de falsarla, porque cuanto antes se encuentre un error, antes se le podrá eliminar con la invención y la prueba de una teoría mejor que la anterior*²⁰.

De este modo la metodología de Popper reconoce la fuerza del error y, como decía Oscar Wilde, "experiencia es el nombre que cada uno de nosotros da a sus propios errores". Aunque se proponga llegar a la verdad, al teórico también le interesa la falsedad, porque descubrir que una proposición es falsa equivale a descubrir que su negación es verdadera. Popper escribe en *Conocimiento objetivo*²¹:

Si el teórico fomenta este interés suyo, entonces el descubrir dónde falla una teoría, además de proporcionarle informaciones teóricamente interesantes, plantea un importante problema nuevo para toda teoría nueva explicativa. Toda nueva teoría no sólo habrá de servir allí donde servía su predecesora, sino que tendrá que funcionar correctamente allí donde su predecesora fracasaba; esto es, donde había sido refutada. Si la nueva teoría logra ambas cosas, tendrá más éxito y por lo tanto será mejor que la vieja.

La otra idea básica en la metodología de Popper es la de *verosimilitud*, que permite decidir entre teorías que compiten entre

²⁰ K. Popper, *Conocimiento objetivo*, (Madrid 1982).

²¹ Ibid.

sí. Intuitivamente todos afirmamos que la teoría copernicana es mejor que la ptolomaica, que la teoría de Kepler es preferible a la de Copérnico, y que la teoría de la relatividad de Einstein es progresiva en comparación con la de Newton. Si se nos pregunta por el porqué de estas preferencias podemos decir que es porque la preferida explica más cosas y mejor que la rechazada. Cabe preguntarse entonces qué entendemos por explicar más y mejor. Popper contesta a este interrogante con su doctrina de la *verosimilitud*, según la cual una teoría es más verosímil que otra si todas las consecuencias verdaderas de la primera lo son de la segunda, si todas las consecuencias falsas de la primera no existen en la segunda, y si, además, se pueden extraer de la segunda consecuencias que no se pueden extraer de la primera. El científico profesional debe, según este criterio, conjeturar caso por caso cuál es la teoría más verosímil entre las que entran en competencia, cuál es la más conforme con la verdad, cuál es la más rica en contenido informativo, cuál en suma es preferible.

Este criterio de Popper ha sido muy discutido. Pensadores como David Miller, Pavel Tichy y John Harris han puesto de manifiesto que la definición de verosimilitud dada por Popper no es válida. Prueban, entre otras cosas, estos autores que dada la definición de verosimilitud, entre dos teorías falsas no puede haber una que sea más verosímil que la otra, porque cuando aumenta la verdad en una teoría falsa aumenta simultáneamente su falsedad, y si disminuye su falsedad, también disminuirá su verdad. Con lo cual, la teoría de Einstein debería valer lo mismo que la de Newton, y ésta lo mismo que la de Copérnico, cosa que nadie está dispuesto a admitir.

8.2. Paradigmas y ciencia normal

En 1963 **Thomas S. Kühn** publicó su libro *La estructura de las revoluciones científicas*²², en el que afirma que la comunidad científica se construye a través de teorías que él llama *paradigmas*. Fija el sentido de este último término con estas palabras:

²² T. S. Kühn, *La estructura de las revoluciones científicas* (Madrid 1977).

Con este término quiero indicar conquistas científicas universalmente aceptadas, que durante un tiempo determinado brindan un modelo de problemas y soluciones aceptables a aquéllos que trabajan en un campo de investigaciones.

En realidad, Kuhn utiliza el término “paradigma” en más de un sentido, pero sostiene que la función del paradigma era asumida por los clásicos de la ciencia. Así, se habla de la astronomía ptolemaica o de la copernicana, de la física aristotélica o newtoniana, de la teoría de la evolución de Darwin o de la teoría de la relatividad de Einstein, considerándolas como paradigmas.

Una teoría paradigmática instituye una determinada comunidad científica que, en virtud de sus supuestos lleva acabo lo que Kuhn denomina una *ciencia normal*. La ciencia normal representa un laborioso intento de hacer que la naturaleza se adapte a los conceptos que suministra la educación de los profesionales. La ciencia normal, en el sentir de Kuhn, es “una investigación fundamentada, de modo estable, sobre uno o más resultados alcanzados por la ciencia del pasado, a los cuales, durante un determinado período de tiempo, una comunidad científica en particular reconoce la capacidad de constituir el fundamento de su praxis ulterior”²³. Hacer ciencia normal significa resolver problemas definidos por el paradigma. El fracaso en la solución no se considera como un fracaso del paradigma, sino del investigador, lo mismo que la pérdida de una partida de un juego depende de que el jugador juegue bien y no de que dejen de funcionar las reglas del juego.

Kuhn describe el paso de un paradigma a otro como una reorientación científica. Al abrazar un nuevo paradigma (el paso por ejemplo de la astronomía ptolemaica a la copernicana), la comunidad científica utiliza la misma cantidad de datos, pero de modo distinto. Además, el paso de uno a otro paradigma es lo que, según Kuhn, constituye una revolución científica. Para este autor, uno de los problemas que se plantean es éste: ¿Cómo se verifica este paso? ¿Existen motivaciones

²³ Ibid.

racionales o no? Por supuesto que Kühn afirma que "el traspaso de la confianza en un paradigma a otro es una experiencia de conversión que no puede ser impuesta por la fuerza"²⁴.

Otra cuestión que interesa al cambio de paradigma es si implica progreso o no. El problema es complejo y lo único que adelanta Kühn sobre él es que " nicamente durante los períodos de ciencia normal parece evidente y seguro que existe ese progreso"²⁵. Lo mismo que en la evolución general de la naturaleza, la evolución de la ciencia es un proceso que se desarrolla de modo constante a partir de estadios anteriores, pero sin tender hacia algún objetivo determinado.

8.3. Los programas de investigación

Las ideas de Kühn sobre el desarrollo de la ciencia han sido objeto de numerosas críticas. Según Popper el *científico normal* ha sido educado en un espíritu dogmático, es víctima de adoctrinamiento. Además, sigue opinando, la tesis de imposibilidad de comparación entre paradigmas es un mito que en nuestro tiempo constituye el baluarte del irracionalismo. John Watkins, del que hablaremos luego, reprocha a Kühn que conciba la comunidad de científicos como una secta religiosa y no como una vivaz, aunque ordenada, república de hombres de ciencia. Imre Lakatos se declara también en contra de que un paradigma domine de manera casi teológica la comunidad científica, y en contra de la idea de que la ciencia avance mediante sucesivas revoluciones o *catástrofes*.

Por el contrario, lo que afirma **Imre Lakatos** es que la ciencia ha sido, es y tiene que ser una competencia entre *programas de investigación*. Describe el avance de la ciencia del modo siguiente²⁶.

"Lo que hay que evaluar, como científico o pseudocientífico, no es una única teoría sino una sucesión de teorías". Una serie de teorías es progresiva teóricamente "si cada nueva teoría posee un contenido empírico mayor que las que le preceden, es decir si predice

²⁴ Ibid.

²⁵ Ibid.

²⁶ I. Lakatos, *La metodología de los programas de investigación científica*, (Madrid 1983).

algún hecho nuevo, inesperado hasta aquel momento". Además, hay que decir que "una serie de teorías que sea progresiva teóricamente también es progresiva empíricamente si parte de ese contenido empírico excedente se halla también corroborado en cierta medida, es decir, si cada teoría nueva conduce al descubrimiento real de algún hecho nuevo". Ahora bien, esta serie de teorías "se desarrolla desde un auténtico programa de investigación bosquejado al principio. Este programa consiste en reglas metodológicas: algunas indican qué caminos hay que evitar (heurística negativa), y otras, qué caminos se han de seguir (heurística positiva)".

La ciencia es, según Lakatos²⁷, "un campo de batalla para programas de investigación más bien que para teorías aisladas [...] La *ciencia madura* consiste en programas de investigación en los que no sólo se anticipan hechos nuevos, en un sentido importante, sino también nuevas teorías auxiliares; la ciencia madura –a diferencia del burdo esquema de "ensayo y error"– tiene poder heurístico". En este aspecto, Lakatos comprueba la debilidad de la doctrina marxista y las teorías freudianas, que "inevitablemente modelan sus teorías auxiliares reales, siguiendo las huellas de algunos hechos, sin que al mismo tiempo anticipen otros (¿qué nuevo hecho ha predicho el marxismo, a partir de 1917, por ejemplo?)"²⁸.

8.4. Contra el método

En 1974 escribía **Paul K. Feyerabend** un libro titulado *Contra el método*²⁹. El punto de partida es una visión sobre el pasado:

La noción de un método que contenga principios firmes, inmutables y absolutamente vinculantes, en calidad de guía de la actividad científica, choca con dificultades notables cuando se enfrenta con los resultados de la investigación histórica. En efecto nos encontramos con que no existe una sola norma –por plausible que sea y por sólidamente arraigada que se encuentre en la epistemología– que

²⁷ Ibid.

²⁸ Ibid.

²⁹ P. K. Feyerabend, *Contra el método*, (Barcelona 1981).

no haya sido violada en alguna circunstancia. Se hace evidente también que tales violaciones no son acontecimientos accidentales, y tampoco son el resultado de un saber insuficiente o falta de atención que hayan podido evitarse. En efecto, uno de los rasgos que más llaman la atención en las recientes discusiones sobre historia y filosofía de la ciencia es el que exista conciencia de que acontecimientos y avances como la creación del atomismo en la antigüedad, la revolución copernicana, la aparición de la teoría atómica moderna, teoría cibernética, teoría de la dispersión, esteroquímica, teoría de los cuantos, o el gradual surgimiento de la teoría ondulatoria de la luz, sólo se llevaron a cabo porque algunos pensadores decidieron no dejarse atar por determinadas normas metodológicas, o porque voluntariamente las violaron.

Tal libertad de acción no es , según Feyerabend, un mero hecho en la historia de la ciencia.

Es algo razonable y absolutamente necesario para el crecimiento del saber. Más específicamente, se puede demostrar lo siguiente: dada una norma cualquiera, por fundamental o necesaria que resulte para la ciencia, siempre existen circunstancias en las cuales es oportuno no sólo ignorar la norma sino también adoptar su contrario. Por ejemplo, hay circunstancias en las cuales es aconsejable introducir, elaborar y defender hipótesis ad hoc, hipótesis que contradigan resultados experimentales bien establecidos y universalmente aceptados, o hipótesis cuyo contenido sea menor con respecto al de las hipótesis alternativas existentes y empíricamente adecuadas, o incluso hipótesis autocontradictorias, etc. Así mismo hay circunstancias, que se producen con bastante frecuencia, en las cuales el razonamiento pierde su aspecto de orientación hacia el futuro, convirtiéndose en un bloqueo al progreso³⁰.

³⁰ Ibid

Feyerabend, para avalar la tesis de que las violaciones de las normas del método no sólo son un dato de hecho, “sino que resultan necesarias para el progreso científico” se apoya en el caso histórico del copernicanismo que se desarrolla a partir de Galileo hasta el siglo XX. Tras explicarlo con profusión de detalles concluye que

se hace evidente que la noción de un método fijo o de un teoría fija de la racionalidad, se apoya en una visión demasiado ingenua del hombre y de su ambiente social. Para aquéllos que no quieren ignorar el rico material que proporciona la historia, y que no pretenden empobrecerlo para complacer sus instintos más bajos y su ansia de seguridad intelectual en forma de claridad de precisión, de objetividad, de verdad, estará muy claro que hay un solo principio que puede defenderse en todas las circunstancias y en todas las fases del desarrollo humano. Se trata del principio siguiente: cualquier cosa puede servir³¹.

Aparece claro que el libro de Feyerabend es una provocación contra los trabajos llevados a cabo por Lakatos y Popper, orientados a la construcción de un sistema ordenado de reglas que permitan guiar los procedimientos y decisiones del científico. Feyerabend dice, por ejemplo, que si queremos que la ciencia progrese es preciso a veces no cumplir o incluso ir contra la regla, según la cual no hay que introducir hipótesis *ad hoc*. Popper contesta que no debemos pronunciar un juicio excesivamente severo contra las hipótesis *ad hoc*; estas hipótesis, que son hoy *ad hoc*, pueden transformarse en controlables (y por lo tanto no *ad hoc*) mañana, como ocurrió con la hipótesis del neutrino de Pauli.

Feyerabend sostiene también que “hay circunstancias en las que resulta aconsejable introducir, elaborar y defender [...] hipótesis que contradigan resultados experimentales perfectamente establecidos y universalmente aceptados”. Esto va contra la regla popperiana según la cual una teoría tendría que considerarse refutada si existen datos experimentales perfectamente establecidos que la contradigan. A

³¹ Ibid.

esto señala Popper que no se debe confundir la *refutación* de una teoría con su *rechazo*, esto es, con la necesidad que experimentan las personas de abandonar la teoría y, más en particular, de trabajar con ella. En efecto, la refutación es una cuestión lógica, mientras que el rechazo es una cuestión metodológica.

8. 5. La metodología de las tradiciones de investigación

En *El progreso científico*³², **Larry Laudan** expuso “las implicaciones –para la historia y la filosofía de la ciencia– que resultan de concebir la ciencia sobre todo como una actividad dedicada a la solución de problemas”. Los supuestos básicos del modelo de desarrollo de la ciencia propuestos por Laudan son sencillos: La unidad básica del progreso científico es el problema resuelto, empírico o conceptual; el propósito de la ciencia consiste en maximizar el alcance de los problemas empíricos resueltos, y minimizar el alcance de los problemas empíricos anómalos y de los conceptuales no resueltos. De aquí se deduce que “cada vez que modificamos una teoría o la sustituimos por otra, esta innovación constituye un progreso si, y sólo si, la teoría modificada o la nueva es más eficiente para resolver problemas [...] que la doctrina anterior”³³.

Según Laudan las teorías no viven de manera aislada, y hemos de considerar todo un espectro de teorías individuales. Así, la teoría de la evolución

*no se refiere a una única teoría, sino a toda una familia de doctrinas vinculadas histórica y conceptualmente entre sí, que funcionan en todos los casos partiendo del supuesto de que las especies orgánicas poseen una ascendencia común. De manera semejante, el término ‘teoría atómica’ se refiere por lo general a las teorías de un amplio conjunto, que se apoyan en el supuesto de que la materia es discontinua*³⁴.

³² L. Laudan, *Il progresso scientifico* (Roma 1979).

³³ Ibid.

³⁴ Ibid.

Por este camino, Laudan nos conduce hasta los paradigmas de Kühn y los programas científicos de Lakatos. Pero manifiesta su insatisfacción con respecto a los modelos de estos autores. No cree que la inflexibilidad de los paradigmas de Kühn cuadre con el hecho de que a lo largo del tiempo han ido creándose numerosas maxiteorías. Por otro lado, señala que la historia de la ciencia no nos ofrece casos en los que pueda aplicarse con precisión la definición de Lakatos de progreso (basada en la verosimilitud de Popper).

Laudan propone la teoría de las *tradiciones de investigación* con la idea de que se comprenda el progreso científico. Pone como ejemplos de tradiciones de investigación la teoría de los cuantos o la teoría electromagnética de la luz. En realidad, añade, "toda disciplina intelectual, científica y no científica, posee una historia rica en tradiciones de investigación: empirismo y nominalismo en filosofía, voluntarismo y necesitarismo en teología, conductismo y freudismo en psicología, utilitarismo e intuicionismo en ética, marxismo y capitalismo en economía, mecanicismo y vitalismo en fisiología"³⁵.

Laudan señala algunas de las características comunes de las tradiciones de investigación:

*1) Toda tradición de investigación posee una cierta cantidad de teorías específicas, que la ejemplifican y en parte la constituyen; algunas de estas teorías son contemporáneas entre sí, mientras que otras se suceden a lo largo del tiempo. 2) Cada tradición de investigación se muestra caracterizada por algunos esfuerzos metafísicos y metodológicos que, en su conjunto, individualizan dicha tradición y la distinguen de las demás. 3) Cada tradición de investigación (a diferencia de las teorías aisladas) pasa por un determinado número de formulaciones distintas y detalladas (y a menudo recíprocamente contradictorias); en general, tiene una larga historia, que se desarrolla a través de un extenso período de tiempo (a diferencia de las teorías, que con frecuencia tienen una vida reducida)*³⁶.

³⁵ Ibid.

³⁶ Ibid.

De este modo, Laudan está en condiciones de dar una definición de una tradición de investigación como "conjunto de supuestos generales que hacen referencia a las entidades y a los procesos presentes en determinado ámbito de estudios, y a los métodos más apropiados que hay que utilizar acerca de problemas o para construir teorías en dicho ámbito".

Según Laudan, una tradición de investigación tiene éxito cuando, a través de sus componentes, conduce a la solución adecuada de una cantidad cada vez mayor de problemas empíricos y conceptuales. Por eso es preferible aquella tradición que solucione más problemas y más importantes.

8.6. El retorno de la metafísica

En 1933 Popper escribió una carta al director de la revista *Erkenntnis* en la cual le decía, entre otras cosas:

Apenas oí hablar del nuevo criterio de verificabilidad, elaborado por el Círculo de Viena, le contrapuse mi criterio de falsación: un criterio de demarcación destinado a establecer una frontera entre sistemas de aserciones científicas y sistemas perfectamente significativos de aserciones metafísicas.

De hecho, comprendemos perfectamente la diferencia entre realismo y solipsismo, por ejemplo. Afirma Popper que los neopositivistas trataron de eliminar la metafísica lanzándole improperios, pero tácitamente la introdujeron en la ciencia a través de su *principio de verificación* (por cuanto las leyes de la naturaleza no satisfacen la verificación completa; es imposible, por ejemplo, verificar la ley de atracción de las masas para todos los pares de moléculas existentes en el universo). Considera también que el descubrimiento científico se hace imposible sin la fe en las ideas que tengan naturaleza puramente especulativa y que resulten a veces un tanto nebulosas; esta fe, que se halla desprovista de garantías científicas, es *metafísica*.

Ideas que antes flotaban en las más elevadas regiones metafísicas pueden ser alcanzadas cuando se incrementa la ciencia. Ejemplos

de este tipo de ideas son el atomismo, la teoría del movimiento de la tierra (Bacon se mofaba de esta teoría considerándola ficticia), la teoría corpuscular de la luz, la teoría de la electricidad como fluido, etc. Estos conceptos metafísicos han servido para ordenar la imagen que el hombre tiene del mundo, y hasta, a veces, efectuar predicciones con éxito. Pero para que una idea de este tipo adquiriera el *status* científico es preciso que sea falsable.

Lo expuesto en los anteriores párrafos está contenido en el libro *Logik der Forschung*³⁷, escrito por Karl Popper en 1934. En su *Postscript* de 1957 hace estas afirmaciones:

El atomismo es un excelente ejemplo de teoría metafísica no controlable cuyo influjo sobre la ciencia supera el ejercido por muchas teorías controlables [...]. El último y más grandioso ha sido hasta ahora el programa de Faraday, Maxwell, Einstein, De Broglie y Schrödinger, que se propone concebir el mundo [...] en términos de campos continuos [...]. Cada una de estas teorías metafísicas ha funcionado como un programa para la ciencia. Ha indicado la dirección en la que podían hallarse teorías de la ciencia adecuadamente explicativas y ha hecho posible una evaluación de la profundidad de una teoría. En biología, la teoría de la evolución, la teoría de la célula y la teoría de la infección bacteriana han desempeñado un papel similar, al menos durante cierto tiempo. En psicología, el sensismo, el atomismo (la teoría según la cual todas las experiencias están compuestas por elementos últimos, por ejemplo, los datos sensoriales) y el psicoanálisis habrían de recordarse como programas de investigación metafísica [...]. Incluso aserciones puramente existenciales se han mostrado en ocasiones como inspiradoras y fructíferas para la historia de la ciencia, aunque no hayan llegado a formar parte de ésta. Pocas teorías metafísicas sobre el

³⁷ K. Popper, *Logik der forschung*. Ed. española: *La lógica de la investigación científica* (Madrid 1967).

desarrollo de la ciencia han influido más que aquel dicho puramente metafísico que afirma: "Existe una substancia que puede convertir en oro los viles metales (la piedra filosofal)", aunque no sea falsable, nunca se haya verificado y nadie crea en él.

En líneas generales, los epistemólogos modernos defienden la metafísica. Desentendiéndose de los neopositivistas vieneses, los filósofos analíticos han puesto de manifiesto los usos o funciones de las teorías metafísicas. Entre estas funciones está el hecho de que lo que comienza como metafísica puede acabar siendo ciencia. El que algunas teorías metafísicas constituyan una aurora para la ciencia, ha sido defendido de modo especial por aquellos epistemólogos que, de un modo u otro, están ligados al racionalismo de Karl Popper. Tanto Kühn como Lakatos han insistido en que existen relaciones entre ciencia y metafísica. Entre los diversos tipos de paradigmas, Kühn tiene en cuenta los metafísicos. Lakatos, por su parte, elaboró su metodología en la idea de que la ciencia no avanza como si existiera un duelo entre dos contendientes únicos, teoría y hechos, sino a través de un desafío entre por lo menos dos programas de investigación y los hechos.

Joseph Agassi, en su libro *La naturaleza de los problemas científicos y sus raíces en la metafísica*, exalta la metafísica como física del futuro, contra los que consideran la metafísica como física del pasado. Saliéndose de la línea defendida por Popper, según la cual se investiga para hallar y *controlar* hipótesis muy susceptibles de control, señala que a menudo la investigación se dirige hacia el control de hipótesis poco controlables o casi del todo incontrolables, es decir, hipótesis relevantes metafísicamente. Para Agassi, las ideas metafísicas pertenecen a la investigación científica en cuanto ideas reguladoras de una importancia decisiva. Escribe:

Las teorías metafísicas son visiones acerca de la naturaleza de las cosas, al igual que la teoría de Faraday sobre el universo, como un campo de fuerzas) [...]. Las doctrinas

metafísicas no suelen ser criticables como lo son las teorías científicas; por la general, en metafísica no hay ninguna refutación y, por lo tanto, ningún experimento decisivo. Sin embargo, en un procedimiento de esta clase puede haber algo parecido a un experimento crucial. Dos visiones metafísicas diferentes brindan dos interpretaciones de un conjunto de hechos conocidos. Cada una de estas interpretaciones se desarrolla mediante una teoría científica, y una de ellas se ve derrotada en un experimento crucial. La metafísica que se halle detrás de la teoría científica derrotada pierde su poder interpretativo y es abandonada. De este modo, hay algunos problemas científicos que resultan relevantes para la metafísica; por lo común, se elige para estudiar la clase de problemas científicos que manifieste tal relevancia.

De hecho, los problemas ofrecen más o menos interés. Y, por lo general, el interés de un problema se halla precisamente determinado por su importancia metafísica.

W.W. Bartley ha insistido también en que no habría que considerar como un fallo el que una teoría fuese no refutable, en contra del parecer de Popper. De su libro *Teorías de la demarcación entre ciencia y metafísica* tomamos estas palabras:

Quisiera explicar esta idea e insistir en ella haciendo observar que hay diferentes contextos en los que resultan muy deseables las teorías no refutables desde el punto de vista empírico, incluso más deseables que las comprobaciones empíricas.

Esta concepción de Bartley fue defendida también por Agassi y acentuada de modo especial por Paul Feyerabend. "Para ser buenos empiristas –escribe Feyerabend en *Cómo ser un buen empirista*– es preciso producir diversas teorías metafísicas, para recuperar hechos que puedan contradecir una teoría imperante (hechos que, de otro modo, sería imposible hallar).

John Watkins profundiza en el tema de las relaciones entre metafísica y ciencia. Entresacamos los puntos que consideramos más importantes de la reflexión que hace: Podemos tener juicios a priori (independientes de la experiencia, en la medida en que son irrefutables por hechos empíricos) que no sean *necesariamente* verdaderos; los asertos metafísicos que expresan el determinismo, mecanicismo, etc., son ejemplos de tales juicios a priori y no necesarios desde el punto de vista lógico; históricamente existen metafísicas que prescriben programas de investigación científica; el pensamiento científico ha influido sobre todo en la metafísica durante los períodos de consolidación de la ciencia, mientras que “las ideas metafísicas han influido sobre todo en la especulación científica durante los períodos de cambios y de tensiones en la ciencia”; las ideas metafísicas a priori y no necesarias pueden ser interpretadas como mandatos metodológicos (el determinismo equivaldría a una prescripción como ésta: “Nunca hay que abandonar la búsqueda de leyes naturales”). En esencia, las doctrinas metafísicas “regulan la construcción de las teorías empíricas, no de modo positivo, implicando una teoría empírica específica, sino negativamente, prohibiendo determinados tipos de teoría empírica”.

