



UNIVERSIDAD COMPLUTENSE DE MADRID

**INSTITUTO UNIVERSITARIO DE CIENCIAS DE LAS
RELIGIONES**

**MÁSTER UNIVERSITARIO EN CIENCIAS DE LAS
RELIGIONES**

TRABAJO DE FINAL DE MÁSTER

**EL AZAR Y LA NECESIDAD EN LA INTERLOCUCIÓN
ENTRE CIENCIA Y RELIGIÓN**

AUTOR

AVELINO MARTÍNEZ HERRERO

PROFESOR TUTOR

DR. D. JUAN JOSÉ GARCÍA NORRO

CONVOCATORIA: SEPTIEMBRE 2017

CALIFICACIÓN: 10 (SOBRESALIENTE)

MADRID, SEPTIEMBRE 2017

Nombre del alumno: Avelino Martínez Herrero
Correo electrónico: avelimar@ucm.es

Nombre del Tutor: Juan José García Norro
Correo electrónico: jjgnorro@filos.ucm.es

Título del trabajo: *El azar y la necesidad en la interlocución entre ciencia y religión*
Title: *Chance and Necessity in the Dialogue between Science and Religion*

Key words: Chance, Necessity, Determinism, Natural Sciences, Neuroscience, Freedom, Free Will, Theodicy, Physical Evil

Palabras clave: azar, necesidad, determinismo, ciencias de la naturaleza, neurociencia, libertad, libre albedrío, teodicea, males físico-naturales

Índice de contenidos (abreviado)

PREFACIO

INTRODUCCIÓN

- 1 El objetivo marco
- 2 La *plasticidad sistémica* (Objetivo específico)
- 3 Estructura y método

CAPÍTULO 1: ESTRUCTURAS FÍSICO-COSMOLÓGICAS

- 1 Del azar atomista al mundo-máquina
- 2 El cuestionamiento del mundo-máquina
- 3 El azar cosmológico

CAPÍTULO 2: ESTRUCTURAS BIOLÓGICAS

- 1 Facticidad de la Evolución biológica
- 2 Mecanismos genéticos de *regularidad normativa*
- 3 Mecanismos genéticos de la *variación no reglada*
- 4 Síntesis

CAPÍTULO 3: ESTRUCTURAS NEURALES

- 1 El azar, la necesidad y la libertad
- 2 Elementos de histología neural
- 3 Las redes y la comunicación neurales
- 4 La *plasticidad cerebral*

CAPÍTULO 4: PLASTICIDAD SISTÉMICA Y TEODICEA. UN EJERCICIO DE NOMA

- 1 *Plasticidad sistémica* y libre albedrío
- 2 El sufrimiento y el mal del mundo
- 3 ¿El mejor de los mundos posibles?
- 4 El *argumento del libre albedrío* (*Free-will defense*)
- 5 *Free-will defense* y *plasticidad sistémica*

CAPÍTULO 5: CONCLUSIONES

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

OTRA BIBLIOGRAFÍA

ANEJOS INFORMATIVOS

GLOSARIO

APÉNDICE A: Relaciones entre ciencia, filosofía y religión

APÉNDICE B: Revisión crítica de conflictos entre ciencia y religión

APÉNDICE C: De la física atomista a la Mecánica física newtoniana

APÉNDICE D: La revolución en la física y en la cosmología del siglo XX

APÉNDICE E: El azar, la necesidad y la libertad en el siglo XVII

APÉNDICE F: Apuntes para la comprensión del encéfalo

APÉNDICE G: Antecedentes de Teodicea

APÉNDICE H: Apuntes críticos a *La evolución de la libertad*

ABSTRACT

The History of the dialogue between Natural Sciences and Theology of different Religions likely reached its highest tension and harshness in the discussion about the origins in the various fields of the world (physical and cosmological, biological and anthropological).

Far from that enmity, the aim of this work is to make a productive contribution to that dialogue in respect of one of the most difficult questions to be solved by those theologies that, while claiming the divine involvement in the world, come to terms with Science discoveries about the origins and evolution of things: Is it possible the compatibility between the existence of natural evil and the benevolent and providential divine Creator depicted by Theology?

The results of our research reveal the existence of natural mechanisms that, through merging regularity laws (necessarily met) with random originated events, have endowed the whole world (either physical-cosmological, biological or anthropological) with increasing degrees of freedom. The research has allowed to reach two main conclusions: the functional coordination between chance and necessity is a *sine qua non* prerequisite for the incremental emergence of innovation, selfconsciousness and self-determination capabilities, whose highest achievement is human free will. The other side of those universal innovation mechanisms is the eventual occurrence of breaks in the systems previous stabilities and, consequently, destructive events in the biosphere which are thought as natural evils as far as human being is damaged.

As a result of this research, the evolutionary theisms are furnished with the possibility of underpinning a theodicy of natural evils in an objective and consistent way on the basis of data delivered by those Scientific domains herein reviewed.

RESUMEN

La historia de la interlocución entre las ciencias de la naturaleza y las religiones (y sus teologías) ha alcanzado probablemente su tensión máxima en el debate acerca de los orígenes de la realidad en sus diversos ámbitos (físico-cosmológico, biológico y antropológico), en el que ambas partes se han enfrentado frecuentemente con gran acritud.

En contraste con esa mutua hostilidad, este ensayo pretende aportar un análisis y una propuesta constructivos para dicha interlocución en una de las más difíciles cuestiones planteadas a las teologías teístas que, afirmando diversos tipos de intervención divina en el mundo, asumen plenamente los hallazgos de la ciencia en relación con sus orígenes y evolución: ¿es posible compatibilizar la existencia de los males físicos o naturales con el carácter creador, benevolente y providente que se afirma de la divinidad?

La investigación realizada ha evidenciado la existencia de mecanismos naturales que, combinando leyes de regularidad (de cumplimiento necesario) con sucesos originados por azar o aleatoriedad, han dotado de grados de libertad crecientes al mundo en sus diversos ámbitos (físico-cosmológico, biológico y antropológico). Adicionalmente, ha permitido establecer dos conclusiones principales: la articulación funcional del *azar* y la *necesidad* es condición *sine qua non* para la emergencia progresiva de las capacidades de innovación, autoconciencia y autodeterminación, cuyo ápice es la libertad humana. Y, como reverso de esta universal capacidad de creatividad, se constata que la acción de esos mecanismos puede producir eventualmente escenarios en los que la ruptura de los equilibrios antecedentes adquiere carácter destructivo en la biosfera y son percibidos por el ser humano como males naturales en la medida en que se siente damnificado por ellos.

Como corolario, el ensayo ofrece a los teísmos evolucionistas la posibilidad de fundamentar de forma objetiva y consistente una teodicea de los males naturales partiendo de los datos aportados por las ciencias examinadas.

ÍNDICE GENERAL

PREFACIO	4
INTRODUCCIÓN	
1 El objetivo marco	14
2 La <i>plasticidad sistémica</i> (Objetivo específico)	14
3 Estructura y método	17
CAPÍTULO 1: ESTRUCTURAS FÍSICO-COSMOLÓGICAS	
1 Del azar atomista al mundo-máquina	19
2 El cuestionamiento del mundo-máquina	21
2.1 La teoría de la Relatividad	21
2.2 La Mecánica cuántica	22
2.3 Los sistemas macroscópicos caóticos	27
3 El azar cosmológico	29
CAPÍTULO 2: ESTRUCTURAS BIOLÓGICAS	
1 Facticidad de la Evolución biológica	33
2 Mecanismos genéticos de <i>regularidad normativa</i>	34
2.1 La replicación molecular	34
2.2 La construcción proteínica	35
3 Mecanismos genéticos de la <i>variancia no reglada</i>	37
3.1 Mutaciones génicas y cromosómicas	37
3.2 La variación por la reproducción aleatoria	39
4 Síntesis	41
CAPÍTULO 3: ESTRUCTURAS NEURALES	
1 El azar, la necesidad y la libertad	42
2 Elementos de histología neural	43
3 Las redes y la comunicación neurales	46
4 La <i>plasticidad cerebral</i>	47
CAPÍTULO 4: PLASTICIDAD SISTÉMICA Y TEODICEA.	
UN EJERCICIO DE NOMA	
1 <i>Plasticidad sistémica</i> y libre albedrío	52
2 El sufrimiento y el mal del mundo	55
3 ¿El mejor de los mundos posibles?	56
4 El <i>argumento del libre albedrío</i> (<i>Free-will defense</i>)	58
5 <i>Free-will defense</i> y <i>plasticidad sistémica</i>	60

CAPÍTULO 5: CONCLUSIONES	62
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	64
OTRA BIBLIOGRAFÍA	66

ANEJOS INFORMATIVOS

GLOSARIO	70
APÉNDICE A: Relaciones entre ciencia, filosofía y religión	
1 Síntesis histórica	74
2 El problema de la observación-experimentación	80
3 Delimitación entre ciencia y filosofía	81
4 Delimitación y relaciones entre ciencia y religión	82
5 Balance	85
APÉNDICE B: Revisión crítica de conflictos entre ciencia y religión	
1 Stephen Jay Gould y su replanteamiento del problema	88
2 Revisión de caso Galileo	89
3 Revisión del caso de la Tierra plana	90
4 Revisión de los casos Darwin Huxley	92
APÉNDICE C: De la física atomista a la Mecánica física newtoniana	
1 El azar atomista	95
2 El mundo – máquina	96
3 Las leyes de Newton para la Mecánica física	98
3.1 Antecedentes	98
3.2 Las leyes de la Dinámica	98
3.3 La ley de la gravitación universal	99
APÉNDICE D: La revolución en la física y en la cosmología del siglo XX	
1 El espacio-tiempo en la teoría de la Relatividad	101
2 La Mecánica cuántica	103
2.1 Hallazgos originarios	103
2.2 Una realidad física dual	104
2.3 El problema de la medida	106
2.4 Otras paradojas	107
3 La estructura básica del universo	108
3.1 Cosmología antigua	108
3.2 Cosmología del siglo XX	109
3.3 Elementos de la estructura material del universo	111
3.4 El origen de la materia	113

APÉNDICE E: El azar, la necesidad y la libertad en el siglo XVII

1 Hobbes, Bramhall y Leibniz	116
2 Spinoza, King y Leibniz	116
3 La <i>Necesidad</i> en el planteamiento de Leibniz	118
4 La definición <i>leibniziana</i> de libertad	119

APÉNDICE F: Apuntes para la comprensión del encéfalo

1 Las dicotomías mente-cerebro y alma-cuerpo	120
2 La unidad anatómica neural	123
3 Sinaptogénesis	124
4 La estructura del córtex	125
5 Mecanismos de comunicación nerviosos	127
6 La interacción con el entorno	129
7 Evidencias de la <i>epigénesis</i> selectiva de sinapsis	130
8 Redundancia y regresión	131
9 Teoría de Jean-Pierre Changeux	132
Figuras	132

APÉNDICE G: Antecedentes de Teodicea

1 De Epicuro a Spinoza	140
2 Leibniz y sus referentes	141
2.1 Hobbes, Bramhall y King	141
2.2 Leibniz	143

APÉNDICE H: Revisión de *La evolución de la libertad* (Dennett, 2004)

1 Sobre la libertad natural	148
2 Una herramienta para pensar el determinismo	151
3 Pensar el determinismo	160
4 Una audiencia al libertarismo	162
5 ¿De dónde viene el diseño?	162

PREFACIO

En el análisis más inmediato, el trabajo que aquí se presenta tiene su causa desencadenante en la tensión experimentada por el autor entre el título del máster en cuyo marco se inscribe *-Máster universitario en ciencias de las religiones-* y la composición de disciplinas científicas que concretan su *curriculum* académico. Tensión causada por la constatación de que, por una parte, las religiones son sometidas a estudio solamente a partir de los enfoques correspondientes a un sector de las ciencias, a saber, el de las usualmente denominadas *ciencias humanas y sociales*, entretanto que algunos aspectos fundamentales de las religiones han sido objeto -a lo largo de los últimos tres siglos- de análisis muy rigurosos y controversiales desde las denominadas *ciencias de la naturaleza* (especialmente desde la Astronomía-Astrofísica, la Geología y la Biología), así como, más recientemente, desde la nueva disciplina conocida como Neurociencia¹. Análisis y controversias que no encuentran alojamiento específico en ninguna de las disciplinas del Máster, y que solo parcialmente son citadas de forma absolutamente marginal en alguna de sus asignaturas.

Una primera y obligada matización a lo anterior es que la composición curricular del Máster tiene una plena justificación histórica si se toma en consideración su creación en el seno del *Instituto Universitario de Ciencias de las Religiones* (en lo sucesivo, IUCCRR)², cuyos principales colaboradores son profesores de la Universidad Complutense pertenecientes a las Facultades de Ciencias Políticas y Sociología, Derecho, Filología, Filosofía, Geografía e Historia y Psicología³. Esta simple enumeración evidencia *per se* la orientación hacia las Humanidades⁴ y, por otra

¹ La Neurociencia nació formalmente en 1971 durante la primera reunión de la Society of Neuroscience de los Estados Unidos de Norteamérica. Surgió en virtud del gran perfeccionamiento de los métodos de formación de imágenes que abrió una nueva vía de investigación al permitir poner en relación los estados mentales con los estados físicos del cerebro.

² El *Máster en Ciencias de las Religiones* de la Universidad Complutense de Madrid fue aprobado por la Agencia Nacional de Evaluación de la Calidad y Acreditación (ANECA) el 30 de septiembre de 2010.

³ Adicionalmente, algunos investigadores del Consejo Superior de Investigaciones Científicas (de los Institutos de Filología, Filosofía y Estudios Históricos), así como profesores de otras universidades estatales y privadas colaboran como docentes del Máster en CC. RR. desarrollado por el IUCCRR, así como en actividades de investigación.

⁴ A este respecto es elocuente la relación de las líneas de investigación fundamentales a las que se orienta el IUCCRR, las cuales se sintetizan en los cuatro epígrafes siguientes: 1) Historia de las religiones (con la metodología propia de la Historia y de las ciencias auxiliares de ésta, así como los aspectos que se refieren al arte y la iconografía); 2) filosofía y religión (incluyendo las aproximaciones éticas y fenomenológicas); 3) sociedad, ideología y religión (que incluye el campo del Derecho, los aspectos sociológicos y antropológicos de las religiones, así como las relaciones entre la cultura y las religiones en el mundo actual y a lo largo de la historia; 4) las religiones en sus textos (incluye los estudios más puramente filológicos, el análisis de los contenidos de los textos de carácter religioso y la exégesis de los mismos).

parte, la total ausencia de las Facultades dedicadas a las *ciencias de la naturaleza* y, por tanto, la obvia carencia en el currículo del Máster de los análisis procedentes de las disciplinas correspondientes.

El apunte histórico anterior, lejos de tener una intención crítica, pretende ser la constatación de un logro sobresaliente en la esfera universitaria española: el acuerdo y cooperación entre Facultades muy diversas para la creación del IUCCRR⁵, único instituto de investigación existente en la universidad estatal dedicado al estudio de las religiones. Esta institución venía a corregir, en parte al menos, una carencia del mundo académico español que representaba una fuerte anomalía en comparación con el marco universitario europeo en el que, ya en décadas muy anteriores, se habían creado programas de *Religious Studies*; en palabras del profesor Díez de Velasco:

Es notable que esa carencia de la universidad pública española no era fruto de una mera indiferencia hacia la *Historia de las Religiones*, sino el resultado de las posiciones contrarias a la incorporación de esa materia en el currículo universitario representadas por dos grupos de presión contrapuestos entre sí: por una parte, la institución católico-romana (que entendía innecesario el estudio de la pluralidad de religiones, ya que sólo la que ella encarnaba era la “verdadera”); por otro lado, los grupos de intelectuales anticlericales, caracterizados por una abierta fobia antirreligiosa y por una extrema susceptibilidad ante los riesgos de utilización de la universidad como vía de introducción de la apologética y del adoctrinamiento religioso, especialmente del cristianismo católico⁶.

Según expone el profesor Díez de Velasco, fue la prematura desaparición en 1957 del profesor Álvarez de Miranda la que propició la extinción de la cátedra de *Historia de las religiones*, creada tres años antes en la Universidad de Madrid. El fallecimiento de su titular dio lugar a que los citados grupos de presión consiguieran frustrar definitivamente el plan de incorporación del estudio científico (no teológico) de las religiones a la universidad pública española, que había tenido una ventana de oportunidad durante la titularidad de D. Joaquín Ruíz Giménez en el Ministerio de Educación Nacional, con cuya destitución en 1956 quedó clausurado un breve periodo de apertura cultural en el entonces vigente nacional-catolicismo.

Es este trasfondo histórico el que permite valorar con ecuanimidad el hecho que entendemos como un gran logro académico: la creación del IUCCRR en la Universidad Complutense de Madrid. Y son esos precedentes los que permiten comprender plenamente la orientación de las líneas de trabajo adoptadas por el Instituto y su traslación al presente Máster,

⁵ El IUCCRR fue creado en 1993 y aprobado según la LRU en 1998.

⁶ Remitimos aquí a la magnífica exposición que el profesor Francisco Díez de Velasco realiza sobre esta problemática en su artículo *La enseñanza de las religiones (en plural) en la escuela en España. Historia, problemas y perspectivas* (véase en la bibliografía: SMSR 75/2-2009, pp. 426-533).

diseñado e impartido a su amparo. En efecto, el IUCRR venía a recoger el testigo -largamente preterido- de la cátedra del profesor Álvarez de Miranda, cuya orientación sintonizaba estrechamente con la Escuela de Roma –nacida con Raffaele Pettazzoni-, con la aproximación de ésta al estudio histórico de las religiones mediante el método comparativo y, lo que es más relevante aún, con una premisa fundamental según la cual cada religión debe ser estudiada considerando su incardinación con los distintos aspectos del marco socio-cultural correspondiente. Consecuentemente con este planteamiento, el IUCRR se pertrechó de las disciplinas necesarias para su proyecto investigador: las *ciencias humanas y sociales*.

Sin perjuicio del elogio del que creo plenamente merecedoras a las instituciones que hicieron posible la existencia del IUCRR, fue la relativa pluralidad disciplinar de mi propia formación académica la que hizo aflorar la sensación de una ausencia -percibida como relevante- en el marco curricular del Máster: la correspondiente a las voces procedentes de las *ciencias de la naturaleza*.

Al compartir esta inquietud con diversos profesores del Máster, la común y favorable opinión de todos ellos fue que una aproximación al estudio de algunas doctrinas religiosas desde la perspectiva de las ciencias complementarias mencionadas podía significar una valiosa apertura e incursión en un nuevo campo de investigación para los trabajos vinculados con el Máster Universitario en Ciencias de las Religiones. Fue esta acogida favorable la que me ha alentado a ensayar un ejercicio de introducción al estudio de las religiones desde ese nuevo ámbito de interlocución, que amplía y enriquece el carácter inter y trans-disciplinar propio del estudio científico de las religiones.

La tarea planteaba un grave dilema inicial porque un Trabajo de Fin de Máster que, como el presente, pretende abrir una nueva vía de aproximación al estudio de las religiones en el marco del IUCRR, se enfrenta a diversos riesgos y exigencias que adquieren una función determinante en su concepción y elaboración.

En primer lugar, el hecho mismo de adoptar una perspectiva nueva y complementaria a la proporcionada por las *ciencias humanas y sociales* imponía una primera exigencia cuasi ineludible: el trabajo debería ser, en sí mismo, una introducción general a esas nuevas disciplinas académicas desde las que se pretende investigar las religiones, focalizada obvia y exclusivamente en las temáticas que relacionan a unas y otras mutuamente.

A lo anterior se añadía otra exigencia derivada de un segundo hecho: la historia multiseular de esas interrelaciones registra épocas muy diversas tanto en lo relativo a la agenda de los temas debatidos entre las *ciencias de la naturaleza* y las religiones, como en cuanto a la sintonía o desacuerdo de las respectivas posiciones –defendidas, en algunas ocasiones, con cierta

hostilidad- en relación con esos temas. Por esta razón, la función introductoria del trabajo exigía también la incorporación no sólo de la panorámica de las teorías científicas y de las doctrinas religiosas que concitan las controversias más actuales y candentes, sino un suficiente marco histórico que permitiese comprender el origen, el desarrollo y el estado actual de esas relaciones y de los resultados de sus debates.

El riesgo derivado de estas dos premisas consistía en que, dados el estricto límite de extensión al que debe sujetarse un trabajo como este y la pluralidad de ciencias a considerar, la exposición introductoria podría resultar “epidérmica” excepto en el supuesto de que se optase por dedicar a ello la totalidad del ensayo. Ese riesgo nos situaba ante un dilema de difícil solución: por una parte, nuestra vocación era extralimitar el ámbito de los antecedentes históricos para dirigir la mirada investigadora, más allá de ellos, hacia alguno de los debates candentes, de forma que la concentración de la energía disponible, a modo de luz láser, permitiera penetrar su problemática en profundidad. Pero este planteamiento solo permitiría la inclusión de una exposición histórica simplemente abocetada, opción esta que nos parecía prácticamente carente de interés académico para un lector no estrictamente lego en las materias desarrolladas. Teniendo en cuenta ambas consideraciones, creímos que la única forma de dar solución satisfactoria al dilema, sin renunciar a nuestra vocación, sería la incorporación de algunos apéndices⁷ que, no formando parte del cuerpo del trabajo propiamente dicho, permitieran remitir a ellos al lector interesado en una información más extensa en relación con los aspectos históricos de la interrelación entre ciencia y religión, evitándole el recurso a textos especializados como los relacionados en nuestra bibliografía.

Adoptada, pues, esta solución estructuradora del trabajo, se enfrentó la selección de objetivos, para lo cual era imperativo tomar en cuenta los antecedentes que han conducido al estatus presente de la interlocución entre ciencia y religión⁸.

Dado que el germen de la ciencia, en su actual concepción metodológica, no debe retrotraerse más atrás del siglo XVI europeo (cf. Reale; Antiseri, 2010a: 171-182), con anterioridad a éste no puede hablarse propiamente de debates entre ciencia y religión, sino de

⁷ La confección de dichos Apéndices se ha realizado mediante extractos de textos correspondientes a especialistas en las respectivas materias, cuya identificación queda expresa en las referencias bibliográficas de aquellos.

⁸ El lector puede encontrar en el Apéndice A de este trabajo una breve síntesis introductoria a las principales tipologías de relación entre la ciencia y la religión-teología a lo largo de la historia, así como a la evolución divergente de los métodos de elaboración del conocimiento por parte de la filosofía, la teología y la ciencia. El Apéndice B complementa al anterior con una visión no convencional defendida por el prestigioso biólogo evolucionista Stephen Jay Gould acerca de los “casos” Galileo, de la Tierra plana, de Darwin y Huxley.

discusiones en las que la filosofía y la teología⁹ desarrollaban sus elucubraciones a partir de las posiciones heredadas de los clásicos griegos en torno a la física y la metafísica. Durante la subsiguiente transición hacia el inicio de la ciencia moderna, fue la astronomía el ámbito que impulsó un vivo debate metodológico entre la investigación secular y la argumentación teológica cristiana¹⁰, particularmente polarizado entonces en torno al binomio geocentrismo-heliocentrismo¹¹.

Siendo cierto que la cuestión metodológica, con perfiles cambiantes, ha continuado siendo objeto de discusión hasta la actualidad, sin embargo, la disputa astronómica quedó resuelta prontamente en favor de la ciencia, razón por la que queda como mero ejemplo histórico -valioso en sí mismo por las lecciones derivadas de él-, cuyo relevo fue tomado desde mediado el siglo XIX por las problemáticas que se ha venido planteando la teología al tomar conciencia de las teorías y descubrimientos formulados por la biología evolucionista, por la nueva física, por la cosmología y, desde el último tercio del pasado siglo, por las neurociencias. Estas áreas del conocimiento son las que acaparan actualmente la mayor parte de las publicaciones que incursionan, directa o indirectamente, en la interlocución entre ciencia y religión; y lo hacen incluso en detrimento de la autonomía de las *ciencias humanas y sociales* porque estas mismas –y no solo la teología- han sentido la necesidad ineludible de adaptar sus métodos y teorías a los resultados de las investigaciones en biología y neurociencias especialmente.

En consecuencia, nos pareció evidente que cualquier objetivo concreto que se desease seleccionar con la intención de construir una visión de conjunto dentro del marco en el que se

⁹ La referencia a la teología cultivada en esa época, la medieval, obviamente apunta a la desarrollada por los pensadores judíos, cristianos y musulmanes, entre los que hubo notables influencias mutuas.

¹⁰ El nacimiento del método científico tuvo su cuna en la Europa post-medieval, donde había declinado, hasta su práctica extinción, la representación de las teologías judía y musulmana. Por esta razón, la interrelación de la naciente ciencia moderna con la religión se ha ceñido estrictamente al cristianismo, circunstancia que se ha prolongado inalterada hasta épocas muy recientes. En consecuencia, el concepto “teología” a lo largo de nuestro trabajo se refiere, salvo indicación contraria, a la teología cristiana, sin perjuicio de las referencias a sus líneas de pensamiento plural que sean pertinentes ocasionalmente.

¹¹ La concepción astronómica griega fue mayoritariamente geocéntrica y basada en órbitas circulares del Sol, de la Luna y de las estrellas (cf. Reale & Antiseri, 2008: 260-263). Así, en el s. IV a.C. se registraron ya diversas variantes de ese modelo: Eudoxo propuso un total de 26 esferas para explicar los movimientos observados; su discípulo Calipo incrementó el número a 33; Aristóteles lo incrementó hasta 55. Ideas contrarias a la fijeza de la Tierra ya se habían registrado anteriormente: Hicetas de Siracusa (s. V a.C.) defendía que la Tierra se movía; por otra parte, el pitagórico Filolao (s. V a.C.), Heráclides Póntico y Ecfanto el pitagórico (s. IV a.C.) opinaban que la Tierra rodaba o giraba mientras los astros permanecían inmóviles. Sobre la base de estas ideas, especialmente las de Heráclides, fue Aristarco de Samos (s. III a.C.) quien propuso el modelo heliocéntrico en el que no sólo la Tierra rota en torno al Sol, sino todo el resto de astros también. Este modelo fue rechazado por el gran matemático Apolonio de Perge (s. III a.C.) y, especialmente, por el astrónomo Hiparco de Nicea, que logró defender convincentemente el modelo geocéntrico, el cual fue reformulado por Ptolomeo (s. II d.C.) y perduró hasta que Nicolás Copérnico, ya en el s. XVI d.C., reivindicó la teoría heliocéntrica de Aristarco.

inscribía este trabajo habría de recorrer transversalmente esos campos científicos, además del religioso-teológico.

Al preguntarnos por un área temática que respondiese a este criterio de selección, se impuso un hecho evidente: son fundamentalmente **los orígenes** del mundo, de la vida y del ser humano los que han galvanizado, desde mediado el siglo XIX hasta la actualidad, el debate de la teología con las ciencias que se ocupan de ellos. *De facto*, prácticamente podrían compendiarse las diversas controversias en una sola **controversia-marco**: la existente entre una lectura *prima facie* de los primeros capítulos del primer libro de las escrituras sagradas judeo-cristianas, el Génesis, y las teorías que la Geología, la Cosmología y la Biología han desarrollado en el último siglo y medio en relación con el principio de todo lo existente.

En relación con esta controversia-marco, es necesario señalar primeramente la fragmentación que registra el panorama teológico actual, heredera de las corrientes divergentes originadas en el siglo XIX con ocasión del debate suscitado por la teoría de la evolución. En respuesta a esta, surgió nuevamente la cuestión relativa a la autoridad de la Biblia en torno a la cual se produjeron inicialmente dos tipos de reacción principales, sin perjuicio de una gran diversidad de matices (cf. Barbour, 2004: 113-124): a) la postura *tradicionalista*, propia del protestantismo conservador y de ciertos círculos del catolicismo, que rechazaba la evolución o la consideraba totalmente dirigida por Dios; b) la teología *modernista*, que entendió la Biblia como el testimonio humano de la búsqueda de Dios por parte de un pueblo y no como revelación divina, al tiempo que incorporaron la idea evolucionista al concepto mismo de la divinidad hasta el punto de convertir la inmanencia en el principal atributo de Dios, en detrimento de su trascendencia.

En contraste con este panorama, hacia finales del siglo XIX y comienzos del XX, la adopción de los métodos de análisis histórico-críticos y literarios del texto bíblico por parte de los teólogos europeos¹² dio a luz un *liberalismo teológico* que ocupó un lugar intermedio entre las dos posiciones precedentes, recriminando al *modernismo* el alejamiento radical de las concepciones clásicas de la divinidad y asumiendo, en contraste con los *tradicionalistas*, los resultados ya consolidados por la investigación científica contemporánea, en particular las

¹² Fue en el ámbito universitario protestante de Alemania donde se inició la aplicación al estudio de la Biblia de los métodos objetivos utilizados en la investigación histórica y literaria de los documentos antiguos. Esa aproximación al análisis bíblico se extendió también al ámbito de los seminarios, trascendiendo posteriormente al mundo anglosajón. Suele atribuirse el inicio del *liberalismo teológico* a Friedrich Schleiermacher (1768-1834) y su obra *Discursos sobre la religión*, en cuya estela siguieron figuras como Ferdinand Christian Baur (1782-1860) con el uso de los métodos histórico-críticos en la exégesis bíblica, Julius Wellhausen (1844-1918) con su teoría documental del Antiguo Testamento, Adolf Von Harnack (1851-1930) y Rudolf Karl Bultmann (1884-1976).

teorías relativas a los *orígenes*: el *Big Bang* cosmológico, la cronología geológica, la evolución biológica autónoma y el origen evolutivo del ser humano.

Finalmente, debe mencionarse la aparición, en las primeras décadas del siglo XX, de una teología *fundamentalista*¹³, de corte literalista radical en su exégesis bíblica, que ha adquirido una notable preponderancia a lo largo del pasado siglo en círculos protestantes de los Estados Unidos de Norteamérica -y su área de influencia- a través de los muy diversos planteamientos amparados bajo el término *creacionismo*¹⁴, cuyo denominador común consiste en rechazar absolutamente la verosimilitud de las conclusiones alcanzadas por la Geología, la Biología o la Cosmología en relación con los *orígenes* (Ayala, 2007: 21-23). Una derivación reciente del *creacionismo* es, en opinión del prestigioso biólogo evolucionista Francisco Ayala (cf. 2007: 28)¹⁵, el denominado *Diseño Inteligente* que, inserto en una línea de argumentación de precedentes muy antiguos¹⁶, ha sido desarrollado desde ámbitos formalmente científicos¹⁷, no obstante lo cual su pretendido status científico no ha recibido un general reconocimiento del mundo académico.

¹³ La denominación *fundamentalismo* deriva de una serie de opúsculos titulados *The Fundamentals: a Testimony to the Truth*, que comenzaron a publicarse en 1909 y que eran una reacción *indirecta* a las teorías evolutivas planteada desde la oposición abierta y directa a una teología *modernista* que había asumido plenamente las teorías evolutivas. Debe señalarse que este *fundamentalismo* se desarrolló muy posteriormente a las primeras respuestas *conservadoras* a Darwin, entre las que destacaron la de Charles Hodge, teólogo presbiteriano del Princeton Theological Seminary, en su obra *What is Darwinism?*, publicada en 1874 (cf. Ayala, 2007: 171-172).

¹⁴ Debe insistirse aquí en la ya citada fragmentación múltiple de la teología contemporánea -cuyo análisis detallado es irrelevante para este trabajo-, de la cual el citado aquí en singular como *creacionismo* es un notable ejemplo porque amalgama numerosas variedades: creacionismo de la tierra reciente (o joven), creacionismo de la tierra antigua, creacionismo de la tierra plana, etc, cada uno de los cuales se fragmenta con diversos matices (cf. Ayala, 2007: 166-167).

¹⁵ En nuestra opinión, el *Diseño Inteligente* (surgido en la década de 1990) no se enraíza tanto en el *Creacionismo* (aunque comparta con este implícitamente la existencia de un diseñador del universo asimilable al ser creador), cuanto en una multiseccular serie de pensadores, según cita la nota siguiente.

¹⁶ Ya en el siglo XIII, Tomás de Aquino argumentó que el sentido del universo solo podía ser explicado por la existencia de alguna entidad dotada de conocimiento e inteligencia, entidad a la que se denomina Dios, por el cual todas las cosas se dirigen a su fin. Posteriormente, en el siglo XVII, John Ray afirmó que el diseño funcional de la naturaleza muestra que es obra no solo creada por Dios en principio, sino conservada permanentemente (cf. Ayala, 2007: 143-144). En el siglo XVIII, también Voltaire adoptó el argumento del diseño de la naturaleza como demostración de la existencia de una Inteligencia Suprema creadora del universo, al igual que hay un relojero detrás de cada reloj. Antecedentes más recientes fueron: William Paley (prestigioso clérigo y orador inglés de profunda formación en biología, que publicó en 1802 una obra titulada *Natural Theology* –muy apreciada por Darwin en su época de estudiante- en la que Paley formuló la más robusta defensa posible en su tiempo de la existencia de Dios sobre la base de la gran complejidad y armonía de la naturaleza, las cuales exigían la autoría de una mente diseñadora); William Auckland (con su *Geology and Mineralogy*, 1836), y Hugh Miller en su obra *The Testimony of the Rocks*, 1858 (cf. Ayala, 2007: 32-41).

¹⁷ Desde la Biología, Michael Behe (1996, *Darwin's Black Box: The Biochemical Challenge to Evolution*. New York: The Free Press); desde la Matemática, William Dembski (1995, *The Design Inference. Eliminating Chance through Small Probabilities*. Cambridge: Cambridge University Press); desde el Derecho, Phillip Johnson (1993, *Darwin on Trial*. USA: IVP USA).

De la exposición panorámica anterior, puede colegirse que, en realidad, la citada *controversia-marco* entre ciencia y religión solamente lo es actualmente para los sistemas teológicos con base más conservadora, *i.e.*, *creacionismo* y *Diseño Inteligente*, los cuales consideramos totalmente carentes de interés académico por diversas razones. En cuanto al primero, interesa comenzar señalando que, después de varias décadas de litigios en los tribunales estadounidenses, en 1987 fue catalogado como doctrina religiosa por el Tribunal Supremo y, en consecuencia, quedó declarada ilícita su enseñanza en las escuelas públicas (Udías Vallina, 2012: 291-293), una vez desestimada su pretensión de cientificidad homologable con la reconocida a la teoría de la evolución. Por otra parte, el fundamento que el *creacionismo* utiliza en su rechazo de las evidencias objetivas aportadas por las diversas ciencias en relación con los *orígenes* carece totalmente de carácter científico, hecho que no es debido solamente a que sus afirmaciones se apoyen esencialmente en la autoridad otorgada al texto bíblico como fuente de conocimiento científico también, sino al tipo de exégesis bíblica literalista utilizado, el cual rechaza radicalmente los métodos propiamente científicos (los histórico-críticos) utilizados en la interpretación de los textos antiguos.

Respecto al *Diseño Inteligente*, juzgamos igualmente que carece de interés para un trabajo académico que verse sobre la interlocución entre ciencia y religión por una doble razón: por una parte, los argumentos esgrimidos por el bioquímico Michael Behe (figura muy relevante de ese movimiento) han sido refutados por figuras muy prestigiadas en el campo de la biología¹⁸, razón por la que el valor científico de sus fundamentos parece muy cuestionable. Por otra parte, aun si la casuística biológica que utiliza para ejemplificar la *complejidad irreducible*¹⁹ no pudiera aún explicarse mediante los mecanismos evolutivos ya conocidos, la inferencia que Behe realiza al afirmar que esa *complejidad* implica la existencia de un diseño orientado a la consecución de una funcionalidad preconcebida de forma inteligente supone una total extralimitación del ámbito de las ciencias estrictamente empíricas y una incursión en la esfera metafísica que no puede pretender un estatus comparable al de las teorías desarrolladas en dichas ciencias.

Una tercera razón que creemos hace carentes de interés al *creacionismo* y al *Diseño Inteligente* para un trabajo académico sobre la interlocución entre ciencia y religión es que la misma teología contemporánea, la de mayor prestigio (especialmente la europea), considera

¹⁸ Entre ellos: Ian Musgrave, Kenneth Miller, David Ussery, Russell F. Doolittle y Francisco J. Ayala (cf. Ayala, 2007: 149-156).

¹⁹ Concepto acuñado por Michael Behe para referirse a sistemas biológicos (por ejemplo, el ojo y el flagelo celular, entre otros) cuya complejidad no podría haberse alcanzado mediante un proceso evolutivo darwinista, es decir, mediante pequeños cambios paulatinos y sucesivos, ya que ninguno de sus elementos unitarios, considerados de forma individual, representaría ventaja alguna para el organismo que lo adquiriese por mutación aleatoria.

insostenibles esas posiciones teológicas conservadoras no sólo desde el punto de vista científico, sino desde la óptica de los métodos de investigación teológicos, según constata el prestigioso teólogo John F. Haught: «La mayoría de los teólogos contemporáneos rechazan el DI y el creacionismo» (Haught, 2012: 76).

Lo expuesto hasta aquí justifica que, al plantear la cuestión de los *orígenes* como *objetivo-marco* de este trabajo, nos propusiésemos eludir las estériles controversias aún mantenidas frente a la ciencia por las teologías conservadoras, con el fin de centrar la atención en algún tema que permitiese avanzar en la construcción de una relación fructífera entre la teología liberal y la ciencia contemporánea. Relación esta respecto a la cual nuestra posición se alinea, entre las diversas tipologías registradas en la historia común de ciencia y religión²⁰, con la amparada bajo el concepto *NOMA* (*Non-overlapping magisteria*), acuñado por el prestigioso científico Stephen Jay Gould²¹ para definir su propuesta de relación entre la ciencia y la religión:

No veo de qué manera la ciencia y la religión podrían unificarse, o siquiera sintetizarse, bajo un plan común de explicación y análisis; pero tampoco entiendo por qué las dos empresas tendrían que experimentar un conflicto. La ciencia intenta documentar el carácter objetivo del mundo natural y desarrollar teorías que coordinen y expliquen tales hechos. La religión, en cambio, opera en el reino igualmente importante, pero absolutamente distinto, de los fines, los significados y los valores humanos, temas que el dominio objetivo de la ciencia podría iluminar pero nunca resolver [...] Propongo que encapsulemos este principio básico de la no interferencia respetuosa (acompañado de un diálogo intenso entre los dos temas distintos, cada uno de los cuales cubre una faceta fundamental de la vida humana) enunciando el principio de los magisterios separados que no se superponen, al que para abreviar denominaré ***Non-overlapping magisteria (NOMA)***, entendiendo magisterio como un dominio de autoridad en la enseñanza (Gould, 2000: 12-14).

Consecuentemente con esta línea, se justifica que, de forma simétrica a la elusión de las controversias suscitadas desde las teologías conservadoras, nos propusiésemos evitar también las beligerantes controversias que algunas figuras científicas siguen alimentando actualmente frente a la religión, especialmente los representantes del denominado *nuevo ateísmo* (v. Apéndice A), ya que su confrontación adolece de un cierto anacronismo: «Los nuevos ateos prefieren debatir con los creacionistas, fundamentalistas y defensores del diseño inteligente antes que con teólogos. Ello es indicio de que prefieren inconscientemente las versiones literalistas y conservadoras del pensamiento religioso» (Haught, 2012: 18). Más aún, sus posiciones extralimitan absolutamente los campos científicos que les son propios: «Harris

²⁰ Remitimos nuevamente aquí al Apéndice A de este trabajo, en el que se incluye una apretada síntesis introductoria a la historia de las relaciones entre la ciencia y la religión-teología.

²¹ Stephen Jay Gould (1941-2002) fue paleontólogo, biólogo evolutivo, historiador de la ciencia y uno de los más influyentes divulgadores científicos de la segunda mitad del pasado siglo.

considera que la fe, sobre todo la de los monoteísmos, es fuente de muchos males porque la idea de Dios es intrínsecamente peligrosa. Por ello, no sólo intentan desacreditar la religión, sino que proponen su total erradicación para lo cual proponen eliminar totalmente los principios de libertad religiosa, incluso eliminar la mera tolerancia religiosa propia de las sociedades democráticas: adoptan una total intolerancia contra la tolerancia de la religión» (cf. Haught, 2012: cap. 1). Razón ésta que, *per se*, traslada la controversia a una esfera totalmente ajena a la propiamente científica y académica.

Expuesta ya la etiología del trabajo que aquí se presenta, es obligado rendir el justo reconocimiento, que sería inexcusable silenciar, a los profesores Caerols Pérez, Díez de Velasco Abellán, Fernández Vallina y Parellada Redondo por su excelente acogida a mi propuesta de incorporar las voces ausentes de las ciencias de la naturaleza al escenario del IUCCRR.

Finalmente, deseo dejar constancia expresa mediante una mención muy especial a la deuda contraída con el profesor García Norro por su acogedora disponibilidad para tutorizar este trabajo de fin de máster, así como por el papel determinante que su intervención ha ejercido en la inspiración de su marco general, en la concreción de su temática, y en la orientación de la labor investigadora, cuya idea genética hemos compartido con fruición.

No puede extrañar, pues, que concluya este proemio con mi reconocimiento más profundo y con mi más sincera y sentida expresión de gratitud a todos los profesores citados por el magisterio, orientación y ánimo recibidos de ellos.

Madrid, julio de 2017

EL AZAR Y LA NECESIDAD EN LA INTERLOCUCIÓN ENTRE CIENCIA Y RELIGION

INTRODUCCIÓN

1. El objetivo marco

El prestigioso teólogo Hans Küng confiesa la gran dificultad que supone el intento de lograr una visión de conjunto capaz de contemplar, por una parte, los espectaculares resultados logrados durante las últimas décadas por la investigación en los campos de la física, la cosmología, la biología y la antropología en relación con el principio del mundo, de la vida y del ser humano y, por otra parte, las reflexiones de la filosofía y la teología en torno a esas cuestiones referentes a los **orígenes**. A pesar de ello, Küng asume el reto de intentar lo que, remedando unas palabras de Erwin Schrödinger²², considera la única salida posible: «que algunos de nosotros se arriesguen a contemplar conjuntamente hechos y teorías, aun cuando sus conocimientos sean en parte de segunda mano y se revelen incompletos, lo que les expondrá al peligro de hacer el ridículo» (Küng, 2007: 14-15). Palabras que, por obvias y mayores razones, suscribimos modestamente al abordar la selección de los objetivos para este trabajo, cuya vocación apunta a una cierta visión transversal al conjunto de disciplinas citadas por Küng.

A los efectos de esa selección de objetivos, hemos creído inexcusable el atender a los debates desarrollados en las últimas décadas entre las neurociencias y ciencias de la naturaleza con la teología liberal, los cuales pueden ampararse bajo una misma *controversia-marco*: la existente entre una lectura *prima facie* de los primeros capítulos del primer libro de las escrituras sagradas judeo-cristianas, el Génesis, y las teorías que la Geología, la Cosmología y la Biología han desarrollado en el último siglo y medio en relación con el principio de todo lo existente, los *orígenes*, según apunta con pleno acierto Hans Küng.

2. La *plasticidad sistémica* (Objetivo específico)

Establecido, pues, como *objetivo-marco* del trabajo la interlocución entre la ciencia y la teología liberal en el ámbito de los *orígenes*, procede identificar su **objetivo específico**, es decir, un aspecto concreto y relevante que permita cumplir con nuestra vocación de transversalidad a las diversas disciplinas de referencia. A esa identificación ha contribuido la constatación del

²² E. Schrödinger fue el fundador de la mecánica cuántica ondulatoria y premio Nobel de Física en el año 1933.

agravamiento que ha experimentado la problemática de la teodicea debido precisamente a la asunción por la teología de los resultados consolidados por la investigación científica contemporánea.

Cuando Leibniz acuñó el término *teodicea*, lo hizo para titular una obra cuyo contenido obedecía al sentido propio de la etimología de ese término, esto es, como argumentación defensora de la omnipotencia y de la bondad divinas ante la existencia del mal, al cual clasificó en tres categorías esenciales: el mal metafísico (el originado a los seres por su imperfección intrínseca), el físico (dolores y otras adversidades originados por la naturaleza), y el mal moral derivado de la pecaminosidad humana (Leibniz, 1990: 133).

Puede afirmarse que la teodicea, en sus variadas concreciones por los diversos autores, ha tratado de exculpar a Dios de toda responsabilidad en el primer tipo de mal –el metafísico– mediante una razón ontológica: toda entidad finita es intrínsecamente imperfecta y padece una frustración consecuente. Por otra parte, se ha atribuido tradicionalmente el mal moral a la exclusiva responsabilidad de un ser humano dotado de *libre albedrío*, el cual es valorado como un don inestimable de la divinidad que sobrepuja ampliamente los posibles daños derivados de su ejercicio. Por tanto, la libertad humana se convierte en un pilar fundamental para la teología y, *a sensu contrario*, todo cuestionamiento de su realidad supone una grave amenaza para la coherencia de la teodicea. Esta es la razón por la que la reciente neurociencia y la conexa neuropsicología representan un gran reto para la teología en aquellos casos en que defienden que el comportamiento humano es esencialmente un mero resultado de su bioquímica y fisiología cerebrales, negándole todo vestigio de libertad de deliberación, decisión y actuación.

Sin embargo, el mayor obstáculo en la “defensa” de la divinidad surge del mal físico o natural ya que su responsabilidad sería difícilmente atribuible al ser humano²³, lo cual parece descargar toda la causalidad en el autor de una naturaleza cuyos mecanismos comportan consecuencias destructivas para la naturaleza misma y, frecuentemente, efectos dramáticos para la humanidad. Aunque existen argumentos teológicos que tratan de resolver este grave “pleito” en descargo de la divinidad, creemos que están acertados aquellos teólogos para los cuales el problema del mal natural es el mayor que enfrenta la teología contemporánea ya que,

²³ Decimos difícilmente, y no imposible, porque parte de la teología tradicional defiende que el pecado de la primera pareja humana produjo no solo su propia degradación, sino la de toda la naturaleza, para lo cual aduce, por ejemplo, el texto bíblico siguiente: «[...] pues la espera ansiosa de la creación anhela la revelación de los hijos de Dios; pues la creación quedó sujeta al fracaso, no por su gusto, sino a causa del que la sometió, con esperanza de ser también ella misma liberada de la esclavitud de la corrupción...» (Romanos 8,19-21, en versión bíblica de Cantera & Iglesias, 2000).

según ellos afirman y nosotros compartimos, aún no ha recibido respuesta plenamente satisfactoria.

Alguno de estos teólogos, una vez afirmado el *libre albedrío* como valor supremo buscado por la divinidad en su acto creador, ha intentado abrir caminos nuevos a una mejor respuesta al problema del mal natural, y lo ha hecho apuntando una intuición enormemente sugerente con estas breves líneas:

Quando se contempla la evolución prehumana como bosquejo previo del hombre y se interpreta desde éste –en lo accidental del juego de la evolución, en cómo prueban posibilidades lo inorgánico y lo orgánico, incluso el (*sic*) algo como los saltos cuánticos, o sea en lo casual e indefinible de los procesos físicos- necesariamente se percibe la figura previa, el preanuncio tímido, de lo que en la libertad humana llega plenamente a ser [...] hay que afirmar entonces que existe ya en el mundo de la evolución prehumana un bosquejo de estructuras de libertad... (Greshake, 2008: 64).

Apoyados en esta intuición de Gisbert Greshake, creemos de gran interés, en el ámbito de la relación entre la ciencia y la teología contemporáneas, el acometer una investigación sobre la posible existencia de mecanismos subyacentes a todo lo existente que combinen el *azar* con la *necesidad*²⁴ para dotar de ciertos *grados de libertad* a todos los sistemas imaginables (desde el ámbito de lo inorgánico hasta alcanzar al ser humano); mecanismos que, proporcionando a los procesos evolutivos capacidades de innovación y creatividad, hayan logrado generar finalmente unos seres vivos dotados de autoconsciencia y de *libre albedrío*.

Consecuentemente, el **objetivo específico** que se plantea este trabajo se concreta en investigar la posible verosimilitud de una tesis cuya formulación puede concretarse en las tres proposiciones siguientes:

- a) Existen en el universo mecanismos conformados por la combinación de *azar* y *necesidad*, que denominaremos *plasticidad*²⁵ *sistémica*, la cual ha dotado al mundo –y a todos sus sistemas componentes- de ciertos *grados* o *estructuras de libertad* en su funcionamiento, llegando a su máxima expresión en el ámbito antropológico.
- b) Sin los *grados de libertad* propios de esa *plasticidad sistémica*, el cosmos no existiría en absoluto o, al menos, no sería el existente, sino un escenario en el que los acontecimientos se reiterarían continua y monótonamente, sin posibilidad alguna de *variantes no regladas*, y sin el más mínimo atisbo de lo que se conoce como innovación, creatividad y libertad.
- c) La ocurrencia de *variantes no regladas* conlleva inevitablemente la eventual aparición de sucesos capaces de distorsionar o romper los equilibrios físico-biológicos

²⁴ En este trabajo concebimos los conceptos *azar* y *necesidad* en los términos que, de forma sintética define el físico John Polkinghorne así: *azar* equivale a «contingencia histórica», esto es, «que suceda esto en vez de aquello otro» sin razón para ello; y *necesidad* equivale a «regularidad de los procesos físicos fijada en forma de leyes» (Polkinghorne, 1998: 64).

²⁵ Término que tomamos prestado de la neurología –como se expondrá a lo largo de este trabajo- porque consideramos que expresa muy elocuentemente la idea de nuestra tesis.

preexistentes y de producir, en la esfera terrestre, fenómenos lesivos para la vida y para el ser humano, que este percibe y califica como males naturales.

Finalmente, como colofón del *objetivo específico* de este trabajo, y supuesto el acierto y verificación científica de nuestra tesis, nos preguntaremos si las conclusiones de esta podrían contribuir, en el marco del diálogo entre ciencia y teología, a una fundamentación más robusta de las teodiceas que defienden la emergencia del libre albedrío y de la moralidad humanos como razón suprema del plan creador de la divinidad. Baste anticipar aquí que la respuesta tendría un sentido afirmativo en caso de que se hubiera podido validar la tesis ya que, según esta, el logro de dicha autonomía solo habría sido viable con la condición *sine qua non* de una *plasticidad sistémica* universal y, por tanto, la opción divina por la autonomía humana debía asumir necesaria y simultáneamente los inevitables sucesos eventualmente destructivos de las estructuras físicas y biológicas, esto es, los llamados males físicos o naturales.

3. Estructura y método

Consecuentemente con el *objetivo específico* buscado, es necesario primeramente investigar la posible existencia de *plasticidad* en la funcionalidad de las estructuras constitutivas de los principales ámbitos integrantes de la realidad –las *estructuras de libertad* intuitas por Greshake-, es decir, mecanismos que permitan eventuales sucesos variantes, no reglados por la regularidad estricta y universal de las leyes naturales.

Con este propósito, se explorará toda una serie de fenómenos que responden a calificaciones diversas según las distintas ciencias, pero que pueden distribuirse en dos grupos terminológicos clasificables por su homología interna así:

a) *regularidad*, que hace referencia a lo que aparece como necesario, determinado, ineludible, predecible, ordenado, causado, genético, fijado por selección natural, instintivo, mecánico, autómeta

b) *variancia*²⁶, que apunta a lo que es contingente, sujeto a incertidumbre o a indeterminación, impredecible, caótico, sucedido al azar, aleatorio, modificado por mutación, epigenético, autónomo, dotado de libre arbitrio.

Los fenómenos así calificados raramente suscitan la búsqueda de algún posible principio general subyacente a todos los integrantes de cada grupo, lo cual es debido a que suelen ser

²⁶ Aunque se adoptan los términos *variancia* e *invariancia* relacionados con la Estadística, la significación que aquí se les atribuye no apunta al parámetro especializado “varianza”, sino solo a la connotación de aleatoriedad propia de los hechos que se estudian en esa disciplina.

analizados de forma individual como peculiaridad de la realidad estudiada por cada una de las citadas disciplinas, sin prestar atención a la posible conexión con otras áreas de la realidad.

En contraste con ello, la intuición de nuestra tesis es que, so capa de una terminología muy diversa, es posible descubrir ese mecanismo que hemos denominado *plasticidad sistémica* en las estructuras y funcionalidad de las realidades estudiadas por los diversos campos científicos esenciales para este trabajo: el físico-cosmológico, el biológico y el neurológico. Por esta razón, a continuación de esta introducción, el trabajo se estructura con tres capítulos en los que se desarrolla individualmente una investigación sobre la posible *plasticidad sistémica* de cada uno de esos ámbitos científicos.

Concluida esa indagación y antes de proceder al capítulo de conclusiones, con el objetivo de explorar el potencial de la *plasticidad sistémica* para un posible diálogo entre la ciencia y la religión, se dedica un cuarto capítulo a introducir sucintamente la problemática que el mal físico o natural plantea a la teología. Este capítulo se abrirá con el resultado de la falsación o verificación de la tesis y, en su caso, se desarrollará una valoración de su posible utilidad para la teodicea junto con un esbozo de esa aplicación.

Finalmente, procede aquí hacer un apunte metodológico, que no requiere de una exposición tan prolija como los planteamientos anteriores ya que, en plena coherencia con el ámbito y objetivo del trabajo, el procedimiento a seguir en la investigación toma como modelo el conocido por antonomasia como *método científico*, propio de las ciencias empíricas, entre las cuales se cuentan las disciplinas que constituyen el trasfondo de nuestra indagación: formulada la tesis, se procederá primeramente a su verificación o falsación mediante el contraste con los datos experimentales y teorías vigentes -aportados por nuestras fuentes documentales primarias- en cada uno de los ámbitos científicos considerados independientemente.

Supuesta la verificación de la *plasticidad* en las diversas áreas de la realidad sometidas a investigación, se evaluará, por una parte, la posibilidad de identificarla como una tipología de mecanismos subyacente a todas ellas, en cuyo caso cabría considerarla propiamente como *plasticidad sistémica*. Y, por otra parte, se evaluará su eventual funcionalidad como fuente de unas *estructuras de libertad* que, concretándose en mecanismos diversos a través de las distintas esferas de la realidad (inorgánica, biológica y antropológica), puedan servir de base a la teodicea para proponer una nueva justificación de la existencia de los males físicos o naturales.

CAPÍTULO 1: ESTRUCTURAS FÍSICO-COSMOLÓGICAS

1. Del azar atomista al mundo-máquina ²⁷

La intuición más lúcida y antigua acerca de la intervención que el azar pudiera tener en el funcionamiento del cosmos tuvo su cuna en la escuela que, fundada por Leucipo, fue llevada a su mayor esplendor en el siglo V a.C. por su discípulo Demócrito. Estos concibieron la *physis* como una ordenación surgida de un encuentro mecánico de los átomos -*ἄτομος*- producido al azar por sus movimientos caóticos; encuentro que posibilitaba la asociación de los átomos similares, originando una infinidad de mundos absolutamente contingentes, en cíclico nacimiento, desarrollo y destrucción (cf. Reale & Antiseri, 2008: 67-70).

La doctrina atomista fue retomada y reformulada por Epicuro (siglo IV-III a.C.), para lo cual introdujo, entre otras modificaciones, un elemento relevante en nuestro marco de trabajo: la teoría de la declinación de los átomos (*clinamen*), según la cual estos pueden desviar sus trayectorias²⁸ sin causa alguna y súbitamente, en cualquier instante y punto de ellas, dando así lugar al contacto y combinación con otros átomos. Combinaba, por tanto, un movimiento de carácter reglado y necesario con alteraciones absolutamente casuales por *clinamen*, razón por la que Reale y Antiseri, escriben: «Epicuro, y no Demócrito, es en realidad el filósofo que entrega el mundo al azar» (2008: 219). Esta propuesta de Epicuro representa el germen –tal vez, el más antiguo- de la idea que nuestra tesis denomina *plasticidad sistémica*, esto es, una propiedad de los procesos naturales que integra la *regularidad normativa* con la *variancia no reglada* y posibilita el surgimiento eventual de innovaciones en las realidades previas sobre las que opera.

Después de Lucrecio (cf. Reale & Antiseri, 2008: 224), las concepciones de tipo atomista no volvieron a aparecer en la historia del pensamiento hasta el siglo XVII con Galileo, Gassendi, Descartes, Boyle y Newton (cf. Udías, 2012: 123-124). Pero la concepción corpuscular de la materia en el siglo XVII no fue una reedición del atomismo filosófico griego, sino una aplicación del análisis del movimiento de los objetos observables. El pionero en el desarrollo de esta nueva concepción del mundo como materia en movimiento fue Galileo²⁹, quien postuló que la materia

²⁷ Consideramos relevante para el objetivo específico de este trabajo el dejar constancia de la aparición y desarrollo de los conceptos de azar y determinismo en la evolución de las cosmovisiones del pensamiento occidental. Sin embargo, en este apartado sólo ha sido posible introducir un apunte que sirviese para remitir al Apéndice C, en el cual se desarrolla más extensamente el tema para el lector interesado en ello.

²⁸ En el atomismo de Epicuro, los átomos seguían trayectorias verticales y paralelas debido a su peso (que era una de las características de los átomos epicúreos), razón por la que no podían colisionar entre sí; ello le obligó a postular el *clinamen* como forma de propiciar el contacto y combinación entre ellos.

²⁹ La relevancia de Galileo en este trabajo no es la debida a sus aportaciones a la Astronomía, sino a su trabajo pionero en la Mecánica física, especialmente en la Dinámica.

está integrada por partículas caracterizadas, desde el punto de vista físico-mecánico, por dos *cualidades primarias* cuantificables objetivamente: la masa y el movimiento, y se sirvió de la formulación matemática para expresar una serie de relaciones entre conceptos (*espacio, tiempo y masa*), que describían con precisión el movimiento de los objetos, según demostraba la experimentación (cf. Barbour, 2004: 29-34; Reale & Antiseri, 2010a: 245-255). La aportación de Galileo a la Dinámica física revolucionó la comprensión del universo, que vino a convertirse en una gran máquina en cuyos mecanismos íntimos siguieron investigando Descartes y Newton.

La visión *mecanicista* universal de Descartes impulsó la investigación metódica y empírica de la naturaleza (ya aplicada por Galileo) en la expectativa de lograr una modelización físico-matemática del mundo que permitiera al ser humano su conocimiento y dominio, según el proyecto programático ya propuesto por Bacon (cf. Reale & Antiseri, 2010a: 326-331).

Sin embargo, esta expectativa solo se hizo realidad gracias a las intuiciones y genialidad de Isaac Newton quien, partiendo de los legados de Galileo, Kepler y Descartes, realizó una serie de descubrimientos que permitieron dar fundamento empírico-matemático a las propuestas *mecanicistas* de la naturaleza física: su visión del universo quedó conformada como un conjunto infinito de partículas cuyos equilibrios y movimientos obedecen a una estricta regulación establecida por las leyes de la Dinámica y de la gravitación universal, que recibieron su nombre³⁰. Se impuso así la concepción del mundo como una máquina sujeta al gobierno universal de principios físico-matemáticos absolutamente deterministas, que permitían calcular con toda precisión y certidumbre las evoluciones pasada y futura de cualquier sistema del que se conociesen los valores de las *variables de estado* en un momento dado.

Las aportaciones de Galileo, Descartes y Newton tuvieron dos consecuencias trascendentales en la historia del pensamiento: quedó proscrito el azar atomista o epicúreo en la generación y funcionamiento del mundo y, por otra parte, quedaron excluidos de la naturaleza la intervención y gobierno providencial divinos que proponía la teología (cf. Barbour, 2004: 67-69).

El *mecanicismo* de férreas leyes físico-matemáticas se vio reforzado posteriormente por las leyes del electromagnetismo³¹, cuyo carácter era igualmente determinista, y permaneció vigente como cosmovisión científica del universo durante dos siglos y medio hasta que, en los comienzos del siglo XX, surgieron dos nuevos paradigmas en la ciencia física: la teoría de la relatividad y la mecánica cuántica, las cuales vinieron a discutir el carácter absoluto y determinista de la física “clásica”.

³⁰ El Apéndice C de este trabajo expone de forma sintética la génesis y formulación (descriptiva y matemática) de las leyes newtonianas citadas en el texto.

³¹ Formuladas definitivamente por James Clerk Maxwell (1831-1879).

2. El cuestionamiento de la física newtoniana

2.1 La teoría de la Relatividad

Fue el físico Albert Einstein (1879-1955) quien, en un intento de resolver el conflicto que se había detectado entre el movimiento de los objetos materiales y la propagación de perturbaciones electromagnéticas (Davies, 1986:139-140), propuso en 1905 la denominada *teoría especial de la relatividad* que, una década después, amplió en su *teoría general de la relatividad*³². En el marco de este trabajo, parece pertinente hacer referencia solo a las revolucionarias conclusiones de esta teoría en relación con el carácter del tiempo y del espacio³³ -considerados absolutos por la física newtoniana-, así como a las consecuencias de la nueva visión sobre el determinismo de las leyes clásicas.

En la física newtoniana, todas las categorías utilizadas son objetivas, intrínsecas a la realidad, e independientes del observador. Así, el espacio y el tiempo son absolutos y mutuamente independientes; el tiempo discurre de modo uniforme, simultáneo y con idéntica duración para todos los observadores. En contraste con esto, la teoría de la relatividad (que Einstein desarrolló sobre el postulado de la constancia empírica de la velocidad de la luz³⁴ para todo observador, cualquiera fuese su sistema de referencia) pronosticaba que dos sucesos simultáneos para un observador podían no serlo para otro situado en otro sistema, es decir, que el tiempo es una categoría “elástica” y relativa³⁵.

Una consecuencia sorprendente de esto es que no existe un presente común ya que un fenómeno puede ser simultáneamente pasado para un observador y futuro para otro (cf. Davies, 1986: 147-148). Por tanto, cabría deducir de ello una visión absolutamente determinista del mundo puesto que el hecho de que un suceso sea ya pasado para algún observador lo convierte en absolutamente determinado para el que lo va a observar como futuro: el pasado de uno determina el futuro del otro. Sin embargo, esta deducción es precipitada e incorrecta porque la teoría de la relatividad constata que dos fenómenos vinculados mutuamente por una relación

³² El Apéndice D de este trabajo, en su apartado primero, recoge un esbozo más detallado de las repercusiones que la teoría de la relatividad tiene para la concepción del tiempo y del espacio.

³³ La teoría de la relatividad también concluye que otras magnitudes tales como la longitud y la masa varían según el sistema de referencia en que se midan, pero su discusión no es relevante aquí.

³⁴ Para establecer este postulado, Einstein se apoyaba en los resultados obtenidos por Michaelson y Morley en sus experimentos con la luz y en la búsqueda de simetría en las ecuaciones de los campos electromagnéticos (cf. Barbour, 2004: 297; Reale & Antiseri, 2010b: 850-851).

³⁵ Un experimento mental puede mostrarlo claramente: supóngase un observador situado en el punto medio de un tren, desde donde emite una señal luminosa; esta señal se propagará a la velocidad de la luz y alcanzará simultáneamente los dos extremos del tren según la percepción de dicho observador; sin embargo, otro observador situado en tierra percibirá que la señal luminosa alcanza el extremo del tren más cercano a él antes que el más lejano dado que la velocidad de la luz es constante e igual para todos los observadores (cf. Polkinghorne, 2000: 74-75).

causal no pueden ser percibidos por dos observadores distintos en un orden opuesto a esa secuencia causal –el efecto antes que la causa-, sino que ambos verán los sucesos en el mismo orden, aunque en tiempos distintos. La combinación de la teoría especial de la relatividad y la mecánica cuántica –a la que se dedicará el apartado siguiente- muestra que las indeterminaciones cuánticas solo quedan determinadas por el transcurso del tiempo (cf. Barbour, 2004: 297-300).

De lo expuesto, se concluye que la teoría de la relatividad, no obstante el haber proscrito el carácter absoluto del tiempo y de la cronología de los sucesos, no implica *per se* la negación del determinismo de las leyes físicas, sino que es básicamente neutral en este aspecto. No obstante esta neutralidad, a lo largo de su prolongada controversia con los físicos cuánticos, Einstein se opuso reiteradamente a admitir la existencia de la indeterminación intrínseca en el mundo físico; controversia que la experimentación de la segunda mitad del siglo XX ha ido resolviendo progresivamente en contra de su posición.

2.2 La Mecánica cuántica

Desde los albores del siglo XX, la ciencia física descubrió paulatinamente que, además de los sistemas predecibles con toda precisión mediante la mecánica newtoniana, existían otros cuyo comportamiento no podía explicarse por las leyes de la física clásica³⁶, sino que eran impredecibles debido a que eventuales variaciones de las condiciones iniciales en sus procesos producen resultados radicalmente dispares debido a su extremada sensibilidad a las condiciones de contorno. La incapacidad radical del paradigma anterior para pronosticar la evolución de ciertos fenómenos físicos quedó establecida de forma singular con el nacimiento de la llamada Mecánica cuántica, cuyas bases teóricas fueron desarrolladas en 1925, de forma independiente, por Werner Heisenberg y Erwin Schrödinger³⁷.

En el marco de este trabajo, es de máxima relevancia la formulación que Heisenberg hizo de uno de los hallazgos fundamentales de la teoría cuántica, el denominado *Principio de incertidumbre o indeterminación*, el cual afirma que no es posible conocer simultáneamente la posición y el *momento*³⁸ de una partícula atómica o subatómica; cualquiera que sea la precisión con que se pueda realizar las mediciones, por principio es imposible conocer ambas magnitudes

³⁶ Un ejemplo de ellos sería el de la reflexión-refracción de los fotones lanzados contra un espejo ordinario. Se conoce que el 95% de los fotones de un haz de luz es reflejado por el espejo y el 5% penetra en él, es decir, que un fotón de cada veinte –en valores medios- atravesará el espejo. Sin embargo, aunque se conozcan perfectamente las condiciones del experimento, es absolutamente imposible predecir, por principio, si un fotón lanzado individualmente será reflejado o se refractará.

³⁷ El lector interesado en mayores detalles puede encontrar en el Apéndice D una breve descripción de las observaciones experimentales y circunstancias que dieron origen a la llamada *Mecánica cuántica*.

³⁸ Véase definición en el Glosario.

simultáneamente con esa precisión³⁹. En consecuencia, la capacidad de predicción determinista e infalible que la física clásica ostentó durante dos siglos y medio quedó desautorizada por la “extravagante” Mecánica cuántica, la cual solo puede realizar generalmente predicciones de carácter probabilístico⁴⁰.

Establecido ese limitante Principio, la cuestión controvertida que se planteó fue la interpretación de la realidad profunda subyacente que «era un asunto embrollado, y así sigue siéndolo todavía» (Polkinghorne, 2000: 46). El abanico de interpretaciones puede sintetizarse en las tres posiciones siguientes: a) la indeterminación es debida a limitaciones epistemológicas, es decir, a una cierta ignorancia actual de la ciencia respecto a los fenómenos cuánticos, la cual podrá superarse cuando se descubran las leyes profundas que los rigen; b) la indeterminación deriva de las limitaciones –que no podrán ser superadas nunca- de los medios experimentales disponibles o de los marcos teórico-conceptuales en los que se basa el diseño de las experiencias empíricas; c) la indeterminación es el mero reflejo de una característica esencial de la naturaleza, en la cual existen sistemas y ámbitos (tal como el mundo del átomo) cuyo desarrollo no está regido por leyes deterministas, ni permite predecir resultados apodícticos o necesarios. El debate entre los defensores de estas distintas interpretaciones del Principio de indeterminación cuántico tiene aspectos no solo físicos sino metafísicos también y no está aún cerrado, razón por la que es muy relevante para este trabajo recoger el estado de la cuestión.

Los defensores de la primera posición pueden argumentar que existen sistemas de los que se conoce de forma indudable que se rigen por mecanismos deterministas y que, pese a ser inaccesibles al cálculo con las herramientas de cálculo disponibles debido a la innumerable cantidad de variables que operan en ellos, el progreso de la investigación física ha permitido estudiarlos mediante modelos macroscópicos y formular leyes globales de su funcionamiento⁴¹. Físicos como Einstein y Planck defendieron que los mecanismos del mundo subatómico obedecen a causas absolutamente precisas y a leyes plenamente deterministas, razón por la

³⁹ Igual incertidumbre se produce para el binomio energía-tiempo, entre otros pares de variables interrelacionadas (cf. Barbour, 2004: 286).

⁴⁰ Ejemplo de este carácter es el hecho de que se pueda predecir cuándo se habrá desintegrado la mitad de un conjunto numeroso de átomos radioactivos, pero no el instante en que se desintegrará un átomo concreto; lo más que puede pronosticarse es la probabilidad de que dicho átomo se desintegre dentro de un cierto intervalo temporal (cf. Barbour, 2004: 286).

⁴¹ Ejemplo de ello es la teoría cinética de los gases que, asumiendo que el movimiento de las moléculas de un gas obedece a la dinámica newtoniana, no puede abordar el estudio del comportamiento de un cierto volumen de gas mediante el planteamiento de la dinámica de las infinitas moléculas que lo integran, lo cual no ha impedido, sin embargo, la formulación de diversas leyes que correlacionan con precisión determinadas magnitudes macroscópicas mensurables (volumen, presión y temperatura).

que mantuvieron la convicción y esperanza de que la ignorancia provisional de la ciencia sería superada en algún momento y se podrían formular leyes y pronósticos ciertos⁴².

Una variante de esta primera línea de interpretación es la debida a David Bohm (1917-1992), el cual desarrolló una formulación alternativa de la teoría cuántica sobre la base de asumir la existencia de ciertas *variables ocultas* que justificarían la intervención de fuerzas precisas en el nivel subatómico a pesar de la aparente aleatoriedad observada en el nivel atómico. Bohm operaba con partículas y ondas asociadas a ellas que, no siendo observables, codifican la información del entorno y rigen los movimientos de aquellas. Las conclusiones empíricas de esta formulación no han ofrecido resultados distintos de los de la mecánica cuántica convencional; sin embargo, la teoría de Bohm ha mostrado que la indeterminación no es una exigencia absoluta de esta nueva mecánica, sino una opción más bien metafísica, ya que es posible una explicación determinista si se acepta la existencia de unas desconocidas *variables ocultas* (cf. Polkinghorne, 2000: 51), que Bohm esperaba que fuesen identificadas en el futuro (cf. Barbour, 2004: 288). Ante esta alternativa, puede decirse con palabras de Polkinghorne que «la mayoría de los físicos se inclina más por Bohr que por Bohm. Quienes, más que sumarse simplemente al consenso de la mayoría, han tomado esta resolución tras haberla reflexionado, han obrado así porque sienten que la teoría de Bohm, a pesar de ser muy instructiva, tiene un carácter demasiado artificial como para resultar totalmente persuasiva» (2000: 51-52). Por ello, la mayoría de los científicos consideran más adecuado aceptar las teorías probabilísticas mientras no se desarrolle eventualmente una teoría alternativa que pueda ser contrastada (cf. Barbour, 2004: 288).

La segunda interpretación de la incertidumbre cuántica es la que adoptaron inicialmente el mismo Heisenberg –autor de la formulación del Principio- y Niels Bohr⁴³, los cuales entendieron que la indeterminación tiene su origen en una limitación insuperable por ser implícita al proceso mismo de la observación experimental⁴⁴. Sin embargo, aunque esta comprensión del Principio podría tener justificación en el caso de muchos experimentos, no es capaz de explicar la incertidumbre existente y constatada en las pruebas empíricas en que no existe posibilidad

⁴² Es muy conocida la afirmación de Einstein según la cual «Dios no juega a los dados», con la que expresaba su convicción de que el universo está regido por leyes deterministas, cuyos resultados son absolutamente previsibles, con independencia de la capacidad de los sujetos que los perciben para comprender sus causas.

⁴³ Autor del modelo atómico que distribuyó por primera vez los electrones en niveles orbitales regidos por unas leyes de cuantificación energética. Bohr propuso su modelo en 1913.

⁴⁴ Es fácilmente comprensible esa dificultad insuperable con solo considerar este ejemplo: si se desea observar un electrón, es necesario hacerlo “visible” mediante el bombardeo con un *quantum* de luz (fotón); pero estas entidades subatómicas tienen “magnitudes” del mismo orden, razón por la que la acción del fotón modificará inevitablemente el estado del electrón a observar. Es decir, la intervención del observador, mejor aún, de los medios de observación, modifica inevitablemente el estado del objeto observado.

alguna de que los medios de observación alteren el objeto o fenómeno estudiado⁴⁵. La comprensión de que existe indeterminación por una limitación radical del instrumental científico tiene una versión que se refiere a las herramientas conceptuales y no a los dispositivos materiales usados para la investigación: así, para diseñar un experimento con el que estudiar la estructura del mundo atómico es imprescindible optar por uno de los dos enfoques causales posibles –el corpuscular o el ondulatorio-, ya que es inviable usar ambos patrones simultáneamente. El resultado de esta comprensión es la adopción por algunos físicos de la *epojé* del antiguo escepticismo, esto es, la suspensión del juicio en cuanto al carácter determinado o indeterminado del comportamiento del átomo.

Debe hacerse notar que Bohr y especialmente Heisenberg abandonaron esta interpretación del Principio en favor de la tercera postura antes mencionada⁴⁶. En efecto, en sus últimos escritos, Heisenberg sostuvo que la incertidumbre o indeterminación era una característica objetiva del mundo físico y no una mera limitación epistemológica o instrumental del científico; en palabras de Ian Barbour:

«Heisenberg [...] sugiere que las probabilidades que emplea la física moderna se refieren a tendencias de la naturaleza que abren *un abanico de posibilidades*. No se trata sólo de que desconozcamos el futuro; lo que ocurre es que éste, en realidad, ni siquiera está ‘decidido’. Siempre hay abierto más de un camino, y es posible la emergencia de novedad impredecible [...] Potencia y azar son fenómenos objetivos, no meramente subjetivos» (2004: 289-290).

Se alcanza aquí una primera conclusión de este apartado muy relevante para nuestra tesis: la inmensa mayoría de los físicos contemporáneos⁴⁷ coinciden en rechazar el determinismo de la mecánica newtoniana, ya sea desde una posición de *epojé* o desde posiciones que afirman

⁴⁵ Ejemplo de un experimento de este tipo es la observación del instante preciso en que se produce la desintegración espontánea de un átomo radioactivo o del momento en que experimenta una transición hacia un estado excitado (cf. Barbour, 2004: 288).

⁴⁶ En el grupo de científicos que han sostenido esta postura cabría incluir a Hugh Everett con su denominada *interpretación de los mundos múltiples*, según la cual se generan continuamente mundos duales y paralelos en cada suceso cuántico. Pero esta propuesta no sólo es considerada generalmente como extravagante, sino que es *per se* imposible de comprobar ya que los hipotéticos mundos paralelos serían intrínsecamente incomunicables entre sí (cf. Polkinghorne 2004: 50; Barbour, 2004: 290).

⁴⁷ Albert Einstein nunca aceptó la indeterminación intrínseca en el mundo atómico y consideró que la teoría cuántica era incompleta, augurando que sería superada por otra más amplia. Para mostrar esa falta de completación, en la década de 1930, junto con sus colaboradores Boris Podolsky y Nathan Rosen, puso de manifiesto una consecuencia de la teoría cuántica antes desapercibida: la *no localidad* o *entrelazamiento* de entidades cuánticas, lo cual significa que, dada la interacción entre dos de ellas, estas conservarán su capacidad de influenciarse mutuamente sin que sea obstáculo para ello el alejamiento posterior de ellas, cualquiera sea la distancia que las separe. Einstein consideró absurdo este efecto (denominado EPR por las siglas de Einstein, Podolsky y Rosen) y defectuosa la teoría cuántica de la que se derivaba. Sin embargo, John Bell formuló ciertas consecuencias del efecto EPR (las desigualdades de Bell), que finalmente fueron corroboradas por la experimentación llevada a cabo por Alain Aspect en la década de 1980, demostrando que la *no localidad* o *entrelazamiento* es una propiedad de la naturaleza (cf. Polkinghorne, 2000: 53-54). También: Davies, 1986: 130-131.

nítidamente que los fenómenos cuánticos están gobernados por el azar, por la indeterminación (cf. Barbour 2004: 290; Davies, 1993: 13; Miller, 2007: 203 y 212; Polkinghorne, 2000: 69).

Sin embargo, y sin solución de continuidad, esta conclusión debe complementarse con otra característica de la Mecánica cuántica, ya mencionada: en contraste con su intrínseca incertidumbre en relación con las partículas atómicas individuales, tiene la capacidad de realizar predicciones de carácter probabilístico para el comportamiento de la globalidad de cualquier conjunto de ellas⁴⁸. Consecuentemente, la teoría cuántica muestra que el comportamiento de entidades macroscópicas resultantes de la interacción de conjuntos de partículas gobernadas por leyes no deterministas –según acuerdo mayoritario– puede ser pronosticado con elevados grados de fiabilidad:

[...] there is a pattern to these uncertainties, and these patterns account for the fact that the universe seems pretty orderly to us. Although we cannot predict the outcomes of individual events with any certainty, the overall outcomes of thousands of such events fall into very predictable statistical patterns (Miller, 2007: 201).⁴⁹

Por tanto, una segunda conclusión de este apartado en lo tocante para nuestra tesis es que el mundo de las partículas atómicas está gobernado por la conjunción de mecanismos no deterministas y de mecanismos que confieren ordenación a las agrupaciones macroscópicas de ellas, de forma que el resultado no es caótico sino previsible mediante leyes probabilísticas. Esta conjunción proporciona a la realidad física la capacidad de seguir procesos no regulados, que hemos llamado *variancia no reglada*, sobre cuyos efectos operan posteriormente las leyes deterministas: este mecanismo es el que hemos denominado *plasticidad sistémica*, que posibilita simultáneamente la innovación y el establecimiento de nuevos equilibrios ordenados.

Esta *plasticidad sistémica* es nuestra denominación para lo que Arthur Peacocke ha denominado *apertura* de los sucesos de la naturaleza; sus palabras mismas son un excelente refrendo de nuestra tesis para el ámbito de la física:

⁴⁸ Es imposible para la Mecánica cuántica, por ejemplo, determinar la posición de una partícula cuántica individual entre dos lugares concretos, pero se puede predecir las probabilidades de que se encuentre en uno u otro lugar. Sin embargo, cuando se agrupan los movimientos de muchas partículas (esto es, cualquier objeto material), los comportamientos de esa masa de partículas tienden a compensarse conjuntamente, cancelando las variaciones e incertidumbres individuales y permitiendo definir un patrón de comportamiento del conjunto con un alto grado de fiabilidad. Un símil elocuente es el de los cálculos actuariales de las compañías aseguradoras, las cuales fundamentan su negocio en la fiabilidad de las probabilidades calculadas para los riesgos globales a pesar de la absoluta aleatoriedad de los riesgos de sus asegurados individuales (cf. Polkinghorne 2005: 53). También, Davies, 1993: 13; Miller, 2007: 212-213; Peacocke 2004: 58.

⁴⁹ Nuestra traducción: [...] existen patrones para estas incertidumbres, y estos patrones evidencian el hecho de que el universo se nos presenta como bien ordenado. Aunque no podemos predecir con certeza los resultados de los sucesos individuales, los correspondientes al conjunto de miles de tales sucesos responden a patrones estadísticos muy predecibles.

Thus it is that the twentieth-century developments in physics and our new statistical awareness of understanding of the complexity of natural phenomena have combined to modify drastically Laplacian determinism and predictability without denying causality. This implies an 'openness' in the texture of the nexus of natural events which was not generally appreciated before the revolution in physics which began in the first decade of this century (cf. Peacocke, 2004: 59).⁵⁰

2.3 Los sistemas macroscópicos caóticos.

Lo expuesto hasta aquí suscita espontáneamente la pregunta acerca de la posible existencia de incertidumbre o indeterminación en el mundo macroscópico también. Mientras persistió la concepción de la realidad física como un mundo-máquina predecible y sujeto rígidamente a las leyes deterministas newtonianas, no se prestó atención a la investigación sobre procesos físicos dinámicos en los que la aparición de perturbaciones minúsculas modifica radicalmente el estado resultante. Un ejemplo muy elocuente de estos sistemas es el meteorológico terrestre, cuyos mecanismos se rigen por leyes que, siendo absolutamente deterministas, no son newtonianas, es decir, no son matemáticamente lineales⁵¹, lo cual tiene como consecuencia el denominado "efecto mariposa"⁵², es decir, la variación drástica e impredecible del estado meteorológico resultante de un proceso debido a la potenciación abrupta y según leyes matemáticas exponenciales de las eventuales variaciones en las condiciones iniciales del proceso.

El estudio de estos sistemas dinámicos macroscópicos de altísima sensibilidad se conoce como "teoría del caos"⁵³, y las ecuaciones matemáticas que modelizan su funcionamiento son, además de no lineales y deterministas, reflexivas, es decir, que los efectos retroalimentan las causas de forma que variaciones mínimas en sus datos pueden ser potenciadas de forma impredecible. Por esta causa, si se conociesen con total exactitud las condiciones del sistema en un punto de partida preciso, el estado resultante sería único y absolutamente pronosticable. Sin embargo, la existencia de cualquier mínima imprecisión –infinitesimal– en esos datos de partida puede crear una incertidumbre total respecto a la evolución futura del sistema: « [...] el

⁵⁰ Nuestra traducción: De esta forma, se han combinado los desarrollos del siglo veinte en física y nuestra nueva conciencia y comprensión estadística de la complejidad de muchos fenómenos naturales, resultando una modificación drástica del determinismo de Laplace y de la posibilidad de predecir [resultados] sin negar la causalidad.

⁵¹ Una función matemática es lineal cuando las relaciones entre las variables excluyen las potencias (exponentes) superiores a la unidad, así como los operadores de producto o división entre ellas.

⁵² El mecanismo meteorológico es tan sensible a los cambios en las condiciones iniciales que sus más mínimas variaciones producen efectos tempestuosos en los estados resultantes: «si una mariposa removiera con sus alas hoy el aire de Sudáfrica, ¡ello provocaría tormentas en Londres o Nueva York al cabo de tres semanas!» (Polkinghorne, 2000: 66).

⁵³ Esta denominación inicial es desafortunada porque transmite la errónea idea de que estos sistemas no se rigen por normas regladas, pese a que las leyes que los gobiernan son plenamente deterministas, aunque no sean lineales.

comportamiento de los sistemas caóticos se muestra sensible, según parece, a las alteraciones de un orden de magnitud semejante al de las relaciones de incertidumbre de Heisenberg e incluso menor» (cf. Polkinghorne, 2000: 67-70).

Según Stephen Kellert, el carácter impredecible de los sistemas caóticos no es debido a una ignorancia superable, ya que las predicciones de su funcionamiento a largo plazo «requieren más información de la que podría ser almacenada en todos los electrones de nuestra galaxia, y los cálculos durarían más que los fenómenos que intentáramos predecir » (Barbour, 2004:306). A esto, hay que añadir que los sistemas caóticos pueden amplificar las indeterminaciones cuánticas, lo cual tiene una doble consecuencia: impide el conocimiento suficientemente preciso de los datos de partida y, por otra parte, pueden introducir eventualmente variaciones no regladas en las condiciones de partida, imprimiendo el azar de la indeterminación en el origen mismo del desarrollo del sistema y, por tanto, en su estado resultante a pesar de que la subsiguiente evolución se realice mediante leyes deterministas.

La primera conclusión derivada de los sistemas caóticos en relación con nuestra tesis es que existen sistemas fundamentales de la naturaleza cuyo funcionamiento no lineal puede generar no solo estados impredecibles debido a la imposibilidad de conocer con total exactitud los datos requeridos para realizar el cálculo del modelo, sino una cierta “vulnerabilidad” ante el azar debido a su capacidad de potenciar exponencialmente las variaciones no regladas originadas por la indeterminación cuántica o por la interferencia accidental que otros sistemas independientes⁵⁴ produzcan en las condiciones de partida.

También aquí, sin solución de continuidad, es necesario mencionar los fenómenos de *auto-organización* de sistemas caóticos complejos, a cuyo estudio han dedicado sus investigaciones, a partir de enfoques muy diversos, el físico Ilya Prigogine (en relación con la termodinámica de sistemas alejados de estados de equilibrio, los denominados “sistemas disipativos”), y el biólogo Stuart Alan Kauffman (sobre la capacidad auto-organizativa de las redes químicas o genéticas sometidas a variaciones aleatorias). Baste mencionar aquí que Prigogine ha constatado, después de analizar numerosos sistemas auto-organizativos, que la existencia de desorden en

⁵⁴ El bioquímico Arthur Peacocke define claramente el concepto de *azar puro* por referencia a sistemas independientes: dos sistemas son independientes cuando tienen mecanismos causales no relacionados entre sí. La coincidencia accidental en un punto de sus respectivos procesos puede, sin embargo, producir interferencias mutuas por *azar puro*. Peacocke lo ejemplifica con el caso de la lesión causada a un transeúnte por el desprendimiento de elementos de un tejado producido por trabajos de reparación en este: la decisión sobre la trayectoria del transeúnte no obedece a un sistema causal que se relacione en manera alguna con el sistema causal que origina el desprendimiento; la interferencia de ambos sistemas es fruto del *azar puro*. De este modo se diferencia de un concepto impropio de azar, que es el usado para hablar, por ejemplo, de los resultados aleatorios obtenidos al lanzar un dado, que son impredecibles por carecer de la información necesaria para calcular su movimiento y no porque el proceso sea en sí mismo fruto del *azar puro* (cf. Peacocke, 2004: 90-91).

un cierto nivel puede conducir a la aparición de un cierto orden en un nivel superior del sistema, en el que se manifiestan estructuras complejas nuevas, cuyo comportamiento es regido por nuevas leyes. En una línea similar, Kauffman sostiene que el orden emerge espontáneamente en los sistemas complejos, especialmente si se encuentran en el límite entre el orden y el caos; las observaciones parecen mostrar que demasiado orden hace imposible el cambio y que demasiado caos hace imposible la continuidad, ante lo cual el desorden es frecuentemente el paso previo y necesario hacia una nueva modalidad de orden, es decir, la complejidad de un nivel hace surgir la simplicidad en el nivel siguiente (cf. Barbour, 2004: 305; Polkinghorne, 2000: 70-71; Polkinghorne, 2005: 56-57).

Una segunda conclusión relevante para nuestra tesis en relación con el ámbito macroscópico es que está regido también por la articulación entre mecanismos muy sensibles a la indeterminación del azar puro y mecanismos auto-organizativos capaces de implantar nuevos equilibrios en el seno de estados caóticos complejos, con la aparición de nuevos patrones de orden. Por tanto, también respecto al nivel macroscópico se puede afirmar que esta articulación proporciona a la realidad física la capacidad de seguir procesos no regulados -nuestra *variancia no reglada*-, sobre cuyos efectos operan posteriormente las patrones ordenadores: aparece nuevamente un mecanismo de *plasticidad sistémica*, que posibilita simultáneamente la innovación y el establecimiento de nuevos equilibrios ordenados (cf. Barbour, 2004: 322; Peacocke, 2004: 70, 103, 167).

Recurriendo en auxilio de nuestra tesis a la autoridad de Paul Davies, las conclusiones extraídas en los dos últimos apartados equivalen a decir lo siguiente: «El carácter intrínsecamente estadístico de los procesos atómicos y la inestabilidad de muchos sistemas físicos ante diminutas fluctuaciones, aseguran que el futuro no queda determinado por el presente. Ello hace posible la aparición de nuevas formas y sistemas, de manera que el universo está dotado de una especie de libertad para explorar novedades genuinas» (Davies, 1993: 182-183).

3. El azar cosmogónico ⁵⁵

Desde los albores de los registros escritos en la antigüedad de Mesopotamia, la historia del pensamiento constata una multitud de concepciones acerca del origen del mundo⁵⁶. En el contexto de este trabajo, hay lugar exclusivamente para aludir a las cosmogonías científicas actuales, y solo en lo referente a un hecho relevante para nuestra tesis: la mayoría de ellas se

⁵⁵ Cf. Udías Vallina, 2012: 243-244. También: Davies, 1986: 31-40

⁵⁶ El Apéndice D (3.1 y 3.2) presenta los tipos de cosmogonías elaboradas a lo largo de los seis milenios de historia.

construyen sobre la base del *azar puro*, mientras que otras lo hacen sobre la afirmación de una cierta *necesidad* intrínseca de la existencia del universo.

Debe hacerse notar primeramente que, en general, las propuestas de las últimas décadas han surgido para dar explicación a lo que se ha llamado el *ajuste fino* del Universo (cf. McGrath, 2009: 85-86; Barbour, 2004: 340). Este concepto se puede ser sintetizado en lo que el astrónomo Martin Rees ha denominado “justamente seis números” (así titula su obra más afamada), los cuales son parámetros fijos del modelo estándar cosmológico actual, cuyos valores no podrían diferir apenas de los actuales sin que ello hubiese imposibilitado la existencia del universo que conocemos, ni la existencia de los elementos, leyes y procesos que han hecho viable la vida en el planeta Tierra (cf. Rees, 2000: 1-4).

La constatación por los cosmólogos del sorprendente *ajuste fino* dio lugar a una interpretación desde la cosmología misma que fue llamado *principio antrópico*, propuesto por Brandon Carter en 1974 en dos versiones: el *principio antrópico débil* y el *principio antrópico fuerte*⁵⁷, los cuales implican una teleología en el universo orientada a la producción de vida inteligente, así como cierta extralimitación del campo estricto de la física hacia la filosofía y la teología. Como reacción a estas derivaciones, han venido surgiendo propuestas cosmogónicas que tratan de fundamentar el *ajuste fino* de forma que sea evitable la introducción de la idea de diseño, propósito o finalidad en la existencia del Universo. Estas teorías se pueden clasificar, según la función asignada precisamente al *azar* en el proceso cosmogónico, en dos grupos que aquí solo cabe enumerar (cf. Barbour, 2004: 342-348). El primero explica el *ajuste fino* afirmando la existencia de una multiplicidad de universos, ya sea simultánea o sucesiva, de forma que, supuesta la existencia de una infinidad de ellos en cada uno de los cuales rigiese un conjunto distinto de esos parámetros fundamentales, pareciera verosímil la existencia de uno que tuviera por *azar* los valores afinados de nuestro universo. Entre las diversas propuestas de este tipo⁵⁸,

⁵⁷ El *principio antrópico débil* sostiene que “lo que es de esperar que observemos del universo debe estar restringido por las condiciones necesarias para nuestra propia presencia como observadores”, lo cual subraya la importancia del observador, de la que también da testimonio la Mecánica cuántica. El *principio antrópico fuerte* afirma que “el universo y los parámetros fundamentales de los que él depende deben ser tales que admitan la aparición en él de observadores en algún momento de su existencia” (cf. McGrath, 2009: 116). También: Barbour, 2004: 341; Barrow & Tipler, 1996: 21-22.

⁵⁸ La idea de una multiplicidad de universos tiene raíces muy antiguas, según recuerda Leibniz en unas palabras con las que retoma y adopta la propuesta epicúrea: « [...] desde un punto de vista metafísico, sería posible que existieran infinitos mundos o sistemas de cosas inmersos en espacio y tiempo asimismo infinitos, y no sería extraño que, de entre los infinitos mundos reunidos al azar, algunos llegaran a ser bellos y bien ordenados, de los cuales uno nos tocaría en suerte a nosotros. De esta escapatoria se sirvieron hace ya mucho los epicúreos» (Leibniz, 1990: 90).

pueden mencionarse: el *Universo oscilante* (con ciclos alternos de *big-bang* y de *big-crunch*); los *Múltiples dominios aislados* (sustituye los múltiples ciclos sucesivos por un solo *big-bang* del que surgieron múltiples “burbujas”, sin posibilidad de conexión entre sí, en las que gobiernan parámetros y leyes diversos; una de ellas, tiene por *azar puro* las constantes que posibilitan nuestro universo); la teoría de los *mundos múltiples cuánticos* de Everett y DeWitt (véase Apéndice D); la teoría de las *fluctuaciones del vacío cuántico* (la energía necesaria para crear el universo podría ser tomada en “préstamo” durante un instante inimaginablemente breve, y “devuelta” de inmediato, lo cual es una fugaz transgresión de la ley de conservación de la energía que la teoría cuántica permite; una de esas pruebas habría ocasionado por *azar* este universo).

El segundo grupo de teorías cosmogónicas explica el *ajuste fino* mediante la afirmación de que los parámetros fundamentales de este universo no son arbitrarios, sino que vienen obligados por la *necesidad* impuesta por alguna estructura profunda de la realidad que aún se desconoce. En esta línea, la investigación actual busca una teoría que obedezca a esta concepción y los intentos se desarrollan en diversas direcciones: la *teoría de la gran unificación (GUT)*; las *teorías inflacionarias*; las *teorías de la supersimetría o supergravedad*, y la *teoría de las supercuerdas o teoría del todo (TOE)*. En este segundo grupo de teorías, la función de la *necesidad* no se ajusta a la que le otorga nuestro concepto de *plasticidad sistémica* ya que afirman la posible existencia de una estructura profunda (una *ley determinista* aún desconocida), como explicación del *ajuste fino* alternativa y excluyente del *azar*, mientras que nuestra tesis entiende como binomio mutuamente articulado el *azar* y la *necesidad reglada*.

Sin embargo, el primer grupo de estas teorías cosmogónicas se fundamenta en la intervención trascendental del *azar* en la estructuración primigenia del Universo, cuyo desarrollo subsiguiente se produjo de acuerdo con las pautas regladas de las leyes físicas. Por tanto, la combinación de *azar* y *leyes deterministas* en esas teorías cosmogónicas responde exactamente al concepto de *plasticidad sistémica* cuya existencia en toda la transversalidad de la realidad tratamos de constatar en este trabajo. La verificación de nuestra tesis en el ámbito cosmológico relativo al *ajuste fino* debe permanecer, por tanto, a la espera del progreso en la compleja investigación astrofísica.

Sin embargo, existe un proceso crucial en las concepciones cosmológicas actuales que evidencia muy elocuentemente la *plasticidad sistémica* en el origen mismo del cosmos: se trata

de la generación primigenia de la materia física⁵⁹. Una comprensión muy generalizada postula que originariamente coexistían materia (protones y electrones) y antimateria (antiprotones de carga negativa, y positrones -electrones de carga positiva-) en cuantías teóricamente iguales entre sí⁶⁰, de forma que, con anterioridad a la “edad” cósmica de 10^{-6} s después del Big-Bang, materia y antimateria se recombinaban continuamente, aniquilándose mutuamente y generando una radiación de energía en forma de fotones, energía que, a su vez, se convertía en materia, produciéndose continuamente pares de partícula y antipartícula. Sin embargo, hacia la “edad” de 10^{-6} s, se produjo una *pequeña asimetría* que hizo desaparecer las antipartículas, quedando sólo protones por su mayor abundancia; esa *asimetría* consistió en que el número de protones que se generaban superaba al de antiprotones en la proporción de un protón por cada 10^9 antiprotones, y esos protones “sobrantes”⁶¹ habrían dado origen a toda la materia (cf. Davies, 1986: 31-36; Barbour, 2004: 341; Polkinghorne, 2005: 38).

Lo que es aquí muy relevante para nuestra tesis es que no hay una razón justificante de esa *asimetría* ya que las teorías cosmológicas se sustentan de forma esencial en el concepto de *simetría*. Por ello, el prestigioso físico Paul Davies afirma de esa *asimetría* que fue «casi un capricho de la naturaleza» (Davies, 1986: 36), es decir, un suceso de *azar puro* en el proceso mismo de generación de la materia que, por la actuación posterior de las *leyes deterministas* que rigieron la etapa inflacionaria del universo, produjeron la eliminación de la antimateria y posibilitaron la existencia del mundo que conocemos.

En definitiva, supuesta la validez de esta teoría, se tendría la constatación en la esfera cosmológica de la combinación binomial de un suceso de *variancia no reglada* junto a la actuación de *leyes deterministas*, esto es, de un universo caracterizado desde su origen mismo por la *plasticidad sistémica* postulada en nuestra tesis. Expresado en palabras de John Polkinghorne:

La fecunda historia de este cosmos en continuo despliegue ha sido posible gracias a la interacción de estos dos aspectos de los procesos –«azar» y «necesidad»-, que no sólo afectan a la evolución biológica sobre a Tierra, sino también al propio desarrollo físico del universo. = [...] El patrón específico de ligeras deshomogeneidades que presentaba la casi uniforme distribución de materia en el universo primordial fue ampliado por la acción -sujeta a ley- de la gravedad, lo que dio origen a la organización de galaxias condensadas que observamos en la actualidad. Un conjunto diferente de deshomogeneidades iniciales habría tenido como resultado un arreglo distinto de la distribución galáctica. La estructura concreta que nosotros vemos se debe, pues, al «azar» (podría haber sido diferente sin ningún problema [...]) (Polkinghorne, 1998: 64)⁶².

⁵⁹ El Apéndice D, en su apartado 3.4, recoge un mayor detalle de las principales teorías actuales en relación con el origen de la materia existente en el cosmos.

⁶⁰ La existencia del binomio materia-antimateria fue comprobada en 1933 por Carl Alexander. De hecho, se obtienen partículas y antipartículas fácilmente en los actuales aceleradores atómicos a partir de altas concentraciones de energía.

⁶¹ Esta teoría armoniza el cálculo de la energía producida por la aniquilación cósmica de partículas-antipartículas tras el Big-Bang con el resultante de la obtenida sumando la energía calorífica de cada átomo “superviviente” existente en el universo.

⁶² Cf. también: Polkinghorne, 2005: 35 - 38.

CAPÍTULO 2: ESTRUCTURAS BIOLÓGICAS

1. Facticidad de la Evolución biológica

Han transcurrido más de dos siglos desde que Jean-Baptiste de Monet, caballero de Lamarck, publicó su *Filosofía zoológica* (1809) en la que propuso «una teoría de la evolución biológica, la primera que es detallada, extensa y consistente, aunque tiempo después se demostrara que era errónea» (cf. Ayala, 1994: 28). Durante este extenso periodo, intenso en controversias e investigación biológica, la teoría de la evolución ha adquirido un estatus fáctico ya que «La Evolución, como tal hecho, no es ya una teoría, ni una hipótesis, ni tan siquiera una doctrina; ya lo hemos dicho, es una propiedad de la materia y, en el caso de los organismos, una propiedad de la Vida, una función más [...]» (cf. Crusafont & Meléndez & Aguirre, 1986:18). El hecho que estas autorizadas palabras expresan justifica que aquí se prescindiera de la exposición de los diversos planteamientos realizados con anterioridad a la denominada *teoría sintética -o moderna-* de la evolución, con el fin de centrar la atención en este último modelo de la teoría como punto de partida ya que es, en sí mismo, un indicio anticipado de la *plasticidad sistémica* cuya posible existencia procede ahora indagar en el ámbito de la biología también.

La *teoría sintética* vino a resolver las fuertes controversias sostenidas en las dos primeras décadas del siglo XX entre los llamados *mutacionistas* (seguidores del naturalista y genetista Hugo de Vries) y los *biometristas* (encabezados por el matemático Karl Pearson). De Vries sostenía que los organismos vivos estaban sometidos a dos tipos de variación, las que se observan entre individuos de una especie (*ordinarias*) y las que surgen por alteración espontánea de los genes (*mutación cualitativa*): a estas últimas atribuyó en exclusiva la propiedad de producir las grandes variaciones capaces de dar origen a nuevas especies de forma abrupta y sin transición. Esta teoría *mutacionista* fue rechazada por muchos naturalistas coetáneos con De Vries, entre ellos los *biometristas* para los que el mecanismo principal de la Evolución es la *selección natural* darwiniana, la cual opera mediante la acumulación paulatina y continua de pequeñas variaciones en una especie (peso, tamaño, etc), variaciones que se denominan *métricas* (también, *cuantitativas*) dado que son susceptibles de medición (no son meramente cualitativas). En realidad, lo debatido era la importancia relativa de dos mecanismos intervinientes en la Evolución: la herencia según las leyes de Mendel⁶³, y la selección natural.

Esta controversia quedó superada por los trabajos de Theodosius Dobzhansky publicados en 1937 bajo el título *Genetics and the Origin of Species*, obra en la que fundamentó en términos

⁶³ Gregor Johann Mendel enunció las leyes de la herencia en 1865, pero permanecieron olvidadas hasta que fueron descubiertas por De Vries, entre otros, en el año 1900.

genéticos el mecanismo evolutivo y verificó empíricamente los resultados de los genetistas teóricos⁶⁴, dando origen a la *teoría sintética* de la evolución, que integraba definitivamente los mecanismos de la *selección natural* darwinista y la *transmisión genética* mendeliana. La teoría de Dobzhansky fue adoptada por la práctica totalidad de los biólogos y dejó establecida como hecho comprobado, un siglo después de su propuesta por Darwin, la teoría de la evolución por selección natural. En las décadas subsiguientes, los descubrimientos han permitido comprender en profundidad las estructuras y los procesos genéticos implicados, así como los distintos mecanismos de la selección natural, pero «la evidencia a favor de la evolución es tan definitiva, que los evolucionistas ya no se ocupan de obtener mayores pruebas, ni discuten en detalle tales conocimientos en sus artículos de investigación o libros de texto» (cf. Ayala, 1994: 46).

2. Mecanismos genéticos de *regularidad normativa* ⁶⁵

2.1 La replicación molecular

Una de las características esenciales de los organismos vivos (desde el nivel celular) es su capacidad para autorreproducirse, lo que implica la existencia de sistemas de almacenamiento de información que se transfiere de una generación a la siguiente de forma estable. El conocimiento de los procesos mediante los cuales se codifica y conserva esa información, así como de los que la descifran y utilizan para regular la replicación de las unidades celulares no se alcanzó hasta la década de 1950.

Con anterioridad (mediado el siglo XIX), se había identificado la existencia de una sustancia integrante del núcleo celular cuya completa caracterización química no pudo lograrse hasta 1930⁶⁶; sin embargo, su función fundamental y exclusiva en la transmisión de la información hereditaria no se constató de forma indubitable hasta la década de 1940 (cf. Maynard Smith, 1972: 60-62) y comienzos de los años 1950. A partir de los datos ya acumulados por la

⁶⁴ Figuras notables fueron Ronald A. Fisher, John Burdon Sanderson Haldane y Sewall Wright, cuyos trabajos (que no tuvieron gran difusión entre los evolucionistas dado que estaban formulados de forma matemática y teórica, y tenían aún escasa fundamentación empírica) habían logrado demostrar matemáticamente que la acumulación de pequeñas variaciones puede conducir a resultados evolutivos muy notables en la forma y función al ser sometidas a la selección natural (cf. Ayala, 1994: 40).

⁶⁵ Cf. Dawkins, 2007: 27-31; Ayala, 1994: 195-197; Crusafont & Meléndez & Aguirre, 1986: 367-376; Monod, 1981: 116-123 y 197-203; Maynard Smith, 1972: 61-67; Changeux, 1985:212-224; Davies, 2000: 80-91.

⁶⁶ Albrecht Kossel y Leven probaron que la sustancia que había sido aislada por Friedrich Miescher en 1869 estaba integrada por macromoléculas constituidas por un agregado de unidades semejantes; estas unidades son los denominados *nucleótidos*, los cuales son compuestos integrados por un azúcar del grupo de las pentosas (ribosa o desoxirribosa), que se enlaza por un lado con un grupo fosfato (ácido ortofosfórico) y, por otro lado, con una base nitrogenada, de las que solamente intervienen dos tipos: las *pirimidinas* (citosina –C-, timina –T- y uracilo o uridina –U-), y las *purinas* (adenina –A- y guanina –G-). Esas macromoléculas son los denominados *ácidos nucleicos*, de los que existen dos tipos: el *Ácido Ribonucleico* (ARN) y el *Ácido Desoxirribo-Nucleico* (ADN);

investigación, en 1953, Francis Crick y James Watson lograron descubrir la estructura del ADN, así como los sistemas moleculares de codificación y replicación de la información celular. Aunque, a los efectos de este trabajo, no es necesario describir detalladamente la constitución del ADN y del ARN, es relevante para nuestra tesis poner de manifiesto aquellas características que evidencian, en el nivel biológico más íntimo –el molecular-, la existencia de ese mecanismo que venimos denominando *regularidad normativa*.

Un primer rasgo esencial es que la molécula del ADN está estructurada con dos filamentos helicoidales cada uno de los cuales está construido por la sucesión alternante de las bases azúcar y fosfato de los nucleótidos; por otra parte, ambas hélices o hebras están interconectadas transversalmente mediante el enlace entre las bases nitrogenadas (A, C, G y T) de sus respectivos nucleótidos. Una segunda peculiaridad fundamental del ADN es que estas bases admiten solamente la formación de dos combinaciones: A-T y C-G, lo cual implica que la secuencia de nucleótidos de una de las hélices determina de forma inflexible y sin ambigüedad alguna la secuencia de la otra, en la que deben figurar las respectivas parejas obligadas de nucleótidos. Estas dos características posibilitan un proceso de copia de la molécula de ADN extremadamente fiable y robusto: al separar las dos cadenas del ADN en un medio rico en bases nitrogenadas (purinas y pirimidinas), las de cada hebra pueden capturar las respectivas bases compatibles y reconstruir exactamente la secuencia inicial complementaria, resultando dos moléculas de ADN idénticas a la original (cf. Crusafont & Meléndez & Aguirre, 1986: 373-374). En palabras de Jacques Monod, la relevancia de este hecho queda calificada así:

La invariante biológica fundamental es el ADN. Por este motivo, la definición, por Mendel, del gen como portador invariante de los rasgos hereditarios, su identificación química por Avery (confirmada por Hershey) y la elucidación, por Watson y Crick, de las bases estructurales de su invariancia replicativa, constituyen sin ninguna duda los descubrimientos más fundamentales que hayan sido hechos jamás en biología (1981: 118).

Esta constatación es de máxima relevancia para este trabajo porque la replicación del ADN es, en biología, uno de los mecanismos que hemos calificado como *regulación normativa*, imprescindible para la existencia de la *plasticidad sistémica* que indaga nuestra tesis.

2.2 La construcción proteínica

Hechas las afirmaciones anteriores, surge la pregunta acerca de la razón por la que se afirma la trascendencia de la replicación exacta e invariante del ADN. La respuesta se encuentra en la función fundamental desarrollada por esta molécula en la transmisión de las características de los organismos vivos y en la conformación de estos. En efecto, el ADN constituye el sistema de codificación que almacena toda la información e instrucciones para las diversas funciones de

los organismos vivos; entre estas se encuentran las utilizadas por las unidades celulares para sintetizar un grupo de compuestos, las proteínas, que son esenciales para la construcción y regulación específicas de cada una de las especies de organismos existentes⁶⁷.

Es pertinente, a nuestros efectos, esbozar brevemente el sistema de codificación de las proteínas característico del ADN. Debe señalarse primeramente que las proteínas naturales están constituidas por cadenas de aminoácidos, de los que se utilizan solo veinte tipos en la composición de aquellas, siendo el número y ordenación de los aminoácidos en la cadena los factores que determinan las propiedades específicas de cada proteína. Por tanto, para dirigir la construcción de una proteína, la información codificada en el ADN debe prescribir los distintos aminoácidos a emplear y el orden exacto de su secuenciación, lo cual se realiza mediante un sistema que es perfectamente conocido. Se ha indicado ya que, en la estructura de la macromolécula de ADN, se suceden largas series de los cuatro tipos de nucleótidos (según las bases nitrogenadas A-C-G-T), lo cual significa que, con estos nucleótidos, se puede realizar una ingente cantidad de secuencias⁶⁸, cuya capacidad de almacenar datos e instrucciones es prácticamente ilimitada. Por otra parte, el mecanismo de codificación de las proteínas utiliza como unidad de información una secuencia de tres nucleótidos para cada aminoácido, de forma que es posible obtener sesenta y cuatro tripletes distintos⁶⁹, es decir, podrían discriminarse tantos aminoácidos distintos como tripletes, con lo que el sistema de codificación es más que suficiente ya que solo se utilizan veinte tipos de aminoácidos⁷⁰. El *software* para la construcción de una proteína consiste, pues, en una secuencia ordenada de tripletes (llamados codones) que determina de forma unívoca los tipos de aminoácidos a utilizar y el orden exacto en que deben ensamblarse sucesivamente.

La conclusión de este simple esbozo es muy relevante: también en el nivel siguiente al de la replicación molecular del ADN, esto es, el que rige la estructuración misma de los organismos vivos, existen procesos absolutamente determinados por mecanismos de *regularidad reglada*.

⁶⁷ Debe hacerse notar que son de naturaleza proteínica los compuestos esenciales de las estructuras celulares, así como las enzimas o biocatalizadores que dirigen el metabolismo y, por tanto, las propiedades fisiológicas de los seres vivos, de las que depende durante el desarrollo embrionario gran parte de los caracteres morfológicos y estructurales (cf. Crusafont & Meléndez & Aguirre, 1986: 374).

⁶⁸ Téngase en cuenta que, por ejemplo, con una secuencia de solo diez nucleótidos se pueden obtener 1.048.576 ordenaciones distintas (responden al concepto matemático de *permutaciones con repetición de cuatro elementos tomados de diez en diez*, cuyo número total asciende a 4^{10} , es decir, 1.048.576).

⁶⁹ Es el resultado del cálculo matemático de las *combinaciones con repetición de cuatro elementos tomados de tres en tres* (4^3).

⁷⁰ Si el código utilizase duplos de nucleótidos en vez de tripletes, las combinaciones posibles serían solo dieciséis (4^2), y serían insuficientes para codificar los veinte aminoácidos. El exceso de códigos disponibles permite que los aminoácidos posean varios códigos redundantes, lo cual aminora los efectos de las mutaciones génicas por sustitución entre bases nitrogenadas dentro de un triplete.

Podríamos reiterar la misma conclusión para la especificación y transmisión de cada rasgo genético particular de un organismo⁷¹, en los procesos embriológicos y en todos los posteriores a lo largo del desarrollo de cualquier organismo, razón por la que no es necesario insistir más en este hecho fundamental para nuestra tesis: también en el ámbito biológico se constata la existencia del elemento determinista imprescindible para la *plasticidad sistémica*, esto es, la *regularidad reglada*. Lo que procede es indagar la posible presencia del elemento complementario, esto es, la *variancia no reglada*.

3. Mecanismos genéticos de *variancia no reglada* ⁷²

3.1 Mutaciones génicas y cromosómicas

A los mecanismos genéticos de *regularidad normativa* se añade otro hecho biológico que parecería poder objetar la existencia de mecanismos causantes de alteraciones aleatorias en la estructura y características de los organismos vivos: es el hecho constatado de que la replicación del ADN y el mecanismo de traducción para la construcción proteínica son estrictamente irreversibles, lo cual implica que una información no puede ser transferida de la proteína al ADN; por tanto, no es viable que una modificación en la estructura proteínica de un organismo modifique su ADN, sino que es la previa alteración de este lo que produce la variación de aquella:

[...] en efecto, no hay mecanismo *posible* por el que la estructura y las *performances* pudieran ser modificadas y estas modificaciones transmitidas, aunque sólo fuera parcialmente, a la descendencia, si no es como consecuencia de una alteración de las instrucciones representadas por un segmento de secuencia del ADN. Mientras que inversamente no existe ningún mecanismo concebible por el que una instrucción o información cualquiera pudiera ser transferido al ADN. = [...] = Podría, pues, parecer que, por su misma estructura, este sistema deba oponerse a todo cambio, a toda evolución. = [...] = La física sin embargo nos enseña que (salvo en el cero absoluto, límite inaccesible) toda entidad microscópica puede sufrir perturbaciones de orden cuántico, cuya acumulación, en el seno de un sistema macroscópico, alterará la estructura, de forma gradual pero infalible (cf. Monod, 1981: 122-123).

Lejos de una imperturbabilidad de los mecanismos genéticos expuestos –absolutamente imprescindible, por otra parte–, la secuencia de nucleótidos de la macromolécula de ADN es susceptible de modificación no sólo por inestabilidades de origen cuántico, sino por agentes extrínsecos a ella misma, tales como las radiaciones de alta frecuencia, los rayos X, la luz ultravioleta y sustancias químicas diversas, entre otros. Cuando estas alteraciones afectan solo a

⁷¹ Cada rasgo específico queda indicado unívocamente por un *gen* (véase el Glosario).

⁷² Cf. Ijjas, 2013: 64-73; Dawkins, 2007: 31-58; Ayala, 1994: 75-104; Crusafont & Meléndez & Aguirre, 1986: 376-404; Monod, 1981: 123-127.

algunos nucleótidos de un gen son denominadas *mutaciones génicas o puntuales*, y las que involucran a un número de nucleótidos que puedan cambiar la cantidad de genes o su organización en un cromosoma dado o, incluso, el número de cromosomas, se denominan *mutaciones cromosómicas*⁷³.

Las *mutaciones génicas* pueden consistir en la sustitución de la base nitrogenada de un nucleótido por otra, en la pérdida o adición de uno o varios nucleótidos, o en la inversión de la secuencia de dos o más nucleótidos. Estas mutaciones moleculares, en virtud de su función rectora en la síntesis de las proteínas (las enzimas, entre ellas), pueden llegar a producir efectos letales o muy significativos⁷⁴ en la morfología, en la fisiología e, incluso, en el comportamiento de los individuos portadores de tales mutaciones (cf. Ayala, 1994: 75-82; Crusafont-Meléndez-Aguirre, 1986: 377-378 y 393-394; Monod, 1981: 199).

En cuanto a las mencionadas *mutaciones cromosómicas*, los cambios en el número de cromosomas pueden producirse por unión de dos en uno (*fusión*), por un proceso inverso de fragmentación (*fisión*), y por adición o eliminación de cromosomas completos. Las variaciones de la estructura de los cromosomas pueden obedecer a la rotación de ciento ochenta grados de un segmento en su misma posición (*inversión*), a la pérdida de un segmento (*delección*), a la repetición de un segmento (*duplicación*), y a la traslación de un segmento a otro lugar del mismo o distinto cromosoma (*traslocación*). En general, estas mutaciones producen alteraciones en la actividad de los respectivos genes, pero las *duplicaciones* o *delecciones* alteran la cantidad de ADN del organismo y puede tener efectos importantes en la evolución del organismo: las segundas son letales con frecuencia (si elimina genes esenciales), mientras que las primeras han sido un mecanismo trascendental en el proceso general de la evolución orgánica porque posiblemente el organismo primigenio de todos los seres vivos tenía una cadena de ADN mínima y, mediante múltiples *duplicaciones* y sucesivas mutaciones génicas, fue generando la gran

⁷³ En los organismos eucariotas, el material genético está almacenado en unos orgánulos denominados *cromosomas*, a lo largo de los cuales se desarrollan las cadenas de ADN con los genes distribuidos linealmente. Cada una de esas especies biológicas posee un número de cromosomas fijo que le es característico. En los cromosomas se encuentra no sólo el ADN, sino también proteínas y un cierto contenido de ARN (cf. Crusafont & Meléndez & Aguirre, 1986: 382; Dawkins, 2007: 32-38). Véase el concepto de cromosoma en el Glosario.

⁷⁴ Debe tenerse en cuenta que la sustitución de un solo nucleótido por otro, de los tres de cada triplete, da lugar a nueve mutaciones posibles, las cuales pueden o no codificar el mismo aminoácido y, por tanto, producir o no una proteína o enzima distinta, con efectos muy diversos en la morfología o metabolismo celular. Algunas de esas sustituciones pueden transformar el codón que codifica un aminoácido en un *codón de puntuación*, lo cual tiene generalmente efectos graves. Por otra parte, la pérdida o adición de un nucleótido en el ADN produce frecuentemente una secuencia alterada de forma significativa en la proteína especificada, especialmente cuando no son tripletes completos ya que modifica radicalmente la lectura de la secuencia restante y sus aminoácidos codificados. Estos cambios moleculares son un ejemplo, en el ámbito de la biología, del ya citado "efecto mariposa", propio de los sistemas físicos caóticos.

variedad de organismos ya extintos y de los hoy existentes (cf. Dawkins, 2004: 40-41; Ayala, 1994: 85-88; Crusafont & Meléndez & Aguirre, 1986: 377-378 y 394-400).

Puede cerrarse este apartado subrayando dos hechos muy relevantes para nuestra tesis. Por una parte, la importancia fundamental de estos mecanismos de variación genética que puede expresarse con palabras como estas de Ayala: «[...] si la herencia fuera un proceso completamente fidedigno, la evolución no podría suceder, porque no existiría la variación necesaria para que tenga lugar la selección natural» (1994: 77). O estas otras debidas a Dawkins: «[...] las moléculas de ADN son asombrosamente fieles comparadas con los procesos de copia efectuados por los humanos, considerando los de más alta fidelidad, pero aun ellas, ocasionalmente, cometen errores, y, en última instancia, son estos errores los que hacen posible la evolución» (2007: 21). Por otra parte, es fundamental aquí subrayar que todas estas variaciones del material hereditario en el nivel más radical y primario de los organismos vivos, el del ADN, tienen un origen puramente aleatorio, accidental⁷⁵ (cf. Ayala, 1994: 77-78; Crusafont & Meléndez & Aguirre, 1986: 378; Monod, 1981: 199).

En definitiva, según es ya conocimiento casi universal, queda constatada la actuación de procesos de *variancia no reglada* que se articulan, a través de la *selección natural*, con los procesos de *regularidad normativa* (vistos con anterioridad), verificando también en el ámbito de la biología la existencia de esos mecanismos de *plasticidad sistémica* que postulamos.

3.2 La variación por reproducción aleatoria ⁷⁶

No son las mutaciones las únicas vías de intervención del azar en la evolución orgánica ya que los procedimientos de reproducción introducen importantes variables aleatorias, esto es, no predeterminadas en absoluto.

Cada una de las especies biológicas eucariotas posee un número de cromosomas fijo que le es característico y, a los efectos de este apartado, es relevante hacer notar que, en las especies dotadas de reproducción sexual, hay dos fases esenciales del ciclo vital: la habitual, en la que el patrimonio de cromosomas está duplicado, de forma idéntica, en número, forma, dimensión y contenido genético (se denomina *diploide* y se simboliza como $2n$), y una segunda fase en la que se producen células germinales que solo tienen un juego de ellos (*haploide*, n).

⁷⁵ Debe puntualizarse aquí que, en la actualidad, es posible la modificación genética inducida de forma directa por las técnicas de manipulación genética. Con anterioridad, el ser humano ha conseguido alteraciones en las especies domésticas, en forma indirecta y macroscópica, mediante el cruce de individuos en los procesos de reproducción.

⁷⁶ Véase el Glosario para la definición de los términos técnicos empleados en el texto.

Aunque la definición de los fenómenos de sexualidad abarca algunos no vinculados a la reproducción⁷⁷, aquellos se relacionan generalmente de forma directa con esta en los organismos superiores, de cuya reproducción celular sexual es pertinente hacer una muy sucinta descripción por su importancia para este apartado. En estos casos, cada nuevo individuo (llamémosle C) se origina por la fusión de dos gametos –haploides, n-, dando origen a un individuo que tiene células diploides, 2n, el cual, si la fecundación es cruzada (esto es, con gametos procedentes de dos progenitores distintos, A y B), recibirá de estos la carga genética completa de ambos (A y B). Este nuevo individuo C (diploide, 2n), al elaborar sus gametos reproductores (haploides, n) pasa por un proceso de *meiosis*, de forma que cada uno de ellos recibe solo un juego completo de cromosomas que tiene la peculiaridad de no estar formado solo por cromosomas de uno de los progenitores (A o B), sino por algunos cromosomas completos de ambos junto con otros nuevos resultantes de la recombinación de fragmentos de los cromosomas restantes de A y B⁷⁸ (cf. Ayala, 1994: 96-99; Crusafont & Meléndez & Aguirre, 1986: 382-387). Se produce así una variación aleatoria del bagaje genético en este proceso.

Con frecuencia, la variabilidad debida a la reproducción sexual se ve potenciada con otros derivados de la movilidad geográfica de las poblaciones, entre los cuales basta hacer referencia a dos de ellos. Por una parte, la *migración genética*, esto es, la realizada por los gametos o semillas de los organismos cuando colonizan nuevas zonas y se cruzan con los individuos preexistentes en estas, dando lugar a un *flujo genético* que mezcla genes de poblaciones distintas. A este fenómeno, hay aún que añadir la *deriva genética*, que es un mecanismo puramente aleatorio por el cual se altera la frecuencia de un determinado gen entre las generaciones de una población, efecto que es mayor cuanto menor es el número de integrantes de la población (cf. Ayala, 1994: 99-102; Crusafont & Meléndez & Aguirre, 1986: 400-404).

La conclusión de este apartado refuerza nuevamente nuestra tesis ya que muestra que los mecanismos relacionados con la reproducción producen un efecto de *recombinación genética* regido por la intervención de dos tipos de procesos: por un lado, una recombinación debida al emparejamiento por azar puro entre progenitores y, por otro, un resultado reproductivo

⁷⁷ Así sucede, por ejemplo, con la *conjugación* que se da entre dos bacterias por la cual una de ellas introduce material genético en la otra, la cual ve modificada su carga genética y algunas de sus propiedades iniciales; es un proceso que se califica como sexual, aunque no da origen a un tercer individuo, es decir, no es un modo de reproducción. Se da también entre algunos organismos unicelulares eucariotas como los paramecios.

⁷⁸ En efecto, en la *meiosis*, los cromosomas homólogos del individuo C, procedentes de ambos progenitores (A y B), se aparean antes de volver a separarse para producir los gametos de C; al realizar este encuentro, muy frecuentemente se produce intercambio de genes entre los cromosomas homólogos, de forma que parte de los cromosomas de los gametos puede no coincidir con ninguno de los correspondientes de A o B: es el fenómeno de *recombinación genética*.

conducido por la aleatoriedad estadística en función del juego entre alelos *dominantes* y *recesivos*, según las leyes ya establecidas por Mendel ⁷⁹.

4. Síntesis

Aunque las mutaciones genéticas son frecuentemente más perjudiciales que beneficiosas (ya que son aleatorias y no armónicas con la adaptación del organismo a su entorno), son una fuente de innovaciones que eventualmente pueden mejorar la capacidad de adaptación de sus portadores a su medio ambiente, especialmente en los casos en que este ha sufrido cambios intensos o aquellos otros en que los organismos han colonizado nuevos territorios. En estos casos de éxito, la innovación se consolida en las generaciones sucesivas gracias al mecanismo de *selección natural*, conservándose mediante los procesos fuertemente reglados de la replicación genética y transmitiéndose a través de los mecanismos aleatorios de la reproducción.

La conclusión de este capítulo es que la indagación en el ámbito biológico también constata de forma rotunda la existencia de la íntima articulación entre unos robustos procesos de *regularidad normativa* y los de *variancia no reglada*, la que venimos denominando *plasticidad sistémica*, cuyo carácter como condición *sine qua non* para la existencia de la realidad biológica existente puede subrayarse con las palabras autoritativas de algunos de nuestros autores:

Es una notable combinación de estabilidad y cambio lo que hace que la herencia sea el vehículo de la evolución (Dobzhansky, 1957: 15).

Hemos visto que la estabilidad, es decir, la transmisión hereditaria de propiedades, es indispensable para que el proceso evolutivo de recopilación de información sea posible. Igualmente es evidente que la posibilidad de cambiar es necesaria para que haya evolución (Crusafont & Meléndez & Aguirre, 1986: 388).

Para la biología moderna, *la evolución no es de ningún modo una propiedad de los seres vivos*, ya que tiene su origen en las *imperfecciones mismas* del mecanismo conservador que constituye su único privilegio. Es preciso, pues, decir que la misma fuente de perturbaciones [...] es el origen de la evolución en la biosfera, y demuestra su total libertad creadora, gracias a este conservatorio del azar, sordo al ruido tanto como a la música: la estructura replicativa del ADN (Monod, 1981: 128).

Palabras estas últimas en que se hace referencia explícita a la vinculación existente entre esa *plasticidad* combinatoria de azar y necesidad con la libertad imprescindible para posibilitar la innovación biológica, lo cual entronca plenamente con nuestra tesis. En palabras de Crusafont & Meléndez & Aguirre:

[...] el éxito evolutivo no podía venir más que por el camino de [...] la improvisación de nuevas estructuras más eficientes, con tendencia a mayor eficacia, *a la vez que* a mayor libertad, lo cual no podía conseguirse más que orillando los peligros de una excesiva especialización y sujeción a unos nichos demasiado estrictos y exigentes en cuanto a la adaptación [...] (1986: 339).

Libertad que alcanza su clímax en el ser humano, al que se dedica el capítulo siguiente.

⁷⁹ Véase la diferenciación entre azar puro y aleatoriedad en la nota correspondiente en el apartado 2.3.

CAPÍTULO 3: ESTRUCTURAS NEURALES

“Con razón, para que no se extinga nuestro libre arbitrio, juzgo que es cierto que el azar es árbitro de la mitad de nuestras acciones, pero que *etiam* nos deja a nosotros el gobierno de la otra mitad, o casi”.

(Nicolás Maquiavelo, 1469-1527)⁸⁰

1. El azar, la necesidad y la libertad

En las palabras de Maquiavelo vuelve a aflorar una de las intensas controversias característica del pensamiento humanístico-renacentista: la oposición entre el azar y la libertad. Frente a quienes asignaban a la fortuna la causalidad ineludible en el desarrollo de los acontecimientos, Maquiavelo defendió que la peripecia humana depende de dos causas concurrentes, una externa y otra intrínseca: la ineludible de la fortuna azarosa por una parte, y la optativa de la libertad autónoma por otra. Adicionalmente, al debate filosófico se superponía el teológico, que trataba de articular la omnisciencia y omnipotencia divinas con la libertad humana.

Este debate se agudizó en los siglos siguientes, de lo cual es muestra -probablemente la más elocuente- la controversia sostenida entre Thomas Hobbes (1588-1679) y John Bramhall (1594-1663), en la cual terció posteriormente Gottfried W. Leibniz (1646-1716). No siendo posible aquí ni siquiera un esbozo del pensamiento de estos autores en torno al azar, la necesidad y la libertad⁸¹, baste anticipar esta referencia a Leibniz porque reaparecerá en el cuarto capítulo de este trabajo dado que fue quien acuñó el término *teodicea* para titular una de sus obras⁸², algunos de cuyos planteamientos en torno a la problemática de la libertad y la existencia del mal tienen una íntima relación con nuestra tesis.

En contraste con este escenario intelectual, la revolución científica de los siglos XVII y XVIII -ya tratada aquí- introdujo una perspectiva radicalmente distinta en relación con los principios rectores del funcionamiento del cosmos y del comportamiento humano: el *mecanicismo*, que oponía el *determinismo natural* al *libre arbitrio*, según ya se ha indicado en el capítulo primero de este trabajo. Herencia indirecta -más o menos confesa- del enfoque mecanicista es la postura defendida por una parte de los científicos del ámbito de las neurociencias para los cuales las

⁸⁰ Cf. Reale & Antiseri, 2010a: 112.

⁸¹ El Apéndice E del presente trabajo sintetiza las posturas defendidas por Hobbes y Bramhall, y expone con cierta amplitud la adoptada por Leibniz.

⁸² La obra es la titulada *Ensayos de Teodicea: sobre la bondad de Dios, la libertad del hombre y el origen del mal*.

estructuras físicas neurales (el encéfalo) constituyen un sistema que dicta de modo no solo limitante, sino radicalmente *determinista* las decisiones y conducta del individuo, con el consiguiente cuestionamiento de la libertad del ser humano. Es la comprensión que el neurocientífico Roger Wolcott Sperry, premio Nobel en 1981, ha descrito como «visión materialista “microdeterminista” de la naturaleza»; según esta, «todas las funciones mentales y cerebrales son determinadas, y asimismo explicadas, por medio de la fisiología cerebral y la correspondiente “actividad” neuronal» (cf. Jeeves & Brown, 2010: 77), lo cual cuestiona si el ser humano es realmente libre para pensar y actuar según su propia voluntad o si, por el contrario, sus pensamientos y conducta son solamente movimientos moleculares sin sentido (cf. Jeeves & Brown, 2010: 137)⁸³.

A diferencia de Maquiavelo, nuestra tesis no opone el azar a la libertad, sino que considera al primero como condición necesaria, *sine qua non*, para la posibilidad de que exista la libertad humana. Más aún, en contraste con la visión representada por Sperry, nuestra investigación busca también en las estructuras neurales la constatación de que existe en ellas la *plasticidad sistémica*, combinatoria de unos mecanismos físicos regidos por pautas absolutamente regladas, junto con otros, también físicos, que actúan sobre los primeros y que obedecen a la interacción con el entorno que el azar ha deparado a cada individuo. *Plasticidad sistémica neural* que proporcionaría al ser humano una real libertad de arbitrio personal y que completaría la verificación de nuestra tesis, a saber, la existencia de un principio subyacente a toda la realidad (inorgánica, biológica y antropológica) que articula la *regularidad normativa* con la *variancia no reglada* y que posibilita la innovación, según distintos tipos y *grados de libertad*, hasta alcanzar su nivel más amplio en el libre arbitrio humano. A la investigación de esa posible *plasticidad neural* se dedican, por tanto, los apartados siguientes.

2. Elementos de histología neural⁸⁴

Con el fin de detectar posibles indicios de procesos abiertos a una *variancia no reglada* (*azar*) y/o sujetos a rígidos *mecanismos deterministas*, nuestra indagación debe comenzar necesariamente por una reseña de algunas estructuras neurales y de su desarrollo funcional, remitiendo a un apéndice la descripción más detallada que aquí carece de espacio.

⁸³ En la Sociología se han adoptado posiciones similares tales como la de Edward O. Wilson, el cual formuló la teoría denominada *Sociobiología*, que relaciona toda conducta social con genes que la determinan; junto con Richard Dawkins, ha llegado a atribuir a los genes una “intencionalidad” que recuerda a la causa final aristotélica.

⁸⁴ Cf. Changeux, 1985: 57-83. El Apéndice F del presente trabajo recoge una descripción de la anatomía neural y su funcionalidad, precedida de una reseña acerca de la evolución histórica que ha seguido la comprensión de la función del encéfalo.

Un primer hecho relevante para nuestra tesis es que el plan de conjunto del encéfalo se ha conservado a lo largo de la evolución desde los peces hasta el ser humano, pasando por todas las sucesivas especies intermedias (anfibios, reptiles y mamíferos), de modo que la diferencia inter-específica se encuentra básicamente en el distinto desarrollo relativo, complejidad y relaciones mutuas de las distintas partes del encéfalo (cf. Changeux, 1985: 58). Así, en los peces, los hemisferios cerebrales son muy delgados y están especializados en la olfacción; este centro también aparece en los anfibios y reptiles pero ocupa solo la parte ventral de los hemisferios, reduciéndose aún más en los mamíferos y en el hombre. En los anfibios y reptiles se desarrollan los sentidos -sobre todo la visión- y aparece otro tipo de corteza en la región dorsal de los hemisferios que sirve para asociar modalidades sensoriales y funciones motrices; esta corteza está internalizada en el cerebro humano en forma de circunvolución en el hipocampo. Una tercera corteza, el denominado neocórtex, aparece primero en los reptiles evolucionados delante de las dos cortezas precedentes, engrosándose y asumiendo las funciones de “proyección” de los órganos de los sentidos y funciones de asociación. En el ser humano no se ve prácticamente nada más que el neocórtex⁸⁵ y su enorme desarrollo responde esencialmente a un singular aumento de superficie que se consigue por el plegado en circunvoluciones⁸⁶, de forma que dos terceras partes de esa superficie se extiende en profundidad en los surcos cerebrales.

La estructura del neocórtex tiene la propiedad de que el número de neuronas en cada “probeta” transversal” (perpendicular a la superficie del córtex) es de unas 146.000 unidades por mm² de superficie del córtex en todos los puntos (excepto en el área visual). Lo más sorprendente -y trascendente aquí- no es esa gran homogeneidad, sino el hecho inesperado de que este número es igual en todas las especies de mamíferos, sea en el ratón, en el gato o en el ser humano (cf. Changeux, 1985: 66). Por esto, la diferencia en el número total de neuronas entre especies de mamíferos no radica en la “densidad” de neuronas, sino solamente de la diferencia en la superficie del córtex, que es mucho mayor en el hombre, esto es, aproximadamente 2200 cm² frente a los 4-5 cm² de la rata.

Un tercer hecho de gran interés aquí es el relativo a las categorías de neuronas existentes: las hay de diversos tipos⁸⁷, pero el más numeroso en el neocórtex es el denominado “célula piramidal” por la forma de su soma, ya que tiene un vértice dirigido hacia la superficie externa del córtex y su dendrita “apical” prolonga el vértice del soma atravesando el espesor del córtex

⁸⁵ Véase un corte sagital del encéfalo humano en la figura nº 5 del Apéndice F.

⁸⁶ Las circunvoluciones cerebrales son casi inexistentes en los mamíferos primitivos, pero se desarrollan de forma creciente en los primates hasta alcanzar su máximo en el hombre.

⁸⁷ Véase la figura nº 4 del Apéndice F.

(perpendicularmente al plano superficial de aquél) antes de abrirse, en forma ramificada final, en la superficie del córtex. Además, posee múltiples dendritas “basilares” que parten de la base del soma, así como una multitud de apéndices llamadas “espinas” que recubren las dendritas⁸⁸. Por otra parte, el axón de la célula piramidal parte en sentido opuesto a la dendrita apical y se hunde en la profundidad del córtex, dando ramificaciones colaterales antes del salir de él y entrar en la sustancia blanca: estos axones son la única salida del córtex cerebral, es decir, las células piramidales son las que canalizan todas las órdenes que parten del córtex y desempeñan una función trascendental. Las células piramidales se conectan -entre sí o con las fibras nerviosas- mediante otro tipo de neuronas, las denominadas “células estrelladas”, que tienen arborización axonal interna al córtex y participan en la llamada organización “intrínseca” de él. En relación con esta categorización de las neuronas, lo más relevante para nuestra tesis es este hecho: en todos los estadios de la evolución, desde los mamíferos primitivos hasta llegar al hombre, se encuentran idénticas categorías de neuronas, es decir, no existe en el córtex ninguna tipología de células neurales propia y exclusiva del ser humano, el cual comparte idénticas categorías de células nerviosas con especies tales como la rata o el mono (cf. Changeux, 1985: 64).

Un cuarto aspecto de valor notable aquí se refiere a la estructura de las conexiones entre las neuronas. En la corteza cerebral del ser humano el número de sinapsis por mm^3 es del orden de 600×10^6 , lo que equivale a una cantidad total del orden 10^{14} - 10^{15} (entre cien y mil billones)⁸⁹ de ellas, con las que se crea una complejísima red de conexiones verticales hacia las capas superiores del córtex y también colaterales, que se complementa con otra red de conexiones similar para la salida de señales a través de los axones de las células piramidales hacia el córtex mismo, hacia el tálamo y también, a través de la médula espinal, hacia las neuronas motoras que rigen las contracciones musculares. Nuevamente hay que subrayar aquí que ningún tipo de circuito particular de conexión neuronal es propio y exclusivo del córtex cerebral humano: las “piezas” de este provienen de un fondo muy parecido, si no idéntico, al del ratón por ejemplo (cf. Changeux, 1985: 82).

A todo lo anterior, cabe añadir otro hecho evidenciado por la investigación en relación con los neurotransmisores que intervienen en la transferencia de señales a través de las redes neurales: muchos de ellos han sido identificados en el sistema nervioso de especies animales

⁸⁸ En el ser humano se cuentan unas 20.000 espinas por cada célula piramidal, aunque hay células piramidales gigantes (como las de Meynert) que alcanzan el número de 36.000 espinas en el macaco.

⁸⁹ Esta cantidad gigantesca es debida a que el cerebro tiene unos cien mil millones (10^{11}) de neuronas, con unas diez mil (10^4) conexiones sinápticas por cada neurona en promedio, lo que posibilita un número de conexiones de la red cerebral que se estima que puede superar la cantidad total de partículas cargadas positivamente -protones- en el Universo (Gerald Edelman). Esa cantidad es tal que se tardaría en contarlas entre 3.000 y 30.000 años al ritmo de 1.000 por segundo.

muy primitivas (como los gusanos anélidos) al igual que en todo el reino animal, en particular entre los vertebrados superiores (tales como la rata, el mono y el ser humano), pudiendo afirmarse, por tanto, que aparecen de forma “universal” en el nivel de las sinapsis químicas y no se conoce ningún neurotransmisor exclusivo de la especie humana. En conclusión, en el nivel fisiológico del sistema nervioso, nada distingue al ser humano de otros seres vivos ya que los mismos mecanismos de comunicación del sistema se encuentran en el hombre y en organismos muy simples (cf. Changeux, 1985: 110).

El resultado de los conocimientos actuales es la constatación de que ni en el nivel anatómico macroscópico ni en el de la arquitectura microscópica del córtex se aprecia una reorganización “cualitativa” que justifique el paso del cerebro animal al humano; lo que existe es una evolución “cuantitativa” del número total de neuronas, de la diversidad de áreas, de las posibilidades de conexión entre neuronas y de la complejidad de las redes de conexión entre ellas, que constituyen la máquina cerebral (cf. Changeux, 1985: 83).

En conclusión, los resultados de la investigación evidencian una continuidad de estructuras y procesos nerviosos a través de la cadena evolutiva que llega hasta el encéfalo humano desde formas animales muy simples, lo cual muestra la existencia de rígidos *mecanismos deterministas* inscritos en bases genéticas comunes.

3. Las redes y la comunicación neurales

Según ya se ha apuntado, el neocórtex permite la apertura al entorno físico y social, así como el análisis de una innumerable variedad de elementos de la realidad y de las relaciones entre ellos y de la realidad con el sujeto. Esa facultad ha posibilitado que, a lo largo de la evolución, el sujeto haya aprehendido paulatinamente aspectos crecientemente amplios del mundo y se haya enriquecido con un enorme bagaje de representaciones físicas, de “figurillas” y de “homúnculos” en su superficie. Pero el neocórtex no sólo actúa como instrumento de análisis; simultáneamente con esta función opera como motor de acción, incrementando la capacidad del sujeto para reaccionar ante el entorno y actuar sobre él no sólo de forma deliberada, sino también mediante mecanismos de comportamiento automáticos que, codificados en redes neurales concretas, han sido incorporados luego al soporte genético.

A ese respecto, los conocimientos actuales permiten asegurar que en el paso de la actividad nerviosa al acto de conducta existen dos componentes: a) una cierta red de conexiones entre células nerviosas que es estable en el tiempo y está dedicada selectivamente a la producción de una conducta concreta; b) un flujo de señales electroquímicas generadas y conducidas por esa red nerviosa. La primera codifica una topología “geométrica” de conexiones,

y el segundo regula la secuencia temporal del comportamiento asociado de forma que, una vez establecidos esos dos componentes, el comportamiento correspondiente está totalmente determinado por una red o grafo particular de neuronas y por los impulsos que circulan por él (cf. Changeux, 1985: 121-123).

De hecho, en la geografía del hipotálamo, se aprecian grupos de neuronas muy importantes -caracterizados por señales químicas diferentes para cada tipo de efecto corporal, función o comportamiento-, que se corresponden con actividades “vitales” (comer, beber, etc), de forma que los comportamientos más fundamentales de la subsistencia humana dependen solo del 1% del volumen total del encéfalo y obedecen al *determinismo* de la triple codificación eléctrica, química y conexional. No obstante, esos comportamientos no se manifiestan en cualquier momento y manera; las sensaciones no llevan a la acción inmediatamente, sino que crean un estado de motivación, pero su traducción en acción depende de otros aspectos⁹⁰ (cf. Changeux, 1985: 132).

Por otra parte, la experimentación en monos, junto con la observación de casos de patologías cerebrales en seres humanos, ha permitido comprobar que las intervenciones o afecciones a distintas zonas del encéfalo producen notables cambios en las emociones y la conducta del sujeto agente, lo cual demuestra la existencia de relaciones de *causalidad determinista* impresas en las estructuras neurales.

La conclusión de todo lo expuesto hasta aquí en este capítulo puede expresarse en palabras de Changeux así: «Este conjunto de observaciones y de reflexiones lleva no sólo a tener en cuenta los mecanismos internos del comportamiento, sino a adoptar, cara a ellos, un punto de vista determinista» (cf. 1985: 150). Por tanto, en lo que interesa a nuestra tesis, queda evidenciada también en el ámbito de las neurociencias la existencia de la *regularidad normativa*, elemento integrante esencial de la *plasticidad sistémica*. Resta la indagación acerca del segundo elemento del binomio, la *variancia no reglada*, a lo cual se dedican los apartados siguientes.

4. La *plasticidad cerebral*

Se ha expuesto ya que la observación microscópica del encéfalo muestra una gran homogeneidad y estabilidad de los principales rasgos anatómicos e histológicos dentro de cada especie, los cuales se transmiten entre generaciones de forma invariable, en principio, al igual

⁹⁰ Se han identificado en el hipotálamo “sinapsis del placer” que se activan con el neurotransmisor dopamina y que regulan la realización de comportamientos “vitales”, ya sea impulsándola o frenándola mediante el desarrollo de esos “estados de motivación”.

que sucede con otras características regladas por el genoma. Incluso se ha constatado ya la herencia genética de patrones de conducta automáticos⁹¹.

Por tanto, siendo rigurosamente cierta la causalidad genética, cabe preguntar si esta capacidad determinante alcanza a la totalidad de los detalles más relevantes de la organización, de la forma precisa de cada célula nerviosa, del número exacto y de la geometría de cada una de sus miríadas de sinapsis, o si, por el contrario, el código genético regula solamente las líneas maestras de la estructura cerebral al conformarse el embrión⁹². Se trata de indagar si un determinismo estrictamente genético explica íntegramente la complejidad de la organización del encéfalo humano o si interviene en esta algún tipo de mecanismo de *variación no reglada*, ya fuese del estilo de los que rigen en el proceso de la evolución biológica o de algún otro tipo. Y, en el caso de que la respuesta fuese afirmativa, cabe igualmente plantear la pregunta acerca de la persistencia de las variaciones mediante una subsiguiente transmisión genética o si, por el contrario, quedan sólo en el fenotipo y desaparecen al cambiar la generación.

Estas cuestiones recibieron una primera respuesta a partir de las investigaciones de Hickey y Guillery (1979), cuyos resultados permitieron afirmar que, en contra de lo que se creía con anterioridad, existen grandes variaciones en la anatomía cerebral entre individuos que padecen patologías no relacionadas con el sistema nervioso (cf. Changeux, 1985: 203)⁹³. Por tanto, el sistema nervioso no es ajeno a la posibilidad general de mutaciones genéticas; de hecho, se estima que, entre las detectadas y clasificadas en el ser humano, casi un 15% corresponden a

⁹¹ La estructura del ADN es el principal mecanismo de *regularidad normativa* en la transmisión de los caracteres intraespecíficos. Sin embargo, el análisis de la relación entre el contenido de ADN en las células y el grado de encefalización de distintas especies arroja resultados muy sorprendentes: el valor de ese parámetro en el núcleo celular es igual a 6×10^{-6} μg tanto en el ratón como en el ser humano, lo cual muestra la total falta de correlación entre ese contenido de ADN en el núcleo de las células de ambas especies y la complejidad de sus cerebros respectivos. Es decir, no hay correspondencia simple entre la organización del genoma y la estructura de las redes sinápticas del sistema nervioso central de cada especie. La explicación del mecanismo que logra desarrollar y reproducir en cada generación unos sistemas nerviosos centrales tan complejos como los de los vertebrados superiores a partir de un número relativamente pequeño de determinantes genéticos se encuentra en el proceso de desarrollo embrionario, durante el cual la apertura sucesiva de los genes crea una enorme diversidad de caminos posibles por bifurcación continua (de crecimiento exponencial) y posibilita la existencia de resultados tan dispares simultáneamente con la reproducción, invariable por el determinismo genético, de la organización funcional del sistema nervioso central (cf. Changeux, 1985: 218 y 237-239).

⁹² El desarrollo del encéfalo humano se prolonga muchos años después de su nacimiento y su peso aumenta casi cinco veces hasta la edad adulta; la gran mayoría de las sinapsis del córtex cerebral se forma después del nacimiento, lo cual permite una "impregnación" progresiva del tejido cerebral por el entorno físico, social y cultural. ¿Cómo se forma la huella cultural? ¿La imprime como un sello en la cera o, por el contrario, no hace más que estabilizar selectivamente combinaciones de neuronas y sinapsis a medida que éstas aparecen, espontáneamente y en oleadas sucesivas a lo largo del desarrollo?

⁹³ Un ejemplo, entre otros posibles, es el cambio producido en la interfaz de la retina con el córtex cerebral en los individuos albinos: es una mutación genética, transmisible hereditariamente, cuya causa es ajena al sistema nervioso. Es un caso de *pleiotropía*, esto es, de una mutación genética que puede producir variaciones de los caracteres propios de órganos muy diversos del individuo.

mutaciones que afectan al sistema nervioso central. Este hecho evidencia que también en el ámbito de las neurociencias existen mecanismos de *variación no reglada* que operan sobre el trasfondo de las *regularidades normativas*, es decir, se pone de manifiesto nuevamente esa combinación de procesos que denominamos *plasticidad sistémica*.

No obstante lo anterior, en la esfera de las neurociencias, algunas observaciones sencillas permiten dudar de que la mera expresión diferencial de los genes sea capaz de justificar la enorme diversidad de las singularidades neurales del ser humano y hacen intuir que cabe ir mucho más allá de la variabilidad debida a las mutaciones genéticas. En efecto, debe tenerse en cuenta que, en el ser humano, el desarrollo posnatal del encéfalo es especialmente prolongado: se incrementa el volumen craneal en 4,3 veces el del neonato, alcanzando el 70% del volumen adulto a la edad de tres años, entretanto que, en el chimpancé, el incremento es sólo de 1,6 veces, y en la rata de 5,9. Ese enorme crecimiento es debido al desarrollo de las redes de conexión entre neuronas y a la creación de la ingente cantidad de sus sinapsis (cf. Changeux, 2010: 220)⁹⁴. En relación con esto, la investigación ha demostrado que, en una especie genéticamente heterogénea como la humana, existe una variabilidad individual significativa de la masa e incluso de la histología del cerebro. Toda variabilidad individual debida a la heterogeneidad genética queda notablemente reducida, si no abolida por completo, cuando se comparan individuos que provienen de un mismo clon o de líneas consanguíneas. La variabilidad observable en la conectividad no se superpone necesariamente a la cantidad de neuronas y una varianza fenotípica de la conectividad puede existir incluso en organismos en que la cantidad de neuronas es fija; la organización funcional del sistema nervioso incluso en estos casos no es exactamente reproducible de un individuo isogénico a otro. En definitiva, esa varianza fenotípica de la conectividad se ha observado en todas partes en las que se ha buscado (cf. Changeux, 2010: 299-300; Changeux, 2001: 87 y 102).

Baste aquí una consideración adicional: después de haberse alcanzado el estado diferenciado de una neurona, ésta ya no sufre ningún proceso de división, lo cual significa que un mismo núcleo y su ADN permanecen idénticos desde los primeros años de vida del sujeto, sin que ello impida la constitución progresiva y el mantenimiento de un número de sinapsis que puede alcanzar el orden de las veinte mil por cada neurona; parece difícil concebir tan extrema diferenciación y especialización de las conexiones neurales mediante la expresión de los genes de un mismo núcleo celular. Para explicar este hecho Changeux ha postulado la existencia de un

⁹⁴ En el Apéndice F, apartado tercero, se detallan las fases de la sinaptogénesis.

proceso que no implica ninguna modificación genética, sino *epigenética*⁹⁵, es decir, que no opera en el nivel de las neuronas individuales, sino en el de sus redes; estas modificaciones no obedecerían a alteraciones del código genético expresado en cada neurona, sino a las producidas en las múltiples redes de conexiones que se establecen entre neuronas a lo largo del desarrollo del sujeto: es el mecanismo que Jean-Pierre Changeux ha expuesto en su teoría neural bajo la denominación *epigénesis por estabilización selectiva de sinapsis*⁹⁶.

Aunque no es posible aportar aquí la fundamentación experimental de este mecanismo epigenético⁹⁷, los resultados de las investigaciones realizadas sobre organismos genéticamente idénticos permiten afirmar que la evolución del sistema nervioso va acompañada de un aumento de *irreproductibilidad* entre individuos idénticos y que, por tanto, escapa al rígido *determinismo genético*. Este hallazgo demuestra que este determinismo tiene límites y que fija solo una cierta organización anatómica a partir de la cual tiene lugar una acción *epigenética* que introduce una *variabilidad no reglada*, que se desarrolla por la interacción con el entorno del individuo. Expresado con una rotunda expresión de Changeux: «Desde los mamíferos primitivos al hombre, la envoltura genética se abre a la variación individual» (cf. 1985: 247).

Por esta razón, Changeux ha acuñado el término *envoltura genética* para el conjunto de caracteres que, sometidos al estricto determinismo de los genes, permanecen invariables, en contraste con el conjunto de aquellos otros caracteres que están sujetos a una importante *variabilidad fenotípica*.

La constatación de la existencia de esta posibilidad de *variancia no reglada* en el desarrollo cerebral impulsó el estudio del mecanismo subyacente a ese tipo de modificaciones. El resultado de los análisis ha mostrado que la capacidad para producir las notables *variaciones fenotípicas* en la organización del cerebro adulto no se debe a un incremento en el número de neuronas⁹⁸, sino al modo en que se desarrolla la red de conexiones entre las neuronas, cuya posición ha quedado absolutamente fijada en una fase temprana de la vida del individuo. No se puede describir aquí el detalle del proceso que sigue la realización del “cableado” de las redes neurales, pero basta decir que intervienen varios mecanismos, uno de los cuales se debe a un orgánulo

⁹⁵ El término *epigénesis* y sus derivados son usados de forma creciente por los biólogos moleculares en el sentido de regulación de la expresión de los genes durante la embriogénesis, pero Changeux lo utiliza para referirse al mecanismo postnatal que realiza la estabilización de sinapsis por selección darwiniana (cf. Changeux, 2010: 391-392).

⁹⁶ El apartado noveno del Apéndice F hace una exposición general de la teoría de Changeux y sus bases.

⁹⁷ En el Apéndice F, apartado séptimo, se recogen los resultados de algunas investigaciones que fundamentan las conclusiones referidas en el texto.

⁹⁸ El número de neuronas queda fijado al concluir la expresión del ADN en la fase del desarrollo inicial del cerebro.

existente en el extremo axonal⁹⁹, el *cono de crecimiento*, que es responsable de trazar las trayectorias de ese cableado entre distintas neuronas.

Sin embargo, el comportamiento de los *conos de crecimiento* no basta para crear el abanico final de singularidades neuronales, cuya existencia requiere necesariamente de la acción epigenética (cf. Changeux, 1985: 252). Esta no debe comprenderse solo como un proceso de creación de redes neurales, sino también como un mecanismo de selección, refuerzo y reducción de conexiones redundantes, como quedó demostrado ya en 1975 por las investigaciones de Hamburger. Aunque pueda parecer sorprendente *a priori*, el desarrollo del sistema nervioso va acompañado de fenómenos no sólo de crecimiento, sino también de regresión, de muerte celular sistemática¹⁰⁰.

Para concluir este capítulo, probablemente no haya nada mejor que unas líneas de Changeux que sintetizan lo expuesto hasta aquí:

La conectividad cerebral no está distribuida al azar, sino que está organizada y depende, por una parte, de un plano de organización propia de la especie ampliamente sometida al poder de los genes y, por otra parte, de una *reserva de aleatoriedad* suficiente para garantizar, en el seno de la envoltura genética, flexibilidad epigenética y apertura a los mundos físico, social y cultural (cf. Changeux, 2010: 75-76).

[...] La plasticidad del desarrollo sináptico posnatal permite la transmisión del bagaje cultural de una generación a otra así como su evolución. = [...] = Conviene distinguir entre “envoltura genética”, característica de la especie humana y la “variabilidad epigenética”, ligada al desarrollo posnatal, excepcionalmente prolongado en el ser humano (cf. Changeux, 2010: 207-208).

[...] Uno de los rasgos comunes de las doctrinas evolucionistas es dar vía libre a la variabilidad, a lo aleatorio, lo cual en términos neuropsicológicos quiere decir imaginación, creatividad, innovación (Cf. Changeux, 2010: 64-65).

En conclusión, nuestra indagación ha permitido constatar, en el ámbito de las neurociencias también, la existencia de una especial *plasticidad sistémica* en el cerebro humano, en el que se articulan los procesos de *variancia no reglada* (la variación por mutación genética y la *epigénesis por estabilización selectiva*) con los mecanismos de *regularidad normativa* aportados por el soporte genético inicial¹⁰¹. En virtud de esta *plasticidad cerebral*, el ser humano ha alcanzado la capacidad de auto-determinarse individual y colectivamente respecto a los condicionamientos del entorno con grados de libertad de un orden muy superior a los encontrados en los restantes ámbitos de la realidad.

⁹⁹ Descubrimiento debido a Ramón y Cajal.

¹⁰⁰ Véase el apartado octavo del Apéndice F.

¹⁰¹ Changeux concibe que la articulación de esos dos tipos de mecanismos obedecen a procesos conocidos habitualmente por su denominación inglesa: *bottom-up* y *top-down* (cf. Changeux, 2010: 185-193). Véase también Dennett, 2004: 183-189.

CAPÍTULO 4: PLASTICIDAD SISTÉMICA Y TEODICEA. UN EJERCICIO DE NOMA

«NOMA promueve un diálogo fructífero entre ambos magisterios [ciencia y religión] con respeto e interés por el otro.» (Stephen Jay Gould (2000: 217)

1. *Plasticidad sistémica y libre albedrío*

«¿Existe alguna relación entre la indeterminación física que caracteriza el mundo atómico y el hecho biológico de la vida, o la libertad humana, o la acción de Dios en el mundo?», se pregunta el físico y teólogo Ian Barbour (2004: 311). Su respuesta personal sintoniza esencialmente con la *filosofía* y la *teología del proceso*¹⁰², dado que el aspecto que parece interesarle en mayor medida es el de la posible compatibilidad entre los *grados de libertad* presentes en los distintos ámbitos de la realidad (físico, biológico y humano) y la intervención de la divinidad en el devenir evolutivo de esta¹⁰³. No obstante, realiza una breve aproximación a la posible relación (observada desde un enfoque puramente inmanente) entre la libertad humana y el azar-indeterminación detectados en el mundo físico-biológico, relación que constituye el punto neurálgico de nuestra tesis.

En efecto, Barbour recoge algunas ideas del filósofo de la ciencia y teólogo Holmes Rolston cuya mención deja implícito un cierto grado de coincidencia, y lo hace reproduciendo unas líneas entre las que aquí interesa subrayar las siguientes:

La naturaleza con que nos encontramos no sólo está aleatoriamente indeterminada, sino que tiene suficiente plasticidad para permitir a un organismo desplegar su propio programa o a una mente realizar su voluntad. Como acertadamente observan los críticos de cualquier conclusión precipitada, de la indeterminación de la naturaleza no se desprende de manera directa función, propósito o libertad alguna. Sin embargo, es como si la física dejara espacio en la naturaleza para lo que quieran introducir la biología, la psicología, las ciencias sociales y la religión, para aquellos niveles emergentes de estructuras y experiencias que operan a pesar de las indeterminaciones cuánticas o incluso gracias a ellas (Barbour, 2004: 313)¹⁰⁴.

En sintonía con estas ideas, Barbour afirma que, por un lado, la teoría cuántica parece irrelevante para los fenómenos que ocurren en el nivel celular u otros superiores (en los que los millones de átomos tienden a cancelar mutuamente la indeterminación de sus fluctuaciones); sin embargo, por otro lado, en la termodinámica del no-equilibrio (recuérdense los *sistemas*

¹⁰² La *Filosofía del proceso* fue desarrollada por el matemático y filósofo Alfred North Whitehead, y sobre esa base se desarrolló una *Teología del proceso*, de la que son exponentes relevantes Charles Hartshorne y John Cobb.

¹⁰³ A esa posible compatibilidad dedica Barbour la totalidad del último capítulo, *Dios y la naturaleza* (2004: 499-540).

¹⁰⁴ Cita de Rolston, *Science and Religion: A Critical Survey*, New York, Random House, 1987, p.53.

dissipativos o los caóticos), los pequeños cambios aleatorios pueden ocasionar efectos de gran trascendencia. Más aún, añade que existen muchos sistemas biológicos en los que los sucesos microscópicos tienen consecuencias macroscópicas: «La mutación de un único componente de una secuencia genética puede cambiar la historia de la evolución. En el sistema nervioso y en el cerebro, un suceso microscópico puede motivar el disparo de una neurona, cuyos efectos serán amplificados por toda la red neuronal» (Barbour, 2004: 312).

Afirma Barbour que, en el ámbito de la física, no hay más alternativa a la causalidad determinista que el azar indeterminista, aunque simultáneamente reconoce que el libre albedrío humano no es identificable con la mera aleatoriedad. Y frente a la opinión de diversos físicos que encuentran en la indeterminación cuántica un espacio que posibilita una libertad que el determinismo newtoniano excluiría absolutamente, nuestro autor encuentra la razón de la impredecibilidad de las decisiones y conducta humanas en otro mecanismo: el que ordena los procesos en los sistemas complejos estructurados según niveles jerárquicos, en los que se da un juego entre los efectos *bottom-up* y los *top-down*, de forma que los sucesos de los estratos inferiores alimentan a los superiores y estos, a su vez, retroalimentan, controlan y modifican el funcionamiento de los niveles de base. Según este enfoque, la indeterminación cuántica no es una causa directa e inmediata de la libertad humana ya que ambas se desarrollan en niveles muy distintos de la complejidad del individuo; sin embargo, la multiplicidad de sucesos puntuales –aleatorios y no aleatorios- en cada uno de los niveles de esta estructura produce una gran pluralidad de posibilidades realizables, y estas alcanzan el nivel superior, el umbral de la consciencia personal, brindando una panoplia de opciones no predeterminadas y posibilitando la elección, esto es, la libertad de arbitrio humana¹⁰⁵.

En definitiva, unos y otros planteamientos coinciden en un punto fundamental para nuestra tesis: el azar y la aleatoriedad -la indeterminación, en suma- que operan en los diversos ámbitos de la realidad son una condiciones *sine qua non* para la existencia de una *variancia no reglada*, la cual es un factor imprescindible en la causación del único mundo que experimentamos: un mundo dotado de posibilidades alternativas en sus procesos y de innovación en sus resultados; características estas que, ascendiendo en los sucesivos niveles evolutivos, han culminado en la capacidad de creatividad y de libertad humanas. Todos los planteamientos coinciden también en que esta *variancia no reglada* debida al azar y la aleatoriedad no es condición suficiente para la existencia de un mundo dotado de las características que conocemos, sino que se requiere

¹⁰⁵ Daniel Dennett sostiene una posición similar aunque afirma que la libertad humana (cuya existencia diferencial defiende vigorosamente) puede surgir en un mundo plenamente determinista (Cf. Dennett, 2004: 24-28, 41-80, 113-119, 183-191). El Apéndice H de este trabajo recoge algunos extractos de su obra *La evolución de la libertad* junto a unos apuntes críticos al respecto.

como condición *sine qua non* adicional la existencia de leyes deterministas que aseguren una *regularidad normativa*, es decir, la estabilidad de las sucesivas estructuras y reordenaciones evolutivas (cf. Peacocke, 2004: 70-71).¹⁰⁶

Podemos ya concluir aquí con la fuerte convicción de haber alcanzado con nuestra investigación unos resultados que fundamentan con rigor y solidez las proposiciones de nuestra tesis. En primer lugar, se ha verificado la existencia subyacente a toda la realidad de diversos mecanismos en los que se combinan la *variación no reglada* y la *regularidad normativa*, es decir, la *plasticidad sistémica*, la cual ha sido un factor imprescindible en la conformación de un mundo susceptible de innovación y creatividad, de un mundo en el que han emergido la autoconsciencia y la autodeterminación hasta alcanzar la realización cimera del libre albedrío humano, el cual no habría surgido sin esa *plasticidad* que penetra transversalmente todos los sistemas del cosmos (cf. Polkinghorne, 2005: 40-41).

En segundo lugar, se ha verificado igualmente que la *plasticidad sistémica* conlleva inevitablemente la existencia de eventos imprevisibles que pueden romper las regularidades y los equilibrios existentes, dando lugar a alteraciones caóticas, eventualmente destructivas de estructuras precedentes, tanto físicas, como biológicas y humanas; destrucciones que pueden comportar fenómenos que el ser humano percibe y califica como catastróficos y como males físicos o naturales en la medida en que es damnificado por ellos.

Por tanto, la conclusión de la indagación científica realizada en este trabajo permite afirmar que los males naturales son un resultado concomitante e inevitable de la *plasticidad sistémica* y que, siendo ésta condición *sine qua non* para el libre albedrío, la existencia de este implica necesariamente la posibilidad simultánea de eventuales sucesos causantes de males físicos.

Llegados a este punto, es imprescindible subrayar que nuestra tesis no propone que la *plasticidad sistémica* sea un mecanismo teleológico, intencional o diseñado en modo alguno para conducir a la emergencia de la autoconsciencia y de la libre autodeterminación humanas. Desde la óptica científica, lo único que la tesis postula y la investigación científica permite sostener es que, entre los infinitos universos posibles o existentes, el que conocemos posee una característica *plástica* que ha posibilitado esos resultados presentes. Sin embargo, manteniendo estrictamente el criterio NOMA de Stephen Jay Gould, ello no obsta que la Teodicea –desde su óptica metafísica- pueda realizar una lectura teleológica de las conclusiones de la investigación y

¹⁰⁶ Incluso en la esfera humana, la libertad de arbitrio solo puede existir en un mundo dotado de leyes de regularidad fiables y racionales gracias a las cuales el individuo es capaz de predecir con seguridad los resultados de sus decisiones y elegir según estos. Otro tanto puede afirmarse de la necesidad de las leyes de regularidad para posibilitar el conocimiento y la ciencia (cf. Barbour, 2004: 495).

de la relación de causalidad existente entre la *plasticidad sistémica* y el libre albedrío, con la finalidad de dar respuesta a la problemática del sufrimiento derivado de mal físico o natural.

2. El sufrimiento y el mal del mundo

Parece consustancial con la humanidad la herida del *sufrimiento* -nunca definitivamente cicatrizada-, que alcanza su paroxismo en el enfrentamiento del ser humano con su propia naturaleza mortal, finita, ya que establece un límite radical a sus expectativas y anhelos. Herida que frecuentemente se percibe de forma muy agravada por la carencia de razones que expliquen la arbitraria e injusta distribución del sufrimiento, así como por las dimensiones exorbitantes que este alcanza en ocasiones.

La historia de las religiones muestra que, desde los tiempos de los que existe conocimiento al respecto, esas respuestas se han vinculado de alguna manera a la intervención (o pasividad) de los dioses en la escena humana. Sin embargo, no fue sólo una búsqueda inquieta del espíritu humano en el ámbito de su experiencia religiosa, sino una perplejidad con la que debía enfrentarse ineludiblemente la filosofía cuando, superada ya la etapa inicial de reflexión sobre la naturaleza, situó en el centro de ella la búsqueda de comprensión del hecho humano.

En efecto, ya el pensamiento griego se planteó la relación entre los dioses y el sufrimiento en el mundo; más aún, indagó la posible compatibilidad entre el dolor de la humanidad y la intervención en su historia de un dios providente y moralmente intachable. De ello es expresión proverbial la formulación de Epicuro según la cual, si existe una divinidad omnipotente, bondadosa e interesada en el ser humano, la presencia del sufrimiento solo puede explicarse por una de estas razones alternativas: esa divinidad quiere eliminarlo y no puede, o puede pero no quiere, o ni quiere ni puede. Cada una de estas posibilidades representaba una contradicción lógica respecto a uno u otro de los atributos fundamentales supuestos en la divinidad y, consecuentemente, supuso un cuestionamiento respecto a la existencia misma de un dios dotado de tales características¹⁰⁷.

No puede extrañar que la persistencia inextinguible del dolor y del enigma de su mal originario haya llevado a reformular la perplejidad humana ante ellos una y otra vez desde aquellos inicios de la filosofía, en un denodado intento de comprensión. De hecho, la reflexión filosófica no pudo desentenderse del sufrimiento ni siquiera cuando, abandonado el interés por las temáticas religiosas en la Modernidad, centró sus esfuerzos en lo estrictamente antropológico. Ni tampoco ha podido hacerlo en la contemporaneidad, en la que el trágico siglo XX ha vuelto a plantear al pensamiento el enigma del mal y sus exterminadoras consecuencias con una crudeza tan inusitada que, en opinión del filósofo Miguel García Baró, «el peor peligro para un filósofo de hoy me parece que consiste en la tentación de desconocer la verdadera cima de la problematización del mal, en especial de la perversidad o mal moral, pero también del dolor, es decir, del mal que la tradición llamaba mal físico» (2007: 9).

No es posible –ni necesario al objeto de este trabajo– exponer detalladamente aquí las diferentes respuestas al problema del mal y del sufrimiento intentadas a lo largo de la historia¹⁰⁸. Sin embargo, es pertinente aquí el hacer referencia a Gottfried W. Leibniz no solo por haber sido

¹⁰⁷ Esta problemática es ajena realmente al ateísmo y al escepticismo, los cuales encuentran en ese sistema de contradicciones una base firme para sus propias posiciones. Es el teísmo el que necesita enfrentarse con ella para encontrar respuestas razonables, lo cual se ha mostrado tan difícil que prestigiosos teólogos contemporáneos, tales como Hans Küng, lo consideran un enigma insoluble.

¹⁰⁸ El Apéndice G expone una síntesis de las reflexiones más relevantes acerca del problema del sufrimiento y del mal desde Epicuro hasta Leibniz. El pensamiento de este último es expuesto con mayor detalle dado su relevancia para la Teodicea.

el primero en adoptar el término *teodicea*¹⁰⁹, sino porque la razón que esgrime en defensa de la divinidad (es decir, la *teo – dicea*) ante la acusación de haber creado un mundo imperfecto y habitado por el mal es, en cierto modo, precedente de la tesis objeto de este trabajo. En efecto, ante la pregunta acerca de la razón que justifica que el mundo sea como es, defectuoso, Leibniz responde que, en el intelecto divino, los infinitos mundos posibles aspiraban a la existencia y Dios eligió el mejor de todos ellos¹¹⁰, el que maximizaba el bien y la perfección, esto es, el que tenía la variedad y el orden mayores, aunque estuviera inevitablemente habitado por el sufrimiento y diversos tipos de males (cf. Reale & Antiseri, 2010a: 404-405)¹¹¹. Esta afirmación de Leibniz coincide con nuestra tesis en un punto relevante: no es posible la existencia de este mundo sin pagar el precio de los males físicos intrínsecos a su constitución; sin embargo, ambas posiciones difieren profundamente en la causalidad de estos males, los cuales son sucesos inevitables debidos a la *plasticidad sistémica* intrínseca al universo físico, según nuestra propuesta, mientras que para Leibniz –al igual que para Agustín de Hipona- son una retribución divina por la utilización pecaminosa del libre albedrío humano (cf. Griffin, 2004: 135-140).

3. ¿El mejor de los mundos posibles?

Al igual que todas las anteriores propuestas –véase el apéndice G-, tampoco la respuesta de Leibniz resolvía satisfactoriamente el problema del sufrimiento y del mal ya que, en todo caso, era posible reprocharle a la divinidad el hecho creador mismo, dado que aun el mejor de los posibles había de albergar dolor y maldad inevitablemente. Ante la pregunta sobre la posibilidad de un mundo sin tacha alguna, obra irreprochable de su autor, los filósofos y los teólogos posteriores a Leibniz continuaron construyendo teodiceas que eran, en gran medida, meros refinamientos de las diversas posiciones básicas heredadas de siglos anteriores, a las que pocos argumentos realmente innovadores se añadían.

La historia del siglo XX reactivó las controversias sobre el problema objeto de la teodicea, en las que debatían no solo los defensores del ateísmo con los teólogos teístas, sino estos últimos entre sí también. Con una generalización simplificadora, puede afirmarse que la teodicea divide actualmente a los teólogos de mayor predicamento en tres posicionamientos principales. Uno de ellos considera completamente insatisfactoria no solo la respuesta de Leibniz al problema del sufrimiento y del mal en el mundo, sino todas las dadas por los grandes pensadores anteriores y posteriores que lo han intentado. Así, Hans Küng ha escrito: «No hay, a mi parecer, una respuesta teórica al problema de la teodicea» (2004: 92s), y también: «Sí, los ateos y los escépticos tienen razón: ninguno de los grandes genios de la humanidad –ni san Agustín ni santo Tomás, ni Calvino ni Leibniz ni Hegel- resolvieron el problema original» (2004: 95).

¹⁰⁹ Término empleado universalmente después de Leibniz para el estudio de la compatibilidad entre una divinidad creadora, omnipotente y benévola, y la existencia del mal y del sufrimiento.

¹¹⁰ Esta comprensión del mundo existente como el mejor de los infinitos posibles guarda una curiosa similitud con la teoría cosmológica que explica el *ajuste fino* del cosmos como uno de los infinitos posibles del *Multiverso*, aunque surgido aleatoriamente y no por creación divina.

¹¹¹ Retomando la taxonomía agustiniana del mal, Leibniz explica el origen del mal así: el metafísico es debido a la inevitable imperfección debida a la finitud de lo creado; el moral surge del pecado humano cuando elige renunciar a los fines a los que está destinado por Dios; finalmente, el mal físico corresponde es una retribución divina del pecado humano, y tiene también función ejemplarizante.

En contraste con esta posición, otros teólogos contemporáneos -no menos relevantes- han creído posible construir nuevas teodiceas para lo cual, asumiendo los conocimientos científicos disponibles actualmente, han reformulado profundamente algunas de las ideas más esenciales de las teologías tradicionales, sometiéndolas a análisis críticos rigurosos y a enfoques muy innovadores en relación con el ser y la acción divinos¹¹². En este último aspecto, la mayoría de las teodiceas más evolucionadas postulan una cierta limitación de Dios en sus atributos o en el ejercicio de sus potencias (autolimitación o *kenosis*) con el fin de compatibilizar la acción divina en el mundo con tres elementos irrenunciables de la actual comprensión de este: el desarrollo evolutivo y autónomo de los mecanismos del cosmos (regulares o azarosos) y de sus efectos eventualmente dañinos para los seres vivos; el surgimiento y pleno ejercicio del *libre albedrío* humano, y en tercer lugar, la posibilidad de un perfeccionamiento moral progresivo de la persona y de la colectividad humanas. (cf. Barbour, 2004: 495-496).

Entre las familias de nuevas teodiceas, merecen ser citadas en relación con nuestra tesis dos de ellas: la arraigada en la *teología del proceso*¹¹³, y la que se enraíza en un renovado *argumento del libre albedrío*. La teodicea construida sobre la *teología del proceso* acentúa especialmente el primero de los elementos citados, esto es, la autonomía del cosmos en su desarrollo, postulando que Dios se autolimita a la función inmanente de ofrecerle posibilidades plurales de avance y “persuadirle” acerca de las más ventajosas, sin interferir en el libre desenvolvimiento de los procesos naturales. En cuanto a la teodicea mencionada en segundo lugar (generalmente conocida por su denominación inglesa, la *free-will defense*)¹¹⁴, pone su acento esencialmente en el desarrollo del libre albedrío del ser humano, argumento que

¹¹² Aunque la actual pluralidad teológica no es objeto de nuestro trabajo, cabe hacer notar brevemente que, junto a la reedición modernizada de la concepción tradicional acerca de los atributos divinos y de su intervención en el mundo, hay otras variadas formulaciones; en lo referente a esa intervención divina, cabe señalar estas propuestas: a) un gobierno a través de los procesos cuánticos, concretando lo indeterminado (William G. Pollard, D. MacKay, Nancy Murphy, Robert Russell, George Ellis, Thomas Tracy); b) una dirección mediante la aportación de información en los sistemas caóticos (John Polkinghorne, Arthur Peacocke); c) ejercicio de un control autolimitado, que deja amplios márgenes de decisión a las criaturas, a cuyas decisiones y evolución se adapta (John Hick, W. H. Vanstone, Brian Hebblethwaite, Keith Ward, John Macquarrie, Paul Fiddes); d) una agencia cuya intencionalidad se ejecuta mediante las leyes naturales (A. White, John J. Compton, Gordon Kaufman, Maurice Wiles); e) dirección divina del cosmos al estilo como la mente rige el cuerpo (G. Jantzen); f) mediante una participación creativa y persuasiva, alentando a la comunidad cósmica a explorar nuevas posibilidades de una vida en común más rica (es la *teología del proceso* de Charles Hartshorne, John Cobb, David Ray Griffin) (cf. Barbour, 2004: 499-530).

¹¹³ A partir de la *teología del proceso*, de la que son exponentes relevantes Charles Hartshorne y John Cobb, David Ray Griffin especialmente ha desarrollado una *teodicea del proceso*.

¹¹⁴ La expresión *free will defense* fue acuñada por Anthony Flew (paladín del ateísmo durante gran parte de su vida), y fue luego adoptada por Alvin Plantinga al reelaborar una teodicea basada en el propósito divino de crear seres dotados de libre albedrío. Otros seguidores de la *free will defense* de Plantinga son Richard Swinburne, Clement Dore y Stephen T. Davis (cf. Kreiner, 2007: 264-265).

constituye la piedra angular para sustentar la existencia de nuestro mundo como el mejor posible¹¹⁵.

Ambas familias de teodiceas tienen una estrecha relación temática con este trabajo, cuya investigación sobre la *plasticidad sistémica* ha arrojado unas conclusiones que, en nuestra opinión, permitirían a esas teodiceas mostrar la compatibilidad de sus planteamientos con los datos científicos conocidos. Sin embargo, dada la brevedad del espacio aún disponible, solo cabe bosquejar la utilización que el *argumento del libre albedrío* podría hacer de nuestros resultados con el fin de dar respuesta satisfactoria –en nuestra opinión– a la objeción más contundente que se plantea contra su principal argumento apologético, esto es, la existencia de los males físicos (naturales) no sólo en la esfera humana, sino en la totalidad del mundo biológico.

4. El *argumento del libre albedrío* (*free-will defense*)

La construcción de esta familia de teodiceas se realiza sobre la base de una experiencia consistente en que los sucesos causantes de sufrimiento (físico o anímico) pueden promover finalmente resultados o valores positivos¹¹⁶: frecuentemente, un hecho que, considerado aisladamente, es (o parece, al menos) un mal carente de valor puede producir efectos tan valiosos y beneficiosos que la realidad resultante, considerada en su conjunto, sea mejor que la existente previamente a ese hecho indeseable. La *free-will defense* estima que este tipo de experiencias avalan la presunción de que el mal puede ser, de alguna manera, un medio necesario para obtener el bien, y que esa es la razón por la que la divinidad permite aquel¹¹⁷.

A partir de esta reflexión, la estructura del *argumento del libre albedrío* obedece al esquema siguiente: a) existen seres dotados de *libre albedrío*; b) es intrínsecamente más valiosa la existencia de seres que pueden elegir libremente lo moralmente correcto que la existencia de

¹¹⁵ Un pormenorizado estudio del *argumento del libre albedrío* se encuentra en Kreiner, 2007, al que dedica la mitad de la obra. En el cap. 9 (pp. 257-295) trata las premisas básicas, la estructura formal, el concepto de libre albedrío, la conexión de este con el sufrimiento, con el pecado original y con el crecimiento moral (*soul-making*, propuesto por John Hick). El cap. 10 (297-336) se dedica a las objeciones teológicas que se han hecho al libre albedrío como valor superior. El cap. 11 (337-390) trata las objeciones teológicas a esta teodicea desde el punto de vista de la omnisciencia y la omnipotencia divinas. El cap. 12 (391-480) se dedica al problema de los males naturales, que es el más agudo que enfrenta cualquier teodicea (muestra de ello es la extensión del capítulo dedicado a él por Kreiner), y que es precisamente el que ha dado origen a las preguntas que este trabajo trata de responder: ¿se ha producido el libre albedrío humano como resultado de una cadena de grados de libertad antecedente en el mundo físico y biológico? En su caso, ¿tiene esa cadena carácter de condición *sine qua non*?

¹¹⁶ Así, la existencia de enfermedades han conducido al magnífico desarrollo de las ciencias de la salud con todo su arsenal terapéutico; las catástrofes naturales dan ocasión a los valores morales de la compasión (padecimiento-con), la solidaridad, la generosidad y el sacrificio en favor de la víctima.

¹¹⁷ Esta argumentación se encuentra ya en Agustín de Hipona (*De civitate Dei*, XIV, 11), Tomás de Aquino (*Compendium theologiae*, cap. 142, y *Summa theologiae*, I, q. 48, a. 2, ad 3), y G. W. Leibniz (*Theodizee*, I, 10), citados en Kreiner, 2007: 258-262.

personas cuya conducta esté predeterminada; c) esta libertad de elección implica necesariamente la capacidad personal de elegir también lo moralmente incorrecto; d) la realización de esta posibilidad de optar por lo incorrecto depende solo de la decisión de cada sujeto libre; e) el logro de un valor positivo excepcionalmente importante, el libre albedrío, puede justificar que la divinidad asuma los riesgos derivados de su uso incorrecto, esto es, del mal y del sufrimiento (cf. Kreiner, 2007, 259-265).

En síntesis, los puntos “b” y “c” significan que la relación entre el bien buscado y el proceso que permite realizarlo tiene carácter lógico-necesario¹¹⁸ y no solo causal, con lo cual se salvaguarda la compatibilidad con la omnipotencia divina; los puntos “d” y “e” significan que la acción divina posibilita y/o permite el mal y el sufrimiento en el mundo que ha creado porque son necesarios para lograr ese objetivo superior¹¹⁹. Este planteamiento representa, además de un acento sobre los posibles y paradójicos efectos positivos del mal, un giro radical en la razón que mueve la acción divina: no es el cumplimiento de su justicia retributiva ante el pecado humano, sino su voluntad bondadosa que busca crear algo valioso en sí mismo, esto es, un ser con libre albedrío.

Es cierto que el *argumento del libre albedrío* puede explicar -si acaso- la existencia de los males morales y los sufrimientos resultantes de ellos, pero deja irresuelto el problema de la existencia de los males físicos o naturales. Por esta razón, teólogos como John Hick han complementado el objetivo de la libertad con otros valores tales como el crecimiento moral, el desarrollo de la solidaridad, el avance del conocimiento científico u otros ya mencionados, con lo cual creen haber dado claves decisivas para la justificación del problema del mal en sus diversas vertientes. Sin embargo, ninguna de estas teodiceas ha sido capaz de solventar una grave objeción, tan acertada como difícil de contestar: ¿por qué los males físicos o naturales se presentan como necesarios e ineludibles para el desarrollo de la libertad, de la moralidad o de la ciencia humanas? En efecto, habrían bastado las consecuencias físicas de los males morales o las derivadas de la fragilidad humana ante hechos accidentales cotidianos para propiciar, sin el concurso de los males naturales, idénticos resultados y valores humanos en su grado máximo.

En conclusión, la práctica totalidad de las teodiceas contemporáneas que tienen como piedra angular el *argumento del libre albedrío* adolecen de un frágil “talón de Aquiles”: la

¹¹⁸ El proceso es condición *sine qua non* para la realización del objetivo, o según ya enunció Lactancio «lo uno no puede subsistir sin lo otro» (*De ira Dei*, 15). Esto significa que se trata de un objetivo que no puede lograrse por una acción directa de la omnipotencia divina debido a que existe incompatibilidad lógica insalvable entre la realización del objetivo y la omisión del proceso natural que lo produce.

¹¹⁹ Este punto “e” diferencia radicalmente esta teodicea de aquellas otras que explican el mal y el sufrimiento como pena o castigo divino por el pecado humano (ya sea el “original” o el personal) cometido al realizar un uso de su libre albedrío contrario a las normas divinas.

justificación de los males físico-naturales, cuya existencia parece negar la existencia divina o, al menos, su omnipotencia. Ante esta difícil objeción, y dado que el origen de los males naturales no puede atribuirse a la acción humana generalmente¹²⁰, nuestra opinión es que las teodiceas basadas en la *free-will defense* deben ser ampliadas y complementadas mediante nuevos argumentos que, respondiendo a esa pregunta, sean compatibles con el actual conocimiento científico¹²¹.

5. *Free-will defense* y plasticidad sistémica

La teodicea que colocó más abiertamente el problema del mal físico en el centro de su reflexión fue la desarrollada por Leibniz (cf. Kreiner, 2007: 393), el cual estableció que Dios había creado el mejor de los mundos posibles, según ya se ha expuesto¹²². Notables pensadores criticaron duramente esta afirmación: ya lo hizo Voltaire y, en el pasado siglo, Whitehead entre otros. La razón obvia es que parece fácil imaginar mundos mejores que el existente en relación con la cantidad de sufrimiento y, supuesto que fuere así, es inevitable preguntar por qué Dios dio el ser al existente. En particular, una vez que se adopta el *argumento del libre albedrío*, la cuestión a responder es si no habría sido posible para la omnipotencia divina el crear un mundo en el que hubiera seres libres pero con menor cantidad de males y de sufrimiento, cuestión sobre la que se han multiplicado los debates en la literatura teológica¹²³.

Sin embargo, la mayor agudización de la problemática de los males y sufrimiento físicos se produjo realmente, al margen de los debates filosófico-teológicos, desde que la ciencia empezó a descubrir las leyes deterministas que, rigiendo el funcionamiento del cosmos, producen frecuentemente sucesos extraordinariamente “destructivos” por el mero automatismo de los mecanismos naturales inherentes a esas leyes, cuya última autoría es divina según la teología.

Parece evidente que la problemática de los males físico-naturales quedaría superada al margen de la teología misma si pudiese establecerse que la existencia de seres dotados de autoconsciencia y de libre albedrío sólo ha sido viable como resultado de procesos evolutivos (físicos y biológicos) que, necesariamente, requieren unos grados de libertad progresivos en sus

¹²⁰ Debe hacerse notar que Alvin Platinga afirma que los males naturales son debidos al abuso del libre albedrío por otros seres caídos (Satanás y similares). Al margen de esta muy cuestionable postura teológica, cabe ciertamente asignar muchos efectos ecológicos nocivos a la acción de una colectividad humana que supera los siete mil millones de personas, pero ello no permite atribuir al ser humano más que una parte de los males naturales, y ello fundamentalmente en la época contemporánea.

¹²¹ Serían incompatibles, por ejemplo, el origen evolutivo del ser humano y la doctrina del pecado original con el que se justificaban los dolores del parto de la mujer y la fatiga del trabajo del hombre.

¹²² El Apéndice G de este trabajo resume los planteamientos esenciales de la Leibniz al respecto.

¹²³ Así, pueden ser imaginados mundos en los que, por ejemplo, no hubiese sensaciones dolorosas, ni enfermedades, ni depredación entre los seres vivos, ni terremotos, etc. El ya citado capítulo 11 de Kreiner, 2007 (337-390) trata detalladamente este debate teológico.

propias estructuras y que, consecuentemente, pueden originar sucesos naturales autónomos potencialmente destructivos para los seres vivos.

Y es en este punto donde las conclusiones de nuestra indagación son susceptibles de una lectura relevante para la teodicea porque evidencian dos hechos: por una parte, la existencia de una *plasticidad sistémica* subyacente a todos los ámbitos de la realidad (física, biológica y neural). Por otra, muestran que esa *plasticidad* ha sido condición *sine qua non* para la final emergencia del libre albedrío y de la moralidad humanos, ya que la libertad de decisión y acción exige la capacidad de innovar, es decir, la posibilidad de situarse al margen de las leyes deterministas (*variancia no reglada*), entretanto que la decisión moral requiere la existencia de certeza en los efectos de las acciones (*regularidad normativa*).

En suma, la teodicea del *libre albedrío* podría realizar una lectura de nuestras conclusiones favorable a sus planteamientos teológicos, según el siguiente esquema argumental:

- a) El proyecto divino del universo fijó como objetivo supremo la emergencia final de seres capaces de autoconciencia, de autodeterminación y de responsabilidad moral
- b) La autodeterminación proscribía las soluciones de mundos rígidamente deterministas y requirió, como condición *sine qua non*, que la estructura funcional del universo concatenase sistemas con grados de libertad crecientes que posibilitasen la innovación y la creatividad en todos sus ámbitos (físico, biológico y antropológico)
- c) Por otra parte, la responsabilidad moral establecía como condición necesaria una regularidad en los mecanismos causa-efecto que permitiese al sujeto moral prever el resultado más probable de sus acciones
- d) En consecuencia, el cosmos hubo de ser dotado de *plasticidad sistémica*, esto es, de la capacidad para articular una *variancia no reglada* (azar) con la *regularidad normativa* (necesidad)
- e) La consecuencia de la *plasticidad sistémica* fue la existencia ineludible de sucesos naturales eventualmente dañinos para la vida -los denominados males físico-naturales-, cuya posibilidad es el resultado inevitable de la lógica misma de los procesos que habían de culminar con el logro de la autodeterminación y moralidad humanas
- f) En la medida en que el plan creador se orientó teleológicamente a estos valores, adoptados como objetivo y bien supremos, ese plan hubo de asumir el riesgo insoslayable de los males físico-naturales.

En suma, la teodicea del *libre arbitrio* humano encontraría en el diálogo con la ciencia actual, según nuestra tesis, una respuesta plausible a la grave objeción planteada por la existencia de los males físico-naturales al poder justificarla como resultado ineluctable de las estructuras lógico-físicas conducentes a la autodeterminación y moralidad humanas.

CAPÍTULO 5: CONCLUSIONES

El presente trabajo se enmarca en la propuesta de Stephen Jay Gould referente a un diálogo (que denomina NOMA), mutuamente interesado y respetuoso, entre los *magisterios* de la ciencia y la religión (teología), los cuales poseen campos de reflexión e instrumentos de investigación que, aun no superponiéndose, se interfieren recíprocamente en sus conclusiones.

En particular, este trabajo ha tratado de explorar la posible contribución positiva, aunque indirecta, de la investigación científica a la teodicea de los males físico-naturales, para lo cual se planteó dos preguntas fundamentales: ¿se ha producido el libre albedrío humano como resultado evolutivo de unos sistemas físicos y biológicos antecedentes, dotados de grados de libertad crecientes? En su caso, ¿tiene esa propiedad sistémica carácter de condición *sine qua non*?

Consecuentemente, la indagación realizada ha tratado de descubrir las posibles *estructuras de libertad* (en terminología de Gisbert Greshake) existentes en los diversos ámbitos de la realidad (tanto en el físico-cosmológico, como en el biológico y en el específicamente humano), con el fin de dirimir si el origen del libre albedrío de la persona extralimita su propia realidad mental, enraizándose y dependiendo de mecanismos previos y necesarios en los otros ámbitos.

Nuestra investigación ha permitido responder las cuestiones planteadas y proponer las siguientes conclusiones:

- a) En el ámbito de la física, la conjunción de mecanismos no deterministas y de mecanismos de regularidad estricta proporciona a la realidad física la capacidad de seguir procesos de cambio regidos por el azar o la aleatoriedad que hemos llamado *variancia no reglada*, sobre cuyos efectos operan posteriormente las leyes deterministas: este mecanismo es al que hemos denominado *plasticidad sistémica*, que posibilita simultáneamente la innovación y el establecimiento de nuevos equilibrios ordenados¹²⁴.
- b) La *plasticidad sistémica* permea igualmente todas las esferas del cosmos desde su origen mismo, y ha posibilitado luego los procesos evolutivos de innovación y creación de las diferentes especies biológicas.
- c) El desarrollo de la capacidad innovadora y creativa ha producido paulatinamente grados crecientes de autonomía en los seres vivos, hasta alcanzar en el ser humano el *libre albedrío*, esto es, la capacidad de auto-determinarse individual y colectivamente respecto a los condicionamientos del entorno con grados de libertad de un orden muy

¹²⁴ Este mecanismo parece que puede esquematizarse mediante la secuencia siguiente: Patrones regidos por leyes deterministas (equilibrios precedentes) → Variancia no reglada (ruptura de equilibrios previos por azar, aleatoriedad, indeterminación, etc) → Selección (por límites, eficiencia, etc) → Nuevos patrones regidos por leyes deterministas.

superior a los encontrados en los restantes ámbitos de la realidad; capacidad esta que no habría surgido sin esa *plasticidad sistémica* que penetra transversalmente todos los sistemas de la realidad.

- d) Simultáneamente, se ha constatado también que la *plasticidad sistémica* conlleva inevitablemente la existencia de eventos imprevisibles que pueden comportar efectos que el ser humano percibe como catastróficos y que, en la medida en que es damnificado por ellos, califica como males físicos o naturales.
- e) Por tanto, siendo la *plasticidad sistémica* una condición *sine qua non* para el logro del libre albedrío, la existencia de este implica necesariamente la posibilidad simultánea de eventuales sucesos causantes de males físicos.
- f) Establecido el *argumento del libre albedrío* como piedra angular en la mayoría de la teodiceas contemporáneas, las conclusiones precedentes les permiten hallar una justificación no teológica de los males físico-naturales (dado que la existencia de estos es condición concomitante y necesaria de aquella libertad humana), superando así la grave objeción que esos males oponen a la existencia divina o a los atributos que las teologías tradicionales le reconocen.

Antes de finalizar este trabajo, es imprescindible subrayar que las áreas científicas examinadas en él se sitúan en las fronteras vanguardistas de la investigación tanto en física y cosmología, como en biología y neurociencias, razón por la que estas conclusiones poseen un carácter provisional, tal vez más acentuado que el propio que la ciencia contemporánea reconoce a todas sus teorías y conclusiones. Por tanto, aunque los planteamientos actuales mayormente aceptados parecen avalar nuestras conclusiones más que las contrarias, habrá que seguir con mucha atención los continuos avances de la investigación científica para contrastarlas y, eventualmente, complementarlas o modificarlas en lo necesario. En particular, será de gran interés atender a la investigación actual en torno a los posibles desarrollos de las teorías de la *Gran unificación (GUT)*, de la *Supersimetría o Supergravedad*, y de las *Supercuerdas o teoría del todo (TOE)*, las cuales podrían alumbrar principios subyacentes en la profundidad de la realidad que permitiesen comprender también la *plasticidad sistémica* como uno de los principios que estructuran unificada y universalmente todos los sistemas físico-cosmológicos, biológicos y antropológicos.

Ese ya será un objetivo para desarrollos ulteriores, más allá de este trabajo final de máster.

Madrid, julio de 2017

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AYALA, F.J. (1994). *La teoría de la evolución. De Darwin a los últimos avances de la genética*. Madrid: Ediciones Temas de Hoy.
- (2007) *Darwin y el Diseño Inteligente*. Madrid: Alianza Editorial.
- BARBOUR, I.G. (2004). *Religión y ciencia*. Madrid: Ed. Trotta.
- BARROW, J.D.; TIPLER, F. J. (1996). *The Anthropic Cosmological Principle*. Oxford: Oxford University Press. First published 1986.
- CANTERA BURGOS, F.; IGLESIAS GONZÁLEZ, M (ed.). (2000). *Sagrada Biblia: Versión crítica sobre los textos hebreo, arameo y griego (3ª ed.)*. Madrid: Biblioteca de Autores Cristianos.
- CHANGEUX, J.P. (1985). *El hombre neuronal*. Madrid: Espasa Calpe.
- (2010) *Sobre lo verdadero, lo bello y el bien. Un nuevo enfoque neuronal*. Buenos Aires: Katz Ed.
- CHANGEUX, J.P.; RICOEUR, P. (2001). *La naturaleza y la norma: lo que nos hace pensar*. México: Fondo de Cultura Económica.
- CONWAY MORRIS, S. (2003). *Life's Solution*. Cambridge: Cambridge University Press.
- CRUSAFONT, M.; MELÉNDEZ, B.; AGUIRRE, E. (1986). *La Evolución*. Madrid: BAC.
- DARWIN, C. (1983). *El origen de las especies*. Barcelona: Ed. Bruguera.
- DAVIES, P. (1986). *Dios y la nueva física*. Barcelona: Salvat.
- (1993) *La mente de Dios: la base científica para un mundo racional*. Madrid: McGraw Hill.
- (2000) *El quinto milagro: En busca de los orígenes de la vida*. Barcelona: Ed. Crítica.
- DAWKINS, R. (2007). *El gen egoísta: las bases biológicas de nuestra conducta*. Barcelona: Salvat.
- DENNETT, D.C. (2004). *La evolución de la libertad*. Barcelona: Paidós.
- DÍEZ de VELASCO, F. (2009). «La enseñanza de las religiones (en plural) en la escuela en España: Historia, problemas y perspectivas». *Revista Studi e Materiali di Storia delle Religioni*. Roma: Sapienza, Università di Roma, 75/2, 497-534.
- DOBZHANSKY, T. (1957). *Las bases biológicas de la libertad humana*. Buenos Aires: El Ateneo.
- FLEW, A. (2013). *Dios existe*. Madrid: Ed. Trotta.
- GARCÍA BARÓ, M. (2007). *La compasión y la catástrofe*. Salamanca: Ed. Sígueme.

- GOULD, S.J. (2000). *Ciencia versus religión: un falso conflicto*. Barcelona: Ed. Crítica.
- GRESHAKE, G. (2008). *¿Por qué el Dios de amor permite que suframos?* Salamanca: Ed. Sígueme.
- GRIFFIN, D. R. (2004). *God, Power & Evil*. Louisville, London: Westminster John Knox Press. Originally published 1976.
- HAUGHT, J.F. (2012). *Dios y el nuevo ateísmo: una respuesta crítica a Dawkins, Harris y Hitchens*. Santander: Sal Terrae.
- HAWKING, S.W. (2003). *Historia del tiempo: del big bang a los agujeros negro*. Madrid: Alianza Ed.
- IJJAS, A. (2013). «Quantum aspects of life: Relating Evolutionary Biology with Theology Via Modern Physics». *Zygon Journal*. Malden-USA: Wiley-Blackwell Publishing, vol. 48, nº 1, 60-76.
- JEEVES, M.; BROWN, W.S. (2010). *Neurociencia, psicología y religión*. Estella: Ed Verbo Divino.
- KREINER, A. (2007). *Dios en el sufrimiento*. Barcelona: Herder Ed.
- KÜNG, H. (2004). *Credo: el símbolo de los Apóstoles explicado al hombre de nuestro tiempo*. Madrid, Ed. Trotta.
- (2007). *El principio de todas las cosas: ciencia y religión*. Madrid: Ed. Trotta.
- LEIBNIZ, G.W. (1990). *Escritos en torno a la libertad, el azar y el destino*. Madrid: Ed. Tecnos.
- MAYNARD SMITH, J. (1972). *Teoría de la evolución*. Madrid: Ed. Istmo.
- McGRATH, A.E. (2009). *A Fine-Tuned Universe. The Quest for God in Science and Theology*. Kentucky: Westminster John Knox Press.
- MILLER, K.R. (2007). *Finding Darwin's God. A Scientist's Search for Common Ground between God and Evolution*. New York: Harper-Perennial. First published 1999.
- MONOD, J. (1981). *El azar y la necesidad*. Barcelona: Tusquets Editores.
- PEACOCKE, A. (2004). *Creation and the World of Science: the Re-shaping of Belief*. Oxford: Oxford University Press. First published 1979.
- POLKINGHORNE, J. (2000). *Ciencia y teología: una introducción*. Santander: Ed. Sal Terrae.
- (2005) *Quarks, Chaos and Christianity*. London: SPCK. First published 1994.
- (2006) *Science and Creation: The Search for Understanding*. USA: Templeton Foundation Press. Originally published 1988.
- REALE, G.; ANTISERI, D. (2008). *Historia del pensamiento filosófico y científico. I Antigüedad y Edad Media*. Trad.: J.A. Iglesias. Barcelona: Herder Editorial.

– (2010a). *Historia del pensamiento filosófico y científico. II Del Humanismo a Kant*. Trad.: J.A. Iglesias. Barcelona: Herder Editorial.

– (2010b). *Historia del pensamiento filosófico y científico. III Del Romanticismo hasta hoy*. Trad.: J.A. Iglesias. Barcelona: Herder Editorial.

REES, M. (2000). *Just six Numbers: The Deep Forces that Shape the Universe*.

SOLER, M. (2002). *Evolución. La base de la Biología*. Granada: Proyecto Sur de Ediciones, D.L.

UDÍAS VALLINA, A. (2012). *Ciencia y religión: Dos visiones del mundo*. Santander: Sal Terrae.

WEINBERG, S. (2006). *Los tres primeros minutos del universo*. Madrid: Alianza.

OTRA BIBLIOGRAFÍA

Debate Ciencia-Religión

BARBOUR, I.G. (1971). *Problemas de religión y ciencia*. Santander: Sal Terrae.

BROOKE, J.H. (2016). *Ciencia y religión, perspectiva histórica*. Madrid: Ed. Sal Terrae.

CHUVIECO, E.; ALEXANDER, D. (2012). *Ciencia y religión en el siglo XXI*. Madrid: Ed. Centro de Formación Fundación Ramón Areces.

DAWKINS, R. (2007). *El espejismo de Dios*. Madrid: Espasa-Calpe.

EINSTEIN, A. (2011). *Mis ideas y opiniones*. Barcelona: Antoni Bosch.

GELL-MANN, M. (1995) *El quark y el jaguar. Aventuras en lo simple y lo complejo*. Barcelona: Tusquets.

HAUGHT, J.F. (2006). *Is Nature Enough? Meaning and Truth in the Age of Science*. Cambridge: Cambridge University Press.

– (2008). *God after Darwin: A Theology of Evolution*. Boulder, Colorado: Westview.

HELLER, M. (1996). *The New Physics and a New Theology*. Città del Vaticano: Vatican Observatory Publications.

PEACOCKE, A. (2008). *Los caminos de la ciencia hacia Dios*. Santander: Sal terrae. (Original inglés, 1993, *Theology for a Scientific Age*. Minneapolis: Fortress Press.

POLKINGHORNE, J. (1987a). *One World: The Interaction of Science and Theology*. Princeton: Princeton University Press.

– (1987b) *The Quantum World*. (Middlesex, England: Penguin Books

– (1998) *Belief in God in an Age of Science*. New Haven: Yale University Press.

– (2000) *Faith, Science and Understanding*. New Haven: Yale University Press.

NEWSOME, B. (2014). *La fe a examen*. Madrid: Fliedner Ediciones.

Cosmología

DAVIES, P. (1986). *Otros mundos y el universo cuántico*. Barcelona: Salvat.

REES, M. (1999). *Antes del principio. El cosmos y otros universos* Barcelona: Tusquets.

TREFIL, J. (1986). *El momento de la creación*. Barcelona: Salvat.

WEINBERG, S. (2001). *El sueño de una teoría final: la búsqueda de las leyes fundamentales de la naturaleza*. Barcelona: Crítica.

Evolución, Creacionismo y Diseño Inteligente

AYALA, F.J. (1980). *Origen y evolución del hombre*. Madrid: Alianza Editorial.

DEMBSKI, W. (2006). *Diseño Inteligente*. Madrid: Homo Legens.

DOBZHANSKY, T. (1982). *Genetics and the Origin of Species*. New York: Columbia University Press (First published 1937).

GOULD, S.J. (2004). *La estructura de la teoría de la evolución: El gran debate de las ciencias de la vida*. Barcelona: Tusquets.

HOUSE, H. Wayne (ed.) (2008). *Intelligent Design 101*. Grand Rapids: Kregel Publications.

JOHNSON, P. (2007). *Juicio a Darwin*. Madrid: Homo Legens.

LÉOURIER, C. (1970). *El origen de la vida*. Madrid: Ed. Istmo.

RUSE, M. (1982). *Darwinism Defended: A Guide to the Evolution Controversies*. Reading: Addison- Wesley.

RUSE, M. (2003). *Darwin and Design: Does Evolution Have a Purpose?* Cambridge: Harvard University Press.

RUSSELL, R.J.; STOEGER, W.R. y AYALA, F.J. (1998). *Evolutionary and Molecular Biology, Scientific Perspectives on Divine Action*. Città del Vaticano: Vatican Observatory.

STERENLY, K. (2001). *Dawkins vs Gould*. Cambridge: Icon Books.

Neurociencia

HAMER, D. (2006). *El gen de Dios*. Madrid: La Esfera de los Libros.

Filosofía e Historia

GRONDIN, J. (2010). *La filosofía de la religión*. Barcelona: Herder Editorial.

KUHN, T. (2000). *La estructura de las revoluciones científicas*. Madrid: FCE.

LOSEE, J. (1981). *Introducción histórica a la filosofía de la ciencia*. Madrid: Alianza.

PANNENBERG, W. (1981). *Teoría de la ciencia y la teología*. Madrid: Cristiandad.

Teodicea-Libertad

GRIFFIN, D. R. (1991). *Evil Revisited*. Albany: State University of New York Press.

LEIBNIZ, G.W. (2013) *Ensayos de Teodicea: sobre la bondad de Dios, la libertad del hombre y el origen del mal*. Salamanca: Ed. Sígueme.

SAN MARTIN, J.; SÁNCHEZ, J.J. (2013) *Pensando la religión*. Madrid: Ed. Trotta.

TORRES QUEIRUGA, A. (2011) *Repensar el mal*. Madrid: Ed. Trotta.

Los nuevos ateísmos

DAWKINS, R. (2013). *Un universo de la nada: ¿Por qué hay algo en vez de nada?* Barcelona: Ediciones de pasado & presente.

– (2015). *El relojero ciego*. Barcelona: Tusquets Ed.

DENNETT, D.C. (1995). *La conciencia explicada: una teoría interdisciplinar*. Barcelona: Paidós.

– (1999). *La peligrosa idea de Darwin. Evolución y significación de la vida*. Barcelona: Galaxia Gutemberg.

– (2000). *La libertad de acción: un análisis de la exigencia de libre albedrío*. Barcelona: Gerdisa

– (2007). *Romper el hechizo: la religión como un fenómeno natural*. Madrid: Katz.

HARRIS, S. (2007a) *El fin de la fe: la religión, el terror y el futuro de la razón*. Madrid: Ed. Paradigma.

– (2007b). *Carta a una nación cristiana*. Madrid: Ed. Paradigma.

– (2015). *Waking Up: A Guide to Spirituality without Religion*. United Kingdom: Transworld Publishers Ltd.

– *Atheist Manifesto*. http://www.thuthdig.com/di/item/200512_an_atheist_manifesto

HITCHENS, C. 2008). *Dios no es bueno*. Barcelona: Ed. Debate.

STENGER, V.J. (2008) *¿Existe Dios? El gran enigma: el gran enfrentamiento entre ciencia y creencia, entre fe y razón*. Teiá: Ma Non Troppo. (Original, 2007. *God: The Failed Hypothesis: How Science Shows That God Does Not Exist* (Amherst NY: Prometheus Books).

ANEJOS INFORMATIVOS: GLOSARIO Y RECENSIONES

ANEJOS: GLOSARIO

Alelo: Cada una de las formas alternativas que puede tener un gen (por ejemplo, las distintas coloraciones de ojos). Los alelos pueden transformarse unos en otros por mutación y ocupan la misma posición relativa (*locus*) en cromosomas homólogos, que se emparejan durante la meiosis.

Axón: Prolongación filiforme única de la célula nerviosa, por la que esta transmite impulsos nerviosos hasta una o varias células nerviosas, musculares, glandulares, etc.; acaba en una arborización de terminaciones nerviosas que contribuyen a la formación de sinapsis.

Barión: Clase de partículas subatómicas capaces de la interacción fuerte; incluye a los neutrones, a los protones y a los hiperones (hadrones inestables). El número bariónico es el número total de bariones presentes en un sistema menos el número total de antibariones.

Cantidad de movimiento: concepto usado en la Mecánica física para definir una magnitud que se calcula como producto de la masa por la velocidad de un objeto material.

Células de Purkinje: También llamadas neuronas de Purkinje, son una clase de neuronas localizada en la corteza del encéfalo y en el miocardio. Estas células son algunas de las más grandes neuronas encontradas en el cerebro humano y poseen árboles dendríticos muy ramificados.

Ciencias cognitivas: Alianza reciente entre fisiología, biología molecular, psicología y ciencias del hombre, que permite el desarrollo de interacciones constructivas entre la psicología experimental, la antropología y las ciencias sociales.

Codón: Grupo de tres nucleótidos consecutivos del ADN que especifican un aminoácido dado o la terminación de una proteína. Se denomina *codón de puntuación* al que indica el comienzo o terminación del "significado" de una secuencia de nucleótidos o tripletes.

Cromosoma: Estructura filiforme presente en el núcleo de las células, en la que los genes integrantes se distribuyen en una ordenación lineal. El ADN propio se distribuye en un número de cromosomas característico de cada especie; los cromosomas de las células se presentan en pares *homólogos* (excepto en los gametos, que son haploides), uno procedente del "padre" y otro de la "madre".

Curare: Veneno extraído de varias especies de plantas, utilizado por diversas tribus sudamericanas para impregnar sus flechas y que tiene la propiedad de paralizar las placas motoras de los nervios de los músculos.

Delección: Mutación genética que produce la pérdida de algún fragmento de los cromosomas.

Dendritas: Prolongaciones múltiples y ramificadas de la célula nerviosa, mediante las que estas reciben numerosos contactos sinápticos con terminaciones axonales, recogen las señales y las transmiten al cuerpo de la neurona o soma .

Diploide: Que posee dos juegos de cromosomas homólogos en el núcleo.

Dominante: Se dice del alelo (o rasgo correspondiente) que se expresa en todos los heterocigotos.

Encéfalo: Conjunto de órganos que forman parte del sistema nervioso de los vertebrados y están contenidos en la cavidad interna del cráneo.

Epigenético: Mecanismo en el que intervienen factores que no son determinados por el la herencia genética, sino por el ambiente celular, y que interviene en la regulación heredable de la expresión génica sin cambio en la secuencia de los nucleótidos.

Eucariota: Célula que tiene un verdadero núcleo, en el que se alojan los cromosomas.

Fenotipo: Manifestación variable del genotipo de un organismo individual en un determinado ambiente.

Filo: Categoría taxonómica fundamental de la clasificación biológica, que agrupa a los organismos de ascendencia común y que responden a un mismo modelo de organización.

Filogénesis: Origen y desarrollo de las especies.

Frenología: Antigua doctrina psicológica según la cual las facultades psíquicas están localizadas en zonas precisas del cerebro y en correspondencia con relieves del cráneo. El examen de estos permitiría reconocer el carácter y aptitudes de la persona.

Gameto: Célula reproductora (germinal o sexual) cuyo núcleo se fusiona con otro gameto en el acto de la fertilización dando lugar a una célula (zigoto) que desarrollará un nuevo individuo. Lleva en su núcleo un solo juego de cromosomas y genes.

Gen: Fragmento de ADN que codifica la producción de una proteína o, en general, determina un rasgo particular y específico de los organismos vivos. Un gen suele estar integrado por varios cientos de nucleótidos, agrupados en tripletes (codones). El término fue acuñado por Wilhelm Johannsen en 1909, pero no logró su uso generalizado hasta el desciframiento del ADN en la década de 1950.

Genotipo: Conjunto de los genes de un individuo, de acuerdo con su composición alélica.

Glia: Conjunto de células distintas de las nerviosas, que tienen la función de sostenimiento y alimentación de éstas.

Grafo: Representación matemática gráfica que se utiliza para describir de modo riguroso la geometría de una red de conexiones entre los elementos que intervienen en un proceso.

Haploide: Que posee un solo juego de cromosomas (no emparejados) en el núcleo; es una cualidad característica de los gametos.

Interacción débil: Es una de las cuatro clases de interacción entre las partículas subatómicas elementales; es mucho más débil que la electromagnética, pero mucho más fuerte que a

gravitatoria. Esta interacción son las causantes de que la desintegración de partículas como el neutrón y el muón sean relativamente lentas.

Interacción fuerte: Es la más intensa de las cuatro clases generales de interacción entre las partículas elementales; son las que mantienen integrados a los protones y los neutrones en los núcleos atómicos. Esta interacción afecta solo a los hadrones, no a los leptones ni a los fotones.

Hadrón: toda partícula que interviene en la interacción fuerte; se clasifican en bariones (como el protón y el neutrón), que obedecen al principio de exclusión de Pauli, y mesones, que no responden a ese principio.

Heterocigoto: Individuo que contiene dos alelos diferentes en una posición (*locus*) dada del ADN.

Hipocampo: Circunvolución situada en la región antero-media del lóbulo temporal, que resulta de la internalización, en los mamíferos, de un córtex arcaico desarrollado en los reptiles y los mamíferos primitivos. No consta de seis capas como el neocórtex.

Hipotálamo: Conjunto de veintidós pequeños núcleos situados en el cerebro anterior, debajo de los núcleos del tálamo, que desempeñan una función esencial en las actividades vitales de alimentación, bebida, comportamiento sexual, sueño, termorregulación, emociones, regulación hormonal, movimiento y otros.

Histología: Parte de la anatomía que trata del estudio de los tejidos orgánicos.

Isogénico: Calificación de individuos que poseen el mismo genotipo, como sucede con los gemelos procedentes de un mismo óvulo fecundado.

Leptón: Clase de partículas subatómicas que no responden a las interacciones fuertes; incluye el electrón, el muón y el neutrino.

Meiosis: Serie especial de dos divisiones sucesivas durante las cuales los cromosomas sólo se duplican una vez (en una de ellas), de modo que el número de cromosomas que aparece en cada una de las cuatro células hijas es la mitad del de la célula germinal. En los organismos de reproducción sexual, la meiosis es necesaria para que los gametos sean haploides y se compense la duplicación cromosómica debida a la fertilización.

Mesón: Es un tipo de partícula subatómica capaz de interacciones fuertes y que tienen un número bariónico igual a cero.

Mielina: Sustancia lipídica que forma una vaina circundante de ciertas fibras nerviosas.

Momento: También denominado *cantidad de movimiento*, es una magnitud vectorial que resulta de multiplicar la masa de un móvil por su velocidad.

Muón: Partícula elemental inestable de carga negativa, similar al electrón pero 207 veces más pesado; en ocasiones, se les denominan *mesones μ* , pero no tienen las interacciones fuertes propias de los verdaderos *mesones*.

Neocórtex: Capa de sustancia gris que constituye la más externa de los hemisferios cerebrales y se desarrolla de forma muy notable en los mamíferos.

Nanómetro: Milésima parte de una micra; en notación decimal equivale a 10^{-9} metros.

Neural: Relativo al sistema nervioso y a las neuronas.

Neurotransmisor: Sustancia química que interviene en la transmisión de la señal nerviosa en el nivel de la sinapsis. Existen varias decenas de neurotransmisores en el cerebro.

Ontogénesis: Desarrollo embrionario.

Pauli (principio de exclusión de): Afirma que dos partículas del mismo tipo no pueden ocupar exactamente el mismo estado cuántico. Este principio es obedecido por los bariones y los leptones, pero no por los fotones ni los mesones.

Pleiotropía: Multiplicidad de efectos derivados de una misma mutación. Con cierta frecuencia, las mutaciones que afectan al sistema nervioso son pleiotrópicas.

Receptor: Término con dos usos diferentes; por una parte, se aplica a las células sensibles de los órganos de los sentidos (tales como los conos y bastoncillos de la retina ocular); por otro lado, se aplica a las moléculas que tienen la propiedad de reconocer a los neurotransmisores o a las hormonas.

Recesivo: Alelo que no se expresa en los heterocigotos.

Represor: Proteína alostérica que regula la expresión de los genes de estructura en la formación de una proteína.

Sinapsis: Punto en que una neurona se relaciona con otra o con otras categorías de células (musculares, glandulares). En ese punto, las membranas celulares de la terminación axónica y de la superficie inervada se yuxtaponen sin fusionarse. Existen sinapsis eléctricas (en las que las señales de la neurona se transmiten directamente de forma eléctrica) y las químicas (que utilizan un neurotransmisor para salvar el espacio intercelular).

Sistema límbico: Conjunto de estructuras primitivas esenciales en el control de las emociones y comportamientos afectivos, que está integrado por elementos tales como el hipocampo, el septum, la amígdala, los bulbos olfativos, entre otros.

Soma: Cuerpo celular de la neurona, que contiene núcleo, citoplasma, mitocondrias y diversos aparatos de biosíntesis.

Traslocación: Mutación genética que produce el traslado de algún fragmento de un cromosoma a otro.

Velocidad areolar: superficie de la elipse orbital de un planeta barrida en la unidad de tiempo por la recta que le une con el foco solar.

Zigoto o cigoto: Célula diploide formada por la unión de dos gametos, a partir de la cual se desarrolla un nuevo individuo.

APÉNDICE A ¹²⁵

Relaciones entre ciencia, filosofía y religión

1. Síntesis histórica.

En Grecia, se distinguía entre “opinión” (*doxa*) y “ciencia” (*episteme*). Los análisis aristotélicos (s. IV a.C.) permanecieron vigentes hasta el s. XVII y aún algunos son válidos hoy; para él, el conocimiento científico tiene dos movimientos: inductivo y deductivo; de los casos particulares se asciende a los principios primeros, y de éstos se desciende a los casos particulares, que quedan entonces explicados. En toda ciencia hay que admitir unos primeros principios que se postulan y de los que se derivan todas las demostraciones siguientes. La ciencia se define por sus causas: material, formal, eficiente y final, cuyo conocimiento para un objeto dado proporciona la comprensión adecuada de éste. Los atomistas sólo aceptaban la causa material y la eficiente. Al incluir las cuatro causas, se separaba la física (en la que el objeto esencial es el cambio) de las matemáticas (en las que sólo hay causas formales. Para Aristóteles era posible la adecuación entre el conocimiento y la realidad, entendimiento y cosas: las leyes científicas eran para él verdades necesarias que reflejan las relaciones causales de la naturaleza.

Alternativamente a Aristóteles, hubo otra perspectiva que veía en la armonía matemática la esencia de las cosas; ya se encuentra en Pitágoras (s. VI a.C.) y fue recogida por Platón (s. V-IV a.C.), maestro de Aristóteles. Para Platón, la ciencia es contemplación de las ideas o formas puras, de las que el mundo sensible es sólo un reflejo; al mundo de las ideas pertenecen las relaciones matemáticas (que no precisan soporte sensible) y que son necesariamente verdaderas, y se descubren a través del mundo sensible cuya naturaleza última configuran.

Eudoxo de Gnido y Heráclides de Ponto hicieron los primeros modelos geométricos del movimiento astral. Estas ideas favorecieron la aplicación de las matemáticas a la astronomía, la mecánica y la óptica (Hiparco, Arquímedes, Euclides y Ptolomeo).

El neoplatonismo del Renacimiento influyó positivamente en el surgimiento de la ciencia moderna ya que toda la física matemática sigue teniendo un cierto trasfondo platónico-pitagórico.

¹²⁵ Este Apéndice integra principalmente extractos de las obras de Barbour (2004), Barrow – Tipler (1996), Gould (2000), Küng (2007), Polkinghorne (2000), Reale - Antiseri (2008), Reale - Antiseri (2010a) y Udías Vallina (2012), reseñadas en la relación de Referencias Bibliográficas.

La denominada *revolución científica* de la Modernidad se desarrolló a lo largo de siglo y medio, cuyos límites cronológicos suelen establecerse entre 1543 (año en el que se publica *De revolutionibus*, de Nicolás Copérnico) y 1687 (cuando ve la luz la obra de Isaac Newton *Philosophiae naturalis principia mathematica*). Entre estas dos figuras, que delimitan esa etapa de la historia del conocimiento, se enmarca la actividad de otras de merecido renombre como son Tycho Brahe (1546-1601), Francis Bacon (1561-1626), Galileo Galilei (1564-1642), Johannes Kepler (1571-1630), Thomas Hobbes (1588-1679), René Descartes (1596-1650), Baruch Spinoza (1632-1677), así como buena parte de la labor de John Locke (1632-1704) y Gottfried Wilhelm Leibniz (1646-1716).

Francis Bacon, representante del empirismo de la escuela inglesa, en su *Novum Organum* expuso la teoría del método científico que debía sustituir al aristotélico; mantuvo el esquema básico inductivo-deductivo, con el acento en lo primero a partir de los datos de la observación, de los cuales se deben buscar correlaciones con un grado creciente de generalización hasta proponer leyes. Insistió en separar la ciencia de la teología, siendo de los primeros en formular la doctrina de los dos libros: el de la naturaleza y el de la Revelación recogida en las Escrituras Sagradas del judaísmo y del cristianismo.

La revolución científica derribó los pilares de la cosmología aristotélica y ptolemaica y, mucho más allá de esto, alumbró una nueva concepción acerca de la ciencia y su relación con la filosofía o con la fe religiosa, acerca del científico y sus métodos de investigación y, en definitiva, sobre el mundo y el ser humano mismo, el cual fue expulsado de su anterior centralidad en el universo, paralelamente al desalojo que sufrió la Tierra de su posición axial respecto al giro del resto de astros. Aunque no es éste el lugar adecuado para profundizar en cada una de las transformaciones citadas anteriormente, es necesario apuntar algunos hechos relevantes: el primero es el cambio que se produjo en la comprensión de lo que es la ciencia, la cual dejó de ser intuición y tarea individual de un científico, o comentario de un filósofo, y se transformó en una indagación sobre la naturaleza, la cual se había de realizar, a partir de Galileo especialmente, de forma absolutamente metódica. Con esto, la ciencia logró alcanzar paulatinamente una amplia autonomía respecto a la filosofía y la teología, así como un acelerado avance -nunca antes conocido- al amparo de lo empírico (experimentos programados) y de las deducciones lógicas derivadas del análisis sistemático de sus resultados. Thomas Hobbes había ya divisado con claridad – al igual que Descartes- que una época de la filosofía acababa, cerrando la puerta al pensamiento antiguo y al medieval; afirmó la vaciedad e inconsistencia de

la filosofía griega, y denunció la fatal mixtura entre la filosofía platónico-aristotélica y la teología bíblica.

Por otra parte, la observación empírica -asumida como fase imprescindible del método científico- requería de una comprobación del resultado de los ensayos, lo cual condujo a la invención y construcción de diversos instrumentos de observación y medición, conectando así la actividad científica con la técnica, los planteamientos teóricos con los prácticos, en notable contraste con su anterior divorcio en la época medieval. En correspondencia con este hecho transcendental, necesariamente el sujeto de la investigación –el científico- hubo de adquirir un perfil crecientemente alejado de las características del humanista, del filósofo, del teólogo, del artista renacentista y del artesano, entre otros personajes anteriormente intervinientes en la especulación sobre la naturaleza.

Tal vez, el paradigma del nuevo científico sea Galileo, el cual fue el inventor del antejo, instrumento que potenció de modo inimaginable la capacidad de observación astronómica, cuyo uso hubo de vencer grandes oposiciones de diverso origen. Por una parte, los teólogos lo proscribían porque Dios había dotado al ser humano –afirmaban- de la agudeza visual suficiente para ver el mundo sin necesidad de perfeccionamiento alguno; por otra parte, había quienes afirmaban que las imágenes del antejo eran distorsiones falaces de la realidad, y no faltaban los que despojaban a aquel instrumento de valor científico porque menospreciaban las artes mecánicas. Las observaciones que Galileo realizó con su antejo le afirmaron crecientemente en el copernicanismo en que militaba, lo cual le condujo a enfrentarse frontalmente al prejuicio filosófico de la física aristotélica por un lado, y a la interpretación literal que los teólogos realizaban de algunos pasajes de la Biblia. A la primera de esas controversias dedica Galileo especialmente un diálogo sobre los dos máximos sistemas del mundo –el ptolemaico y el copernicano-; en ese diálogo, el debate se centraba realmente en una confrontación entre el método experimental y el recurso a los argumentos de autoridad. En cuanto a la controversia entre ciencia y teología, Galileo defendía la autonomía respecto a esta última y a las Sagradas Escrituras de los conocimientos sobre la naturaleza adquiridos mediante el método científico experimental (basado en «experiencias sensatas y demostraciones necesarias y ciertas»), para lo cual esgrimía una afirmación del cardenal Baronio según la cual «la intención del Espíritu Santo –en las Escrituras Sagradas del cristianismo- consiste en enseñarnos cómo se va al cielo y no cómo va el cielo». En una carta de Galileo a Benedetto Castelli se afirma que las Escrituras

ocupan el último lugar en las cosas naturales y que, en éstas, es superior la argumentación matemático-filosófica.

Sería ocioso aquí, por muy conocido, reseñar siquiera la historia de oposición hostil –y violenta en ocasiones–, que padeció Galileo, lo cual hace comprensible el temor confesado por él en una carta dirigida a Kepler en 1597, en la que decía: «no me he atrevido a publicar nada, atemorizado por lo que sucedió a Copérnico, nuestro maestro». Es precisamente esa atmósfera inquisitorial y coactiva a la que se refiere Descartes en su carta al padre Mersenne (1633) con estas palabras: «trágica situación en la que muchos llegaron a encontrarse y a la que muchísimos se adaptaron», silenciando sus hallazgos y posiciones científicas.

Los descubrimientos de Copérnico, Galileo y Kepler condujeron a una nueva filosofía que iba a sustituir al escolasticismo aristotélico: de la nueva ciencia toma el racionalismo (que refleja el aspecto deductivo de la matematización de los fenómenos de la naturaleza, como indica la sentencia de Galileo: «el libro de la naturaleza está escrito en el lenguaje de las matemáticas»), y el empirismo (que refleja la base de observaciones y experimentos a los que hace referencia). Descartes representa el racionalismo; para él, todas las propiedades de los cuerpos materiales podrían ser deducidas matemáticamente y comprobadas luego empíricamente, para lo cual había unificado el álgebra y la geometría en una “mathesis universalis”; las demostraciones matemáticas cumplen perfectamente los criterios de las ideas claras y distintas que preconizaba como condición de verdad: todos los fenómenos físicos se reducían a interacciones mecánicas (choques) de materia en movimiento, expresables de forma matemática.

Figura clave fue Newton que desarrolló una filosofía de la ciencia analizando la formalización matemática y las bases empíricas: propone una combinación entre el método de análisis y el método de síntesis (por inducción, se procede de las observaciones y experimentos a los principios generales y de los principios al contraste con las observaciones y explicación de los fenómenos particulares).

David Hume (1711-1776) desarrolló el empirismo de Bacon y deslindó los enunciados matemáticos (cuyo carácter es necesario) de los contingentes de la ciencia empírica; negó la existencia de ideas innatas (defendidas por Descartes) y afirmó los datos sensoriales como única fuente de conocimiento en cuestiones de hecho (Aristóteles ya lo había dicho: nada hay en el intelecto que antes no haya estado en los sentidos); negó la validez de la metafísica, así como la

idea misma de causalidad: sólo creía poder aspirar a un conocimiento con un nivel alto de probabilidad y no a un conocimiento necesario.

Immanuel Kant (1724-1804) fue muy influido por Newton y reaccionó contra las conclusiones negativas de Hume: distinguió entre la “cosa en sí” y la cosa conocida o “fenómeno”, entre las cuales situó la estructura *a priori* del sujeto que conoce.

El positivismo surgió con Augusto Comte (1798-1857) en su *Curso de filosofía positiva* (1830-1842), en el que propone tres etapas en la historia del conocimiento humano: 1) explicación teológica (acción divina); 2) metafísica o filosófica (basada en principios abstractos); 3) las relaciones positivas entre fenómenos. Las ciencias consideradas positivas se ordenaban, teniendo las matemáticas como fundamento, en este orden: física, química, biología, psicología y sociología. Entre 1820 y 1836 desarrolla el denominado por el “Círculo de Viena” como “positivismo lógico”, con el que se relacionó también Bertrand Russell (1872-1970) y Ludwig Wittgenstein (1889-1951). La preocupación profunda era el problema del análisis lógico del lenguaje científico y la clarificación del sentido de sus afirmaciones y conceptos básicos: éste era el cometido principal de la filosofía para ellos, apartado del idealismo y del existencialismo. Para ellos, el único criterio del sentido de cualquier afirmación o expresión es su verificación por la experiencia; por tanto, carecen de sentido las afirmaciones de la metafísica y de la religión. Las proposiciones de la lógica y la matemática sólo tienen consistencia formal y no encierran ningún contenido empírico.

Kurt Gödel (1906-1978) demostró que todo sistema formal libre de contradicciones no puede ser en sí mismo completo y en él se da necesariamente al menos un principio que dentro del sistema no puede ser ni demostrado ni refutado.

Karl Popper (1902-1994) partía del positivismo pero lo sometió a una crítica profunda: demostró que el criterio de verificabilidad en la experiencia es en realidad imposible de realizar, que la inducción completa no es posible y que las leyes se inducen directamente de las observaciones: de hecho: la verificación se utiliza para comprobar una ley general y no para inducirla. Popper rebaja el criterio de demarcación desde la verificación a la falsación: basta una sola situación contraria para que la hipótesis sea falsa. Por ello, propuso que para que un enunciado sea científico es necesario que pueda demostrarse, mediante recurso a la experiencia, que puede ser falso (“criterio de demarcación”); esto se ha mostrado que no siempre funciona y Popper matizó posteriormente el criterio de forma que los enunciados científicos deben estar abiertos a una evaluación crítica, tanto en relación con las observaciones

como en relación con nuevos sistemas conceptuales o teorías. Admitió la existencia, además del conocimiento científico, del mundo subjetivo en el que la falsación experimental no es posible sin que por ello carezca de sentido y pueda estar abierto a una evaluación crítica: las proposiciones metafísicas –admitió– pueden ser perfectamente razonables, dando así la posibilidad de otros tipos de conocimiento distintos del científico.

Entre las ideas más recientes sobre la naturaleza del conocimiento científico, uno de los pensadores más relevantes fue Thomas Kuhn (1922-1997), que acuñó el concepto de “paradigma científico” (1977): es el marco conceptual amplio dentro del cual se desarrolla un tipo de ciencia concreta. Distingue dos modos de hacer ciencia: a) la normal, cuando se avanza dentro del mismo paradigma; b) las revoluciones científicas, en las que se cambia de paradigma (p.ej., la revolución copernicana en astronomía, y la física cuántica en física). Estos cambios no se producen por nuevas observaciones no explicadas en el paradigma anterior, sino por una nueva forma de mirar el problema, de forma que el nuevo paradigma se va imponiendo lentamente al ir explicando mejor los datos observados. Esta propuesta ponía en duda la doctrina positivista de la necesaria inducción de las teorías a partir de los observables.

Idea similar fue propuesta en 1984 por Imre Lakatos (1922-1974), aunque habla de “programas de investigación” (en vez de paradigmas), que son estructuras conceptuales muy amplias que pueden englobar varias teorías y que sirven de guía a la investigación científica; en ellos hay un núcleo central y un cinturón protector, el cual se modifica para adaptar el conjunto a observaciones anómalas hasta que el programa deja de ser productivo para alentar nuevas investigaciones, momento en el que se cambia el núcleo central también.

Paul Feyerabend (1924-1994) rechaza la propuesta de Popper y propone que la ciencia es una empresa esencialmente anárquica, que la hace más humanista y adecuada para estimular el progreso.

Otras propuestas más radicales, como es la del “constructivismo”, ponen el acento en las influencias históricas y sociales en la elaboración de la ciencia, y cuestionan la objetividad científica. Ziman (1925-2005) critica las posiciones heredadas del positivismo y sus pretensiones de que la ciencia sea un conocimiento objetivo absoluto, fiable y verificable, cuya naturaleza se puede deducir de un análisis lógico; hace hincapié en el carácter público y repetible de los

experimentos y el papel de la comunidad científica como elemento de confrontación entre teorías y de control de estas.

2. El problema de la observación-experimentación (O-E)

El conocimiento científico pivota sobre dos elementos esenciales: la observación-experimentación (O-E) y el marco conceptual de las leyes y teorías. Los conceptos (espacio, tiempo, carga eléctrica, etc) están relacionados con la O-E, pero no son fruto directo de ella. Por otra parte, la O-E implica siempre una interacción entre observador y lo observado, de forma que el primero siempre modifica lo segundo por el mero hecho de observarlo (por ejemplo, la alteración de la velocidad de una partícula subatómica al iluminarla para observarla, lo cual da lugar al principio de indeterminación de Heisenberg). En la observación interviene no sólo el proceso mismo de observación, sino el marco teórico de referencias en el que ésta se diseña. Las observaciones mismas están cargadas de teoría y está mediatizada también por la instrumentación empleada o por las percepciones sensoriales.

La intersubjetividad (lo que es común a muchos sujetos) de la O-E implica que los observables sean públicos y repetibles por otros observadores; se considera que es el camino posible a la objetividad, pero "intersubjetividad" no es equivalente a objetividad ya que la primera implica que los distintos observadores participan de un mismo marco conceptual de referencia para poder observar lo mismo. La objetividad absoluta es imposible.

Otro problema consiste en el reduccionismo que pretende que un sistema puede ser conocido totalmente una vez que se conocen sus elementos más simples, de forma que asume que la complejidad del sistema no añade nada nuevo a la combinación de ellos, lo cual es incorrecto frecuentemente (Lord Kelvin decía que un conjunto de ladrillos no son una casa).

Elemento importante en la O-E es la medida ya que permite cuantificar el observable y hacer posible su tratamiento matemático. En este ámbito surge el problema de la unidad de medida y la escala. La matematización hace que la ciencia se pueda expresar con un lenguaje unívoco que todos los observadores entienden de igual forma. Muchas ciencias utilizan lenguaje descriptivo y cualitativo para procesos que no se han logrado cuantificar bien.

El marco cognoscitivo de referencia consta de: a) hipótesis (propuestas como interpretación de un conjunto de observaciones; es el elemento de menor fijeza y aceptación); b) leyes (que surgen de la interacción entre hipótesis y los observables para describir las relaciones entre unas

y otros; el establecimiento de leyes presupone la aceptación de la regularidad en el funcionamiento de la naturaleza; las leyes se denominan “empíricas” cuando están inducidas directamente del funcionamiento de los observables y mientras no están integradas en una teoría más amplia –las de Kepler hasta que Newton las dedujo de su teoría de la gravitación universal-; algunas leyes tienen carácter axiomático y se justifican por la adecuación de sus consecuencias a los observables –las de la mecánica-; hay un tipo de leyes que no se refieren a los observables directamente sino a la probabilidad de su ocurrencia –leyes estadísticas-; c) teorías (forman el marco conceptual por excelencia en la ciencia; se refieren a un amplio número de observables y de ellas se pueden deducir leyes que gobiernan su comportamiento); d) modelos (tienen una función similar a las teorías y son construcciones que tratan de representar la realidad y justificar los observables –los modelos atómicos sucesivos: Kelvin, Rutherford, Bohr, el actual modelo estándar; el modelo de la evolución del universo: el estándar del big-bang-; la diferenciación entre teoría y modelo es puramente formal porque ambos tienen la misma función en la ciencia).

3. Delimitación entre ciencia y filosofía

Es difícil deslindar totalmente ciencia y filosofía. Aunque no siempre sean explícitas, la mayoría de los científicos tienen ciertas posturas y presupuestos filosóficos que se corresponden con algún tipo de realismo, es decir, creen que existe un mundo real al que se remiten las teorías científicas y, además, que ese mundo es inteligible. El físico, filósofo y teólogo Mariano Artigas propone tres tipos de presupuestos: a) ontológicos (referentes a la existencia misma de un mundo real que posee un orden natural); b) epistemológicos (el mundo y su orden son cognoscibles); c) éticos (la empresa científica representa para el ser humano un valor positivo). Paul Davies afirma que toda empresa científica se basa en la hipótesis de que la naturaleza es racional y se pregunta la razón por la que el mundo es cognoscible a través de las matemáticas y cita las palabras de Einstein: «lo único incomprensible en el universo es que sea comprensible». En realidad, todos estos presupuestos no forman parte de la ciencia, sino que están implícitos y son necesarios para su propia existencia, pero son presupuestos filosóficos. Los científicos se preocupan de construir el edificio de la ciencia y suelen olvidarse de los cimientos que se hallan implícitos; estos presupuestos que forman los cimientos son precisamente los que están abiertos a una posible interpretación metafísica y teológica cuando se enfrentan con las preguntas tales como: ¿por qué existe el mundo? ¿Por qué, siendo una realidad independiente, es racional e inteligible por el ser humano?

4. Delimitación y relaciones entre ciencia y religión

Una posible definición de ideología es ésta: un sistema conceptual que proporciona una visión totalizadora de la realidad, que sirve para dar sentido a la vida, crear un marco de referencias global y justificar los comportamientos tanto personales como sociales. Las ideologías tienden frecuentemente a absolutizar valores o esquemas sociales que son relativos y contingentes, de forma que una visión parcial trata de convertirse en un horizonte que abarca la totalidad de la realidad, excluyendo todas las demás como falsas; de este modo, las ideologías se acercan en algunos aspectos a las características de la religión, exceptuada la referencia a realidades sobrenaturales. Las religiones son consideradas a veces como ideologías al desvincularlas de su fundamento en la experiencia de fe religiosa.

La ciencia no es en sí misma una ideología, no trata de dar una visión totalizadora de la realidad, sino que limita su campo de conocimiento a los aspectos de la realidad que pueden ser objeto de su metodología de investigación, siempre relacionado con lo observable y reproducible experimentalmente por cualquier investigador y dirigida a proporcionar un conocimiento racional de la naturaleza y su funcionamiento. Sin embargo, hay ideologías que pretenden tener fundamentos de carácter científico: son las calificadas como “cientifismo” o “cientificismo”, que pretenden que el único conocimiento válido para todo aspecto de la realidad es el científico. Así, cuando Richard Dawkins pretende «no sólo que la visión global darwinista es verdadera, sino que es la única teoría conocida que puede, en principio, resolver los misterios de nuestra existencia», está planteando una ideología y no ciencia. La afirmación de que no hay más realidad que la conocida por la ciencia es de tipo ideológico y no propiamente científica. Pero la ciencia no tiene como objetivo: 1) ni el dar sentido a la vida, 2) ni crear valores que fundamenten normas morales de conducta.

Las relaciones entre ciencia y religión a lo largo de la historia han sido tipificadas por Ian Barbour en cuatro categorías:

- a) *conflicto*, que surge cuando una de las dos disciplinas pretende hacer suyos los intereses legítimos de la otra; ejemplos principales de actitudes generadoras de conflicto son: por un lado, el “cientificismo” (que pretende que las únicas preguntas con sentido o para las que hay respuesta son las que plantea la ciencia, reclamando la abolición práctica del discurso teológico) y su frecuente materialismo científico; por otro lado, el “literalismo” bíblico (que da valor científico a las afirmaciones bíblicas sobre fenómenos naturales, tales como los primeros capítulos de Génesis, que estuvieron en

la base de la polémica con Galileo y Darwin, y que actualmente sustentan el “creacionismo” y el “diseño inteligente”). La relación de conflicto se hizo especialmente cruda en el s. XIX, aunque hay casos precedentes como el de Galileo en los dos siglos anteriores. Una de las primeras controversias agudas fue la protagonizada por Ernest Renan (autor de una vida de Jesús), quien en 1848 proponía como tarea de la modernidad la destrucción de la creencia en lo sobrenatural. En esta idea insistió el químico John W. Draper (1811-1882) y el historiador Andrew D. White (1832-1918). En el apéndice B se expone una interpretación histórica realizada por Stephen Jay Gould de los casos de la Tierra plana, Galileo y Darwin, que se toman usualmente como ejemplos paradigmáticos de la relación de conflicto entre ciencia y religión, pero cuyas razones profundas son, según Gould, totalmente ajenas a ese debate.

- b) *independencia*, en la que la ciencia y la teología se consideran ámbitos de investigación completamente separados, como si cada una de ellas tuviera libertad para seguir su camino sin referencias ni obstaculizaciones mutuas; la ciencia preguntaría por el “¿cómo?” (lo objetivo y lo impersonal), y la teología por el “¿por qué?” (lo subjetivo y lo personal). Sin embargo, esta independencia no es viable de forma radical dado que la teología de la creación, por ejemplo, no puede prescindir de la cosmología contemporánea.
- c) *diálogo*, que reconoce que ciencia y teología tienen ambas interés investigador en algunos campos fronterizos tales como la historia del universo, el comienzo de la vida, la naturaleza del ser humano y la relación entre mente y cuerpo. Aunque la mutua independencia evita el conflicto, la historia muestra la dificultad de que ciencia y religión de mantengan totalmente separadas. Por ello, Barbour propone el diálogo para buscar un enriquecimiento mutuo ya que la religión no puede dejar de tener en cuenta la visión del mundo que dimana de la ciencia dado que siempre trata de la relación Dios-mundo (Dios es concebido como el que da el ser al mundo) y del hombre con la naturaleza; en concreto, propone que el diálogo se realice sobre las cuestiones límite que suscita la ciencia, pero cuyas respuestas escapan a su propia metodología: origen y destino del hombre y del universo, la emergencia de la espiritualidad y las cuestiones éticas, procurando atenuar las diferencias metodológicas mediante sus paralelismos. Pioneros de ese diálogo son Ian Barbour, John Polkinghorne y Arthur Peacocke. Aunque referido a la relación entre ciencia y filosofía (y no tanto con la religión), un notable ejemplo en la línea del diálogo es el protagonizado por el neurobiólogo Jean-Pierre Changeux y el filósofo Paul Ricoeur, los cuales desarrollaron un profundo ejercicio literalmente

dialógico que fue publicado en 1998 bajo el título *La naturaleza y la norma. Lo que nos hace pensar*. En los primeros compases del texto, Changeux expresa elocuentemente el talante con el que ambos acudían al encuentro: « ¿Por qué no intentar unirnos, construir un discurso común?» (Changeux; Ricoeur, 2001: 9).

- d) *integración*, que afirma la posibilidad de que ciencia y religión se unifiquen en un discurso único. Barbour entiende esta relación como aquella en que la teología (más que la religión) integra en su reflexión los resultados y métodos de la ciencia o, alternativamente, es la filosofía la que toma elementos del conocimiento científico y luego interacciona con la teología. Barbour encuentra tres tipos de integración: la teología natural, la teología de la naturaleza y la síntesis sistemática.

John Polkinghorne cree de verdadero interés solo las relaciones de interacción activa entre ciencia y religión correspondientes al diálogo y la integración, a las que él denomina: *consonancia* (en la que ciencia y teología retienen su legítima autonomía en los dominios que les son reconocidos, pero las afirmaciones correspondientes a regiones en que ambas se solapan han de ser adecuadamente articuladas), y *asimilación* (que trata de conseguir la mayor fusión conceptual posible, sin que ninguna quede absorbida por la otra).

La relación entre ciencia y religión ha variado a lo largo de la historia y, en realidad, los distintos matices citados pueden aparecer en proporciones diversas en todas las tipologías. No obstante, en la actualidad no es difícil encontrar opiniones que consideran mutuamente incompatibles ciencia y religión y, por tanto, inevitablemente en conflicto. A ello se añade la opinión creciente de que la visión de la ciencia es la única que puede ser verdadera, razón por la que su avance debe suponer un retroceso de la religión hasta que esta se extinga finalmente, posición que se ha manifestado de forma muy beligerante en los ambientes científicos conocidos como el “nuevo ateísmo”. Ante esta realidad, el prestigioso científico Stephen Jay Gould ha formulado la propuesta que ha denominado NOMA (Non Overlapping Magisteria), que considera la ciencia y la religión como dos “magisterios no-solapables”: la ciencia trata de documentar el carácter factual del mundo natural (de qué está hecho) y desarrollar teorías que expliquen cómo funciona, mientras que la religión se mueve en el campo de los fines humanos, el sentido último de la realidad y los valores éticos, temas que la ciencia puede luminar pero no resolver; por ello, entiende que no deberían tener conflictos mutuos porque son dos magisterios que no se superponen, y deben mantener un mutuo respeto, abiertas a un diálogo que rechace el irenismo (al que conducen el sincretismo y lo políticamente correcto que elude la discusión).

Más reciente aún es la propuesta de Hans Küng, el cual ha añadido a las cuatro tipologías de Ian Barbour una quinta clase: la *complementariedad*, que se situaría entre el *diálogo* y la *integración* y propone basarse en una interacción crítico-constructiva en la que se respetan la esferas propias de ciencia y religión, se evita toda transición ilegítima, se rechaza toda absolutización y, no obstante, se intenta hacer justicia al conjunto de la realidad en todas sus dimensiones mediante el cuestionamiento y enriquecimiento mutuos. Esta propuesta de Küng (ya antes planteada en 1925 por Niels Bohr, quien consideraba que la ciencia y la religión podían ser dos descripciones complementarias de la realidad como sucede en la física –p.ej. la luz como partícula y como onda-) afirma que son necesarias las visiones científica, religiosa, artística y ética para captar la realidad en toda su riqueza y complejidad. Si la relación de diálogo sólo propone que ciencia y religión se comuniquen, la de complementariedad afirma que ninguna de ellas tiene una visión completa de la realidad y que se complementan mutuamente, en línea con la frase de Einstein «la ciencia sin la religión está coja, y la religión sin la ciencia está ciega».

5. Balance

La filosofía se presenta como campo intermedio entre ciencia y religión. La teología requiere la aceptación de una metafísica y, por otra parte, debe rechazarse todo intento de fundamentar la teología sobre las lagunas de la ciencia (el “Dios tapa agujeros” que la ciencia iría haciendo progresivamente innecesario), lo cual no significa aceptar la explicación científica del mundo como completa. Sobre estas bases, pueden hacerse dos grupos con los intentos teológicos más representativos actualmente:

a) el grupo de los que parten del conocimiento de la naturaleza para llegar al conocimiento teológico; se apoyan en el mundo natural para colegir la existencia divina y su relación con el mundo. Aparte de los que utilizan sobre todo la idea de “diseño” que algunos extraen de la ciencia en relación con el mundo natural (caso del llamado “diseño inteligente”), se puede citar la propuesta de Teilhard de Chardin, de evolución convergente desde lo inerte a la vida y la conciencia hasta culminar en el Punto Omega, que se identifica con el Dios de la fe. También se encuentra en este grupo el físico teórico Frank Tipler con su “teoría del Punto Omega”, que entiende científicamente comprobable y que propone que la existencia de un Dios omnipotente, omnisciente y omnipresente, autor de una futura resurrección del ser humano; desde un punto de vista puramente materialista y reduccionista, y sin apelar a la fe, encuentra que el camino de la física lleva inevitablemente a Dios; por ello aboga por la unificación de ciencia y religión, y afirma que la teología es una rama de la física, una

cosmología física, y que debe pasar a serlo si quiere sobrevivir. En línea similar se mueve Diarmuid O'Murchu que, partiendo del misterio y del significado inherente a la teoría cuántica, le impulsa a revisar muchos conceptos, entre ellos la imagen de Dios como "energía creadora" que incluye y supera los atributos dados por la teología tradicional y obra a través del movimiento, el ritmo y las estructuras dentro de la naturaleza de la vida misma; es una propuesta que enfrenta la dificultad de que la física cuántica tiene su sentido en la explicación de los fenómenos subatómicos y no fuera del ámbito de la física. En este grupo puede incluirse la Filosofía del proceso propuesta por Alfred North Whitehead: la realidad es una red dinámica de sucesos interrelacionados, por lo que la naturaleza es simultáneamente orden y cambio, estabilidad y novedad, estructura de procesos en evolución; la realidad es el proceso mismo; es una nueva metafísica en la que el ser se identifica con el proceso, lo cual se aplica también a Dios, que aparece como el principio de concreción de los procesos, fuente de estabilidad y novedad; no es proceso, sino el creador del proceso; Dios cambia con el proceso mismo y es simultáneamente immanente y trascendente. Ian Barbour y Arthur Peacocke han tomado algunos aspectos de la filosofía del proceso al plantear la relación de Dios con el mundo. Charles Hartshorne y John Cobb han construido una teología del proceso. En esta categoría, pero en sentido contrario, se puede citar a Stephen Hawking.

b) El segundo grupo está integrado por las teologías que parten de la fe religiosa para llegar al conocimiento de la naturaleza y la ciencia (las que Barbour agrupa como "teologías de la naturaleza"). La ciencia presenta hoy la naturaleza como fruto de una evolución del azar y de las leyes, lo cual no puede dejar de influir en la manera de pensar las relaciones de Dios y del hombre con la naturaleza: una mayordomía (no como propietario) del hombre respecto a la naturaleza (que sólo a Dios pertenece), una visión sacramental de ésta ya que en ella se manifiesta lo sagrado, y el Espíritu Santo como vínculo entre el poder creador y redentor divino, todo lo cual da base a una ética medioambiental. Para Peacocke, el conocimiento del mundo y del hombre que aporta la ciencia tiene una importancia enorme para la teología y supone un gran reto para ésta: hoy no pueden desvincularse las cuestiones relativas al ser de la naturaleza y al ser de Dios; concibe la relación entre ciencia y teología desde el realismo crítico de ambas disciplinas y como acercamientos interactivos a la realidad; la teología debe tomar en serio la perspectiva de las ciencias ya que sostiene que Dios mismo ha dado al mundo el tipo de ser que le es propio y que revela en ciertos aspectos la naturaleza misma de Dios y sus fines. El pensamiento de John Polkinghorne

pertenece también a este grupo ya que parte del interior de la tradición cristiana. Propuestas más recientes en esta esfera son las que se agrupan como “teología de la ciencia” (denominación que aparece ya en Michael Heller en analogía con la “filosofía de la ciencia”): es una propuesta que consiste en una reflexión sobre las ciencias desde una perspectiva cristiana; pero es un enfoque ambiguo que ha sido interpretado de diferentes formas por autores diversos y no se perfila su alcance nítidamente.

APÉNDICE B ¹²⁶

Revisión crítica de conflictos entre ciencia y religión

1. Stephen Jay Gould y su replanteamiento del problema

Este renombrado científico evolucionista deja constancia de su escepticismo religioso de forma expresa e introductoria: «no soy creyente. Soy agnóstico en el sabio sentido de Thomas Henry Huxley (que fue el más beligerante defensor de la evolución darwinista contra las mareas de la ortodoxia social y religiosa), quien acuñó el término cuando identificó este escepticismo liberal como la única posición racional porque, realmente, no podemos saber. No obstante, tengo un gran respeto por la religión» (Gould, 2000: 16-17).

No veo de qué manera –dice Gould– cómo la ciencia y la religión podrían unificarse, o siquiera sintetizarse, bajo un plan común de explicación y análisis; pero tampoco entiendo por qué las dos empresas tendrían que experimentar un conflicto. La ciencia cubre el reino empírico: de qué está hecho el universo (realidad) y por qué funciona de la manera que lo hace (teoría), intenta documentar el carácter objetivo del mundo natural y desarrollar teorías que coordinen y expliquen tales hechos. La religión, en cambio, opera en el reino igualmente importante, pero absolutamente distinto, de los fines, los significados últimos y los valores humanos y morales, temas que el dominio objetivo de la ciencia podría iluminar pero nunca resolver (cf. Gould, 2000: 12-14).

Por ello, Gould propone que se encapsule como principio básico la no interferencia respetuosa (acompañado de un diálogo intenso entre los dos temas distintos, cada uno de los cuales cubre una faceta fundamental de la vida humana), propuesta que nuestro autor enuncia como principio de los magisterios separados que no se superponen, al que denomina ***Non-overlapping magisteria (NOMA)***, entendiendo magisterio como un dominio de autoridad en la enseñanza¹²⁷. Los magisterios de la ciencia y de la religión no se solapan, ni tampoco abarcan todo el campo de indagación: basta considerar, por ejemplo, el magisterio del arte y el significado

¹²⁶ Este Apéndice sintetiza el análisis de varios conflictos históricos entre ciencia y religión según la obra de Stephen Jay Gould (2000), reseñada en la relación de Referencias Bibliográficas.

¹²⁷ En la traducción española de la obra de Gould se ha utilizado el acrónimo MANS, para significar “magisterios no superpuestos”.

de la belleza. Gould afirma su convicción y confianza profundas en un concordato respetuoso, incluso amigable, entre esos dos magisterios, el concepto NOMA, el cual trata de establecer una posición de principio sobre bases morales e intelectuales, no una solución meramente diplomática. Gould afirma con gran fuerza que NOMA posee un doble filo: si la religión ya no puede dictar la naturaleza de las conclusiones objetivas que residen adecuadamente en el magisterio de la ciencia, entonces tampoco los científicos pueden aducir un mayor discernimiento en la verdad moral a partir de ningún conocimiento superior a la constitución empírica del mundo. Esta humildad mutua lleva a importantes consecuencias prácticas en un mundo de pasiones tan diversas.

2. Revisión del caso Galileo ¹²⁸

Gould considera anacrónico -y por ello lo rechaza- el relato habitual que ve en Galileo un científico moderno que combate el dogmatismo de una iglesia que opera totalmente fuera de su magisterio y que está equivocada, hasta extremos cuasi ridículos, sobre el hecho básico de la cosmología. Nuestro autor reconoce que no puede negarse que Galileo fue tratado cruelmente, forzado a retractarse de rodillas y luego colocado bajo el equivalente a un arresto domiciliario por el resto de su vida.

El conflicto de Galileo con el Papa Urbano VIII fue el choque de dos visiones incompatibles del mundo, según cita que Gould toma de Mario Biagioli (*Galileo, Courtier*, University of Chicago, 1993), pero también suscribe el análisis de Biagioli según el cual hay que entenderlo en el marco histórico propio de la corte de Roma en el siglo XVII, para la que no son adecuadas las definiciones actuales de ciencia y religión: Galileo cayó víctima de una forma de drama bastante convencional en las cortes principescas de aquella Europa. Maffeo Barberini, antes de convertirse en el Papa Urbano VIII en 1623, había sido amigo personal de Galileo y mecenas general de las artes y de las ciencias; con ocasión de la asunción del papado por Barberini, Galileo (que frisaba los sesenta años) creyó que había llegado la ocasión de oro para lograr un cambio de postura de la Iglesia respecto al heliocentrismo de Copérnico, cuyas enseñanzas se habían prohibido aunque había quedado abierta la puerta convencional de permitir la discusión de las cosmologías heterodoxas como hipótesis puramente matemáticas. Pero Galileo se precipitó de forma innecesariamente provocativa.

¹²⁸ Cf. Gould, 2000: 74-77.

Galileo había pasado su vida bajo el imprescindible mecenazgo cortesano, pero ahora había caído en desgracia y tenía un papel común en su tiempo y lugar: «La carrera de Galileo se vio impulsada y después arruinada por [...] la dinámica de los favores políticos que [...] condujo a los problemas típicos de una corte principesca, que se parecen a lo que se conocía como *caída del favorito*» (cita tomada por Gould de Biagioli).

Gould recuerda que en la década de 1630 no había ningún país llamado Italia, y que el Papa ostentaba la autoridad secular total sobre Roma y gran parte del territorio adyacente; Galileo tuvo que rendir cuentas ante la Inquisición porque este cuerpo representaba la “ley de la tierra”, con poder para condenar y ejecutar. Además, los tiempos eran complicados para la Iglesia de Roma ya que se enfrentaba al poder en expansión de la Reforma, precisamente en medio de la devastadora Guerra de los Treinta Años. El Papa ostentaba un poder insólito, como gobernante secular de ciertos territorios y como autoridad espiritual de regiones mucho más extensas. A ello se añadió que una persona exaltada y brillante, Galileo, que ya había causado problemas antes, ahora se burlaba de directrices papales anteriores al componer un libro a modo de supuesto diálogo entre abogados de igual condición y poner las argumentaciones a favor de una teoría geocéntrica (que era la posición oficial de la Iglesia) en boca de un personaje cuya eficacia en la defensa de esa teoría respondía perfectamente al nombre con el que se le presentaba: Simplicio.

En conclusión, Gould no tiene ninguna dificultad en comprender las razones del enfado del Papa Urbano VIII y su proceder contra Galileo en medio del marco expuesto de su tiempo y corte principesca, y concluir que la discusión entre heliocentrismo y geocentrismo bíblico fue sólo una fachada para ocultar las razones profundas de la tensión entre Galileo y Urbano VIII.

3. Revisión del caso de la Tierra plana ¹²⁹

Otro ejemplo de la falacia de la guerra entre ciencia y religión es para Gould el caso de Colón y el mito de la Tierra plana. Nuestro autor deja primeramente constancia de un hecho histórico esencial: ya los sabios de la antigua Grecia (Aristóteles, Eratóstenes) habían establecido la esfericidad de la Tierra. El mito de la Tierra plana sostiene que ese conocimiento fue olvidado durante casi mil años (por causa de las tinieblas de la lectura cristiana de la Biblia) hasta que el Renacimiento lo redescubrió. Gould afirma que nunca existió tal oscurantismo ya que ese conocimiento nunca desapareció y que todos los sabios medievales aceptaron esa

¹²⁹ Cf. Gould, 2000: 111-125.

esfericidad: Beda el Venerable –s. VIII-, Roger Bacon -1220 a 1292-, Tomás de Aquino -1225 a 1274-, Nicholas de Oresmes -1320 a 1382-, todos con órdenes eclesiásticas.

Según William Whewell, en *History of Inductive Sciences* (1837), fueron Lactancio (245-325) y Cosmas Indicopleustes (549) los que crearon el mito de la Tierra plana, y consideró a los citados defensores de la esfericidad terrestre como raros faros de luz en medio de una supuesta oscuridad medieval. Sin embargo, ninguno de los racionalistas anticlericales del s. XVIII acusó a los primeros sabios cristianos de creer en una Tierra plana. De hecho, fue Washington Irving quien dio impulso al mito en su historia de Colón (1828); la leyenda creció durante el s. XIX y, después de 1880, aparecía en casi todos los textos escolares, coincidiendo precisamente con la época en que se construyó el modelo de guerra entre ciencia y religión como tema fundamental de la historia de Occidente.

Las obras de John William Draper¹³⁰ y Andrew Dickson White¹³¹, en el último cuarto del siglo XIX, difundieron en Estados Unidos más aún la afirmación infundada de la creencia cristiana en la Tierra plana, y contribuyeron –especialmente la de Draper- a la promoción de un virulento anticatolicismo, tomando esa creencia como muestra de la represión que la religión ejercía sobre el poder progresista de la ciencia. Sin embargo, Gould subraya que el propósito de White no había sido favorecer la causa de la ciencia, sino más bien salvar a la religión de sus propios enemigos internos, los defensores de dogmatismos rigurosos, pese a lo cual el libro generó consecuencias desafortunadas para la discusión sobre las relaciones entre ciencia y religión; aunque sólo pretendía reprobando la teología dogmática y promover la verdadera religión, su obra ha sido interpretada de forma sesgada como una declaración de que el progreso humano requiere de la victoria de la ciencia sobre la religión. Gould concluye que es a Draper y White a los que se debe el desarrollo del modelo básico de la ciencia en conflicto histórico con la religión, en un contexto contemporáneo marcado por la batalla en torno a la Evolución y la versión laica de Darwin basada en la selección natural.

Para Gould, el caso del mito de la Tierra plana muestra cómo el modelo de conflicto ciencia-religión suele inventar batallas que nunca ocurrieron. Sin embargo, admite que el *creacionismo* moderno, por ejemplo, ha provocado una batalla real, al tiempo que muestra que las luchas entre

¹³⁰ Autor del libro *History of the Conflict Between Science and Religion*, publicado en 1874.

¹³¹ Autor del libro *History of the Warfare of Science with Theology in the Christendom*, publicado en 1896.

ciencia y religión surgen de las violaciones del tipo de relación NOMA cuando un grupo reducido de uno de los magisterios intenta imponer su voluntad irrelevante e ilegítima al ámbito del otro.

4. Revisión de los casos de Darwin y Huxley ¹³²

Expone Gould que Charles Darwin y Thomas H. Huxley perdieron todo vestigio de creencia personal en un mundo intrínsecamente justo, gobernado por una deidad benigna, debido al dolor de los dramas familiares que experimentaron (muerte de una hija del primero y del primogénito del segundo). Para nuestro autor, pese a esas experiencias, ambos representan ejemplos de posiciones del tipo NOMA, encarnando a los defensores de la independencia del magisterio de la ciencia pero desde el respeto al de la religión.

En cuanto a Darwin, Gould comienza haciendo notar que, antes de embarcarse en el Beagle para la vuelta alrededor de la Tierra, nunca se había sentido comprometido con la teología como vocación (pese a algún relato popular que indica su plan de hacer carrera como párroco rural), sino que había seguido pasivamente las opiniones religiosas convencionales. En 1850, en una etapa de plenitud de vida y tranquilidad (con recursos económicos notables), pudo dedicar tiempo a leer y reflexionar sobre la obra de Francis William Newman (hermano de John Henry, que se convirtió al catolicismo y llegó al cardenalato), quien mantenía una intensa creencia religiosa aunque rechazaba los dogmas del anglicanismo oficial y había adoptado posiciones heterodoxas (en particular, negando la idea de castigo eterno o la recompensa tras la muerte) sobre la base de un pensamiento racional y de los hallazgos de la ciencia. Darwin llegó a conclusiones similares a F. W. Newman acerca de los dogmas tradicionales pero sin encontrar en ellas ningún aliento para la devoción personal, razón por la que concluyó mostrando escepticismo hacia la creencia religiosa. Gould cree que el estudio de la obra de Newman no habría afectado tanto a Darwin si no hubiera concurrido el acontecimiento dramático de la enfermedad y muerte de su hija mayor, Annie: teniendo diez años, en marzo de 1851, enfermó gravemente y falleció en abril de ese año. Darwin escribió entonces: «Dios sabe que no podemos ver por parte alguna un destello de consuelo». Esa muerte catalizó todas las dudas que la lectura de Newman le había suscitado, perdió toda forma de creencia personal en un Dios solícito, y nunca volvió a buscar alivio en la religión. Sin embargo, evitó cuidadosamente cualquier afirmación a este respecto tanto en los escritos públicos como en los privados, de modo que no se conocen sus resoluciones íntimas.

¹³² Cf. Gould, 2000: 33-47 y 187-202.

Gould sospecha que Darwin adoptó la máxima de Huxley sobre el agnosticismo como la única posición racionalmente válida, al tiempo que una fuerte conjetura de ateísmo (que sabía completamente indemostrable), galvanizada por la absurda muerte de Annie. Sin embargo, Gould subraya que Darwin no adoptó una postura hostil contra la religión a pesar de que hubiera podido esgrimir la evolución como un mazo contundente contra el falso consuelo y la crueldad de un mundo lleno de muertes de niños y de otras tragedias que no tienen ningún sentido moral concebible; perdió la creencia personal en la religión pero no desarrolló deseo alguno de transmitir esa opinión a otros porque comprendió la diferencia entre las cuestiones objetivas con respuestas universales bajo el magisterio de la ciencia y los temas morales que cada persona debe resolver por sí mismo.

En 1860, nueve años después de morir Annie y seis meses después de publicar *El origen de las especies*, Darwin escribió una carta al botánico Asa Gray (que aceptaba la evolución y la selección natural, pero exhortaba a Darwin a considerar que tales leyes habían sido instituidas por Dios para un fin discernible), en la que afirma: «Con referencia al punto de vista teológico de la cuestión, esto siempre es doloroso para mí. Estoy perplejo. No tenía la intención de que se entendiera de forma atea. Pero reconozco que no puedo ver claramente como hacen otros, y como me gustaría hacer, indicios de designio y de benevolencia en todo nuestro derredor. Me parece que hay mucha miseria en el mundo. Por otra parte, no puedo contentarme tampoco observando de cualquier modo este maravilloso universo, y en especial la naturaleza del hombre, y llagar a la conclusión de que todo es el resultado de la fuerza bruta. Me inclino por considerar que todo es el resultado de leyes planeadas, y los detalles, sean buenos o malos, se dejan al resultado de lo que podemos llamar casualidad. No es que esta idea me satisfaga totalmente. Siento que todo este asunto es demasiado profundo para el intelecto humano. De la misma manera que un perro pudiera especular respecto a la mente de Newton».

Un caso similar fue el del gran defensor de la teoría de la evolución darwinista, Thomas H. Huxley. Gould narra la tragedia de la muerte del hijo de Huxley y su debate con el pastor, al que estimaba mucho, Charles Kingsley (que era también un naturalista aficionado y un evolucionista que no veía conflicto alguno entre la ciencia y sus deberes eclesiásticos), el cual quiso consolar a su escéptico amigo Huxley con la idea de la eternidad del alma y del reencuentro futuro con el niño en la otra vida.

Gould retoma al final de su obra el caso de Darwin y lo hace recogiendo primeramente la acusación de algunos contra Darwin por no haber extraído de su teoría nada referente al

significado de la vida y el orden último de las cosas. Nuestro autor ve en Darwin a un científico que entendió la falta de competencia de su ámbito de conocimiento, la biología, en relación con la moralidad. No utilizó su teoría de la evolución para promover el ateísmo ni para negar que hubiera algún concepto sobre Dios que pudiera compatibilizarse con la estructura de la naturaleza; no la usó tampoco para resolver la existencia o el carácter divinos, ni para proponer un sentido último para la vida, ni unos cimientos adecuados para construir la moral. La posición de Darwin podría parecer pesimista, derrotista y esclavizadora, pero Gould cree que fue serena y desapasionada, valiente, realista y liberadora: en definitiva, una actitud propia del modelo NOMA propuesto por nuestro autor como estilo de relación entre ciencia y religión acorde con una cosmovisión contemporánea no reduccionista.

APÉNDICE C

De la física atomista a la Mecánica física newtoniana

1. El azar atomista

La etapa de la doctrina eleática se considera generalmente cerrada con las figuras del milesio Leucipo y su discípulo Demócrito de Abdera, creador y culmen de la escuela atomista, respectivamente, cuya referencia es aquí absolutamente pertinente por la fascinante vigencia que sus intuiciones físico-cosmológicas tienen en el marco de los conocimientos y teorías actuales. A esa escuela se debe una gran innovación en la concepción filosófica de los elementos originarios de la *physis*, los cuales ya no se concretan en un número reducido de entidades diversas, sino que son cuerpos indiferenciados en cualidad ontológica, infinitos en número, invisibles por su pequeñez y su volumen, no engendrables, inmutables, indestructibles e indivisibles - *ἄτομος* -, los cuales solo difieren entre sí en la figura geométrica y en las infinitas posiciones que pueden ocupar en el orden global. En relación con el Ser-Uno eleático, los átomos son la fragmentación de este en infinitos seres-uno, que mantienen el máximo número posible de las características de aquél.

En definitiva, para la escuela de Abdera, toda la realidad queda estructurada a partir de los átomos, de un necesario vacío en el que ellos se alojan y del movimiento que posibilita sus infinitamente variados agregados. Movimiento que es concebido en tres modalidades: a) el primigenio o más propio, de carácter absolutamente caótico; b) otro de carácter vertiginoso que produce la agregación de los átomos semejantes y origina las diversas entidades del mundo, y c) los efluvios o movimientos que liberan los átomos de las cosas. Esta concepción justifica nítidamente la conclusión de los atomistas: siendo infinitos los átomos, también lo son la cantidad de sus posibles combinaciones al azar, de las que surgen una innúmero cantidad de mundos, los cuales no siempre tienen que ser distintos entre sí ya que cabe la probabilidad de coincidencia por ese mismo azar combinatorio.

Los atomistas representan, pues, la concepción más antigua (siglo V a.C.) y precoz del cosmos como ordenación resultante del encuentro mecánico producido por el azar de los movimientos caóticos de los átomos, de los que se deriva una infinidad de mundos absolutamente contingentes, en cíclico nacimiento, desarrollo y destrucción (cf. Reale & Antiseri, 2008: 67-70).

En contraposición con las ideas de Platón y Aristóteles, la doctrina atomista fue retomada y reformulada por Epicuro (siglo IV-III a.C.). En relación con el objeto de nuestro estudio, debe

destacarse la modificación introducida en las características de los átomos: en lugar de la figura, la posición y el orden afirmados por Demócrito, sus rasgos definitorios serán ahora la figura, el peso y la dimensión. Esta nueva concepción tiene una consecuencia muy relevante respecto al movimiento de los átomos: este no será entendido ya como caótico, sino el rectilíneo producido por el propio peso del átomo. De este modo, las trayectorias seguidas por los átomos debían ser paralelas entre sí, lo cual imposibilitaba su encuentro y, por tanto, la integración para formar los distintos cuerpos existentes. Con el fin de eludir esta aporía, Epicuro introdujo la teoría de la declinación de los átomos (*clinamen*), según la cual estos pueden desviar sus trayectorias sin causa alguna y súbitamente, en cualquier instante y punto de ellas, dando así lugar al contacto y combinación con otros átomos. Por tanto, la concepción epicúrea del mundo se funda en la combinación de un sustrato de partículas en movimiento rectilíneo, de carácter reglado y necesario (debido a la fuerza motriz del peso atómico), sobre el que sobrevienen alteraciones inducidas de forma absolutamente casual por el *clinamen*. La consecuencia de ello, expresada en palabras de Reale y Antiseri, es esta: «Epicuro, y no Demócrito, es en realidad el filósofo que entrega el mundo al azar» (2008: 219).

2. El mundo-máquina

El atomismo de Epicuro fue popularizado en la Roma del siglo I a.C. por Lucrecio (cf. Reale & Antiseri, 2008: 224), pero después de éste no volvieron a aparecer las concepciones de tipo atomista en la historia del pensamiento hasta el siglo XVII¹³³ con Galileo, Gassendi, Descartes, Boyle y Newton (cf. Udías, 2012: 123-124).

La concepción corpuscular de la materia en el siglo XVII no fue una reedición del atomismo filosófico griego, sino una traslación a la esfera de los constituyentes últimos de la naturaleza de unas categorías aplicadas anteriormente al análisis del movimiento de los objetos observables. El pionero en el desarrollo de esta nueva concepción del mundo como materia en movimiento fue Galileo¹³⁴, a cuya exposición dedicó especialmente la obra publicada en 1638 bajo el título *Discursos y demostraciones matemáticas en torno a dos nuevas ciencias, que versan sobre la mecánica y los movimientos locales*. En ella postuló que el mundo está integrado por partículas

¹³³ La cronología de los autores citados es esta: Galileo (1564-1642), Gassendi (1592-1655), Descartes (1596-1650), Boyle (1623-1723) y Newton (1642-1727).

¹³⁴ Habitualmente, el gran predicamento de Galileo se atribuye a los hallazgos astronómicos que, por una parte, le permitieron dar fundamentos muy sólidos a la teoría heliocéntrica de Copérnico (1473-1543) y, por otra parte, fueron el detonante de una agria controversia con la Iglesia Católica. Sin embargo, la relevancia de Galileo para nuestro trabajo no se relaciona con sus descubrimientos en el campo de la Astronomía; su trascendencia aquí es debida a sus aportaciones pioneras a la Mecánica física, especialmente las relacionadas con la fundamentación inicial de la Dinámica, que posteriormente habría de ser desarrollada exhaustivamente Newton.

caracterizadas, desde el punto de vista físico-mecánico¹³⁵, por dos *cualidades primarias* cuantificables objetivamente: la masa y el movimiento¹³⁶, y se sirvió de la formulación matemática para expresar una serie de relaciones entre conceptos tales como *espacio*, *tiempo* y *masa*, que describían con precisión las características del movimiento de los objetos, según demostraba la comprobación experimental¹³⁷ (cf. Barbour, 2004: 29-34; Reale & Antiseri, 2010a: 245-255). La aportación de Galileo a la Dinámica física abrió el camino a una honda revolución en la comprensión del universo como gran máquina en cuyos mecanismos siguieron investigando Descartes y Newton.

En sus *Principia Philosophiae* (publicada en 1644), Descartes insiste en afirmar la *res extensa* como único constituyente del mundo material, de la que solo son cognoscibles de forma clara y distinta las propiedades ya definidas por Galileo: su divisibilidad en partes y la movilidad de estas, a las cuales se pueden asignar magnitudes cuantificables. Por otra parte, ese movimiento de los objetos materiales está regido, según Descartes, por varios principios fundamentales: el de la conservación de la *cantidad de movimiento*¹³⁸, el de *inercia*¹³⁹ (que también Galileo enunció), y el que afirma la continuación del movimiento en trayectoria rectilínea de un cuerpo mientras no actúe sobre él una nueva fuerza. Dado que estos principios pueden formularse matemáticamente mediante relaciones entre las magnitudes correspondientes, y puesto que dichos principios rigen la *res extensa* toda, es decir, son válidos en todo el Universo, se intuía como posible la construcción de un modelo mecánico y matemático del mundo con el cual el hombre podría llegar a explicar todos los fenómenos de la naturaleza, tanto de la inorgánica como de la vida orgánica¹⁴⁰. Esta visión *mecanicista* universal de Descartes impulsó la investigación metódica y empírica de la naturaleza (ya aplicada por Galileo) en la expectativa de lograr una modelización físico-matemática del mundo que permitiera al ser humano su

¹³⁵ La Mecánica física estudia las leyes que rigen los estados de equilibrio de los sólidos (Estática), así como las del movimiento de los cuerpos sometidos a la acción de las fuerzas (Dinámica).

¹³⁶ En la Mecánica física, el concepto "movimiento" tiene un sentido técnico: no es una acción, sino una magnitud cuantificable, razón por la que se puede hablar de "cantidad de movimiento" en terminología acuñada por Descartes (que equivale al concepto de *impeto* en Galileo y al *motus* en Newton).

¹³⁷ Debe hacerse notar que Galileo combinó los planteamientos teóricos, expresados en formulaciones matemáticas, con la comprobación experimental de las conclusiones derivadas de aquellos, razón por la que amerita el ser reconocido como uno de los padres del método científico, cuyo desarrollo alcanzó su plenitud con Newton.

¹³⁸ Véase la definición y el modo de su cálculo en el Glosario.

¹³⁹ Véase el enunciado del principio o ley de inercia en el apartado 3 de este Apéndice.

¹⁴⁰ Para Descartes, no sólo la naturaleza inorgánica, sino también los animales y el cuerpo humano son solo máquinas, *autómatas o máquinas semovientes semejantes a relojes, compuestos de ruedecillas y muelles, que pueden contar el tiempo*. La vida se reduce a la acción de entidades sutiles que son llevadas desde el corazón al cerebro por medio de la sangre y se difunden por todo el cuerpo regulando todas las funciones del organismo. Sólo la *res cogitans* queda excluida del mecanicismo universal cartesiano (cf. Barbour, 2004: 69; Reale & Antiseri, 2010a: 329).

conocimiento y dominio, según el proyecto programático ya propuesto por Bacon (cf. Reale & Antiseri, 2010a: 326-331).

Sin embargo, habría que esperar aún algunas décadas para que esa expectativa se hiciera realidad gracias a las intuiciones y genialidad de Isaac Newton, entre cuyas aportaciones a la historia de la ciencia destaca la obra monumental publicada en 1687 bajo el título *Philosophiae Naturalis Principia Mathematica*. Es cierto que Newton construyó sus teorías a partir de los legados de Galileo, Kepler y Descartes, pero fueron sus propios descubrimientos los que le permitieron dar fundamento empírico-matemático a las propuestas *mecanicistas* de la naturaleza, tanto astral como terrena. Su visión del universo quedó conformada por una cantidad infinita de partículas cuyos equilibrios y movimientos obedecen a una estricta regulación establecida por las leyes de la Dinámica y de la gravitación universal newtonianas¹⁴¹: se impuso así la concepción del mundo como una máquina sujeta al gobierno universal de principios físico-matemáticos absolutamente deterministas, que permitían calcular con toda precisión y certidumbre las evoluciones pasada y futura de cualquier sistema del que se conociesen los valores de su estado en un momento dado.

3. Las leyes de Newton para la Mecánica física ¹⁴²

3.1 Antecedentes

Galileo Galilei (1564-1642) fue uno de los padres del método científico moderno combinando la elaboración de hipótesis a partir de la observación de los fenómenos naturales con el diseño y realización de experimentos que permitiesen comprobar el acuerdo entre los resultados de éstos con los pronosticados por las hipótesis previas.

Como fruto de la aplicación de dicha metodología pudo ya avanzar de forma incipiente dos leyes de la Mecánica física que luego pasaron a integrar las dos primeras leyes newtonianas de la Dinámica: la *ley de inercia* y la ley que rige la relación entre fuerza y variación del movimiento. La primera de éstas fue también formulada con gran precisión por René Descartes (1596-1650).

3.2 Las leyes de la Dinámica

Isaac Newton (1642-1727), en su obra publicada en 1687 con el título *Philosophiae naturalis principia mathematica*, presenta sus tres leyes de la Dinámica, que pueden enunciarse del modo siguiente:

¹⁴¹ El apartado 3 de este Apéndice expone de forma sintética la génesis y formulación (descriptiva y matemática) de las leyes newtonianas citadas en el texto.

¹⁴² Cf. Reale & Antiseri, 2010a: 193-273, 305-331.

a) La ley de la inercia (ya intuita por Galileo y formulada Descartes), según la cual todo cuerpo permanece en reposo o movimiento rectilíneo uniforme si no actúan nuevas fuerzas sobre él.

b) La segunda ley (también formulada por Galileo) afirma que el cambio de movimiento (aceleración) de un cuerpo es proporcional a la fuerza motriz que se aplica y se realiza en la dirección rectilínea de dicha fuerza. Matemáticamente puede formularse así:

$$\text{aceleración} = \text{fuerza} / \text{masa}.$$

c) La ley de acción-reacción afirma que a toda acción se opone siempre una reacción igual, es decir, las acciones recíprocas de dos cuerpos son iguales siempre y dirigidas en sentido contrario.

3.3 La ley de la gravitación universal

Por otra parte, Newton establece en *Philosophiae naturalis principia mathematica* la importantísima ley de la gravitación universal, según la cual existe una fuerza de atracción entre cualesquiera dos cuerpos del universo, cuya intensidad es directamente proporcional al producto de las masas respectivas, e inversamente proporcional al cuadrado de la distancia que las separa. Su expresión matemática es la siguiente:

$$\text{Fuerza de atracción} = G \times \text{masa}_1 \times \text{masa}_2 / \text{distancia}^2$$

En donde G es una constante cuyo valor también determinó Newton.

La experimentación con objetos accesibles permitió a Newton el descubrimiento y comprobación de la estructura matemática de la atracción gravitatoria entre cuerpos y la evaluación de la constante de proporcionalidad existente. Sin embargo, la elevación de la ley al ámbito universal solo pudo comprobarla indirectamente gracias al instrumento que le proporcionaron las leyes descubiertas por Johannes Kepler (1571-1630), coetáneo de Galileo.

En 1609, se había publicado la *Astronomía nueva* de Kepler, en la que este exponía sus dos primeras leyes relativas a la teoría heliocéntrica del sistema solar. La gestación de éstas se originó en un enigma astronómico planteado por ciertos movimientos “irregulares” del planeta Marte que la teoría heliocéntrica de órbitas circulares no había permitido explicar ni a Nicolás Copérnico (1473-1543), ni a Tycho Brahe (1546-1601). Sobre la base de las numerosas observaciones de este último y de las propias, Kepler concluyó que la órbita circular no podía explicar las “irregularidades” del movimiento de Marte y descubrió que, si se adoptaba una órbita elíptica con el Sol en uno de sus dos focos, el enigma quedaba resuelto. Sobre la base de este éxito, Kepler estableció el carácter elíptico de la órbita de Marte, lo cual constituyó inicialmente

su primera ley, que extendió al resto de los planetas solares en su obra *Epitome astronomiae copernicanae*, publicada en 1618.

Por otra parte, sobre la base de una ingente multitud de datos obtenidos en sus observaciones astronómicas, Kepler pudo comprobar que la *velocidad areolar*¹⁴³ de cada planeta es constante, lo cual constituyó su segunda ley.

La tercera ley de Kepler, cuya deducción tenía mayor complejidad matemática, hubo de esperar a la publicación en 1619 de *Armonías del mundo*; su enunciado afirma que los cuadrados de los tiempos (o periodos) empleados por dos planetas en realizar una revolución completa en sus respectivas órbitas están en igual proporción que los cubos de sus respectivas distancias medias al Sol.

Las leyes de Kepler representaban una descripción matemática absolutamente precisa de la cinemática del sistema solar, pero nada explicaban sobre las causas que subyacían a esas particularidades orbitales que venían a desautorizar la doctrina establecida por Aristóteles y sus seguidores, la cual había estado vigente durante casi dos milenios.

Fue Newton quien, a partir de las ideas heliocéntricas de Copérnico, de las observaciones de Galileo y de una ingente cantidad de datos astronómicos aportados por los trabajos de Kepler, pudo comprobar que la racionalidad de todo ello se encontraba en su ley de la gravitación. En efecto, demostró que la trayectoria de un cuerpo que girase alrededor de otro en una órbita estable bajo una fuerza que respondiese a la fórmula gravitatoria debía ser una elipse en uno de cuyos focos se encontrase el cuerpo de posición fija.

¹⁴³ Véase la definición en el Glosario.

APÉNDICE D

La revolución en la física y la cosmología del siglo XX

1. El espacio-tiempo en la teoría de la Relatividad ¹⁴⁴

La teoría de la relatividad hace tambalear muchas concepciones respecto a la naturaleza del Universo, especialmente respecto al tiempo que, en nuestra propia identidad personal, está ligada a un continuo de experiencias mediante un factor vinculante como la memoria.

La teoría de la relatividad restringida, propuesta por Albert Einstein en 1905, fue desarrollada para tratar de explicar la aparente incompatibilidad entre el movimiento de los cuerpos materiales y la propagación de perturbaciones electromagnéticas. La conclusión de Einstein fue que incluso en las señales luminosas se verifica el principio de relatividad, es decir, que todo tipo de movimiento uniforme es relativo.

La primera consecuencia de ello extraída por Einstein fue el abandono de la creencia mantenida en la física clásica respecto al carácter absoluto y universal del tiempo; contrariamente a ello, el tiempo aparecía como “elástico”, pudiendo dilatarse o contraerse con el movimiento de forma que cada observador tiene su propia escala personal de tiempo, es decir, que el tiempo de dos observadores distintos depende de su propio sistema de referencia y puede no ser sincrónico. Todos los observadores viajan en el tiempo en dirección al futuro, pero la elasticidad del tiempo hace que unos lleguen antes que otros: el movimiento rápido de un observador permite frenar su propia escala de tiempos respecto a la correspondiente a su estado en reposo.

La clave de ese efecto es la velocidad de la luz: cuanto más se acerca un observador a ella, mayores son las distorsiones de la escala temporal; por esta razón es posible reducir el paso del tiempo en los grandes aceleradores usando partículas subatómicas (tales como los llamados muones¹⁴⁵, que se desintegran en un microsegundo aproximadamente) a altas velocidades, próximas a la de la luz, de forma que pueden mantenerse vivas durante tiempos muy superiores a los que cabría esperar de ellos en reposo. Análogamente, los experimentos realizados con relojes atómicos de gran precisión han mostrado que el reloj que es lanzado en un cohete espacial a gran velocidad retrasa con respecto al que ha quedado en tierra.

¹⁴⁴ Cf. Davies, 1986: 139-148.

¹⁴⁵ Véase la definición en el Glosario.

Al igual que el tiempo, el espacio también es elástico: cuando el tiempo se dilata, el espacio se comprime¹⁴⁶: la distorsión de un segundo equivale a 30.000 km de distorsión en el espacio.

Por otra parte, la teoría de la relatividad muestra que el espacio-tiempo no obedece a la geometría plana (euclídea) y que se ve distorsionado por el campo gravitatorio de forma que el tiempo corre más velozmente en el espacio donde ese campo es más débil; inversamente, cuanto más fuerte es la gravedad más fuerte es la distorsión del tiempo y más lento el transcurso de este. Esta es la causa por la que un reloj situado en una altitud mayor (menor fuerza gravitatoria) que otro adelanta respecto al situado en el nivel menor (no es siquiera necesario enviarlo en un vehículo al espacio para apreciar el efecto). Una consecuencia de esa relación entre el tiempo y los campos gravitatorios es que en los agujeros negros, en los que la fuerza gravitatoria tendería a un valor infinito, se produciría una singularidad en la que el tiempo tendería a quedar “congelado” totalmente, mientras en su exterior estaría transcurriendo una eternidad, más aún, el Universo exterior habría concluido su existencia.

Actualmente, se entiende que el tiempo puede contraerse y dilatarse, incluso detenerse totalmente en una singularidad: los ritmos de los relojes no son absolutos sino relativos al estado de movimiento y a la situación gravitacional del observador. No hay, pues, un “momento presente” universal, de modo que sucesos que ocurren en lugares separados pueden ser simultáneos para un observador, mientras que para otros observadores pueden no serlo, de forma que para uno pueden suceder en una secuencia y para otro en la contraria, lo cual no implica que se pueda invertir causa y efecto entre ellos, si la hubiere. Por tanto, en la teoría de la relatividad, los términos pasado, presente y futuro quedan sin sentido absoluto ya que lo que es pasado para un cierto observador puede ser presente o futuro para otro.

Para muchos físicos este misterioso fluir del tiempo es algo confuso; todos reconocen que existe una asimetría entre pasado y futuro en el Universo, producida por la segunda ley de la termodinámica: hay una “flecha del tiempo”, que algunos físicos han atribuido a una cualidad no material peculiar, entretanto que otros han buscado el origen de esa asimetría en los procesos cuánticos o en la expansión del Universo. El físico Paul Davies cree que el error está en pasar por alto que la asimetría temporal, al igual que la vida, es un concepto holístico y, por tanto, no puede reducirse a las propiedades de las moléculas individuales; para él, no hay inconsistencia

¹⁴⁶ Este efecto se puede ejemplificar con una experiencia analógica: para un observador que viaja en un tren, al pasar por una estación a gran velocidad, el tiempo del reloj de la estación corre algo más lento que para alguien situado en ella, pero en cambio la plataforma parece más corta para el observador del tren en relación con el que está en la estación.

entre la simetría en el nivel molecular y la asimetría en el macroscópico; sólo son dos niveles descriptivos diferentes y tal vez el tiempo no fluya realmente.

2. La Mecánica cuántica ¹⁴⁷

2.1 Hallazgos originarios

Durante el siglo XIX, los físicos clásicos se ocupaban, entre otras cuestiones, de una aparentemente sencilla que consistía en explicar las razones por las que varía el color de la luz emitida por un objeto de metal cuando lo hace su temperatura al ser calentado al fuego. La luz era concebida en la física como una onda que, como tal, podía ser emitida en cualquier longitud de onda y en cualquier cuantía. Al iniciarse el siglo XX, el físico Max Planck comprendió que esta concepción era precisamente el origen de la problemática antes planteada y propuso sustituirla por la hipótesis consistente en que la luz solo podía ser emitida en pequeños “paquetes” de energía, que denominó con la palabra latina *quanta* (cantidades). Las predicciones sobre la composición del espectro luminoso de un metal incandescente realizadas a partir de dicha hipótesis resultaron plenamente coincidentes con los resultados de la experimentación y el problema quedó resuelto de forma satisfactoria. Un año después, Planck descubrió que las anomalías en el espectro de la radiación de un cuerpo negro se eliminaban de manera empíricamente satisfactoria si se postulaba que también esta radiación era emitida o absorbida en “paquetes”, formulando así una de las leyes básicas de la teoría cuántica.

Sin embargo, la solución de Planck tuvo importantes implicaciones para la física porque planteaba un nuevo problema: la luz parecía ahora responder a un flujo discontinuo de partículas, lo cual carecía de sentido para los físicos, Planck incluido, quien consideró que el *quantum* de energía era solo un recurso explicativo matemático que no respondía a una realidad física. Pero en 1902, al realizar experimentos sobre el denominado efecto fotoeléctrico, Philipp von Lenard descubrió que el impacto de un rayo de luz sobre una lámina de metal en el vacío conseguía que dicha lámina emitiese electrones; constató que la energía de estos no guardaba relación alguna con la energía de la luz incidente sobre la placa emisora ya que la energía de aquellos no se veía modificada a pesar de que había una proporcionalidad directa entre la intensidad de la luz y el número de electrones liberados: sorprendentemente, descubrió que era la longitud de onda de la luz utilizada la que determinaba la energía de los electrones.

¹⁴⁷ Barbour, 2004: 279-297; Davis, 1986: 118-135; Miller, 2007: 198-201; Polkinghorne, 2000: 45-57; Polkinghorne, 2005: 35-38 y 53-57; Udías, 2012: 135-140.

En 1905, Albert Einstein retomó las ideas de Planck y propuso que la energía necesaria para expulsar un único electrón de la lámina metálica correspondía exactamente a un *quantum* de luz; esta hipótesis explicaba que una mayor intensidad de luz liberase mayor número de electrones, permaneciendo invariable la energía de cada uno de estos, y que dos rayos luminosos de distinta energía (longitud de onda, color) produjesen emisiones de electrones de dos distintas energías¹⁴⁸. Así, Einstein demostró simultáneamente que los *quanta* de Planck no eran un mero constructo matemático y que la luz se comportaba como si fuera un flujo de partículas, denominadas *fotoes*. La física clásica se enfrentaba así a una aporía ya que la experimentación había demostrado anteriormente que la luz tiene características ondulatorias (se refleja, se difracta, tiene frecuencia y longitud de onda); la luz se presentaba, pues, con dos naturalezas incompatibles en principio: como una onda continua y como un flujo discontinuo de partículas discretas.

2.2 Una realidad física dual

El contraste entre la física clásica y la cuántica muestra una diferencia formal que no presenta grandes problemas de comprensión y que puede concretarse en el denominado “principio de superposición” de la teoría cuántica debido a Paul Dirac, según el cual pueden agregarse estados físicos que la teoría clásica no permite combinar. El significado de este principio puede comprenderse a partir de uno de los experimentos cuánticos más típicos, el consistente en el disparo de electrones a través de una placa con dos ranuras, cuyo diseño y resultados se pueden sintetizar así:

- a) Se prepara una fuente de electrones (F), frente a una pantalla (P) que posee dos ranuras (1 y 2), y tras esta se sitúa una segunda pantalla de detección (D) capaz de registrar la imagen de los impactos de los electrones contra ella.
- b) Desde F se lanzan electrones contra P con secuencias tales que se asegure el poder identificar sus impactos individuales en D.
- c) El experimento permite observar que las huellas de los impactos (puntos) de los sucesivos electrones muestran a estos como partículas discretas.
- d) Sin embargo, después de realizar un número elevado de impactos, se observa en D que la nube de sus huellas tiene “bandas” con densidad alternativamente fuerte y débil, similares a las obtenidas en los “patrones de interferencia” característicos de los sistemas de ondas. Es decir, pareciera que a D llegan ondas desde las ranuras 1 y 2 de P; cuando estas ondas se encuentran en D en la misma fase (cresta ondulatoria) se

¹⁴⁸ Albert Einstein recibió su único premio Nobel precisamente por esta teoría y no por la teoría de la relatividad.

refuerzan mutuamente, y cuando se encuentran en fase contraria (cresta contra valle) se anulan mutuamente.

Este experimento evidencia la paradoja cuántica que presenta a una misma entidad física, los electrones, como dotada de propiedades tanto corpusculares como ondulatorias, lo cual es absolutamente inexplicable para la física clásica. Profundizando en el experimento, surge la pregunta acerca de la trayectoria seguida por los electrones, esto es, la ranura por la que cruzan P. Si fuera por la ranura 1, podría obturarse la 2 y entonces las huellas de los impactos deberían producirse en la zona de D situada en línea recta con F y 1; sin embargo, la realidad es que la mayoría de las huellas se registran en la zona de D centrada respecto a las ranuras de P, luego los electrones no habrían podido pasar por 1. Del argumento simétrico se deduce que tampoco podrían haber pasado por 2 y la única solución al dilema es afirmar que el electrón, que es indivisible, pasa por 1 y 2 simultáneamente, es decir, que su estado de movimiento resulta ser una paradójica superposición de dos sucesos: “pasar por 1” y “pasar por 2”, lo cual sería imposible en física clásica.

Si se complementa el experimento con un instrumento capaz de detectar la ranura por la que pasan los electrones, se obtienen dos resultados aún más sorprendentes. Por una parte, ya no se producen los “patrones de interferencia” en D; por otra parte, los electrones pasan a veces por 1 y a veces por 2 de forma absolutamente arbitraria aunque ambos sucesos tienen iguales probabilidades. Es decir, no es posible predecir un resultado definido, sino solo probabilidades de los sucesos: 50% para el paso de electrones por 1 y 50% por 2. Este elemento de azar ha llevado a la mayoría de los físicos a dos conclusiones: a) la teoría cuántica es indeterminista; b) las entidades cuánticas solo presentan una propiedad definida cuando son observadas experimentalmente para determinar precisamente esa propiedad; es decir, solo cuando se lleva a cabo la medición de una propiedad se obtiene una respuesta definida. El problema que esto suscita consiste en encontrar una interpretación que explique que, pese a que la teoría cuántica solo puede calcular probabilidades de los posibles resultados se obtenga un resultado concreto cada vez que se somete a una interrogación experimental; es el denominado “problema de la medida” (o también “colapso del paquete de ondas” ya que, si el electrón se detecta por ejemplo en 1, solo está presente la parte 1 de la onda original, y la superposición ha quedado reducida a un único término, habiéndose “colapsado”, desaparecido, la onda procedente de 2, y es este cambio alternativo el que produce la citada desaparición del “patrón de interferencia” centrado en D y la concentración de impactos en la zona de D alineada con F y con la ranura 1).

2.3 El problema de la medida

Se ha dado diversas interpretaciones a este problema que pueden resumirse en cuatro principales: la de Copenhague, la del *gato de Schrödinger*, de los *mundos múltiples* y la de Bohm.

La explicación inicial, la *interpretación de Copenhague*, fue la de Niels Bohr; según ella, la acción de tomar una medición supone una intervención del mundo clásico (el instrumento de medida) en el mundo cuántico, lo que provoca que ese aparato clásico registre alguna propiedad del sistema cuántico observado, es decir, que el instrumento de medida posee la capacidad de determinación de una propiedad, de forma que al poner en relación entidades cuánticas y aparatos de medida se obtendrá un resultado. Bohr señalaba que si a una entidad cuántica se le hace una “pregunta” (medición) propia de partículas, se obtiene una respuesta propia de partículas y, si la pregunta es propia de ondas, la respuesta lo será de ondas: para Bohr, esto no entraña ninguna contradicción ya que el aparente conflicto obedece solamente a que la interrogación realizada utiliza formas de experimentación mutuamente excluyentes. De hecho, Paul Dirac formuló una teoría cuántica de campos cuyo formalismo explícitamente está dotado de esta propiedad. En definitiva, la naturaleza presenta una dualidad corpúsculo-onda, propiedad de la teoría cuántica que Bohr denominó *complementariedad*, esto es, un mismo fenómeno puede recibir explicaciones contrastantes, cada una de las cuales es completa en sí misma; la clave de su coherencia es el *principio de superposición*.

A la explicación de Bohr se presentó la objeción siguiente: los aparatos están formados por constituyentes cuánticos, es decir, no son dos clases de materia física distintas; por ello, sería necesaria una teoría que explicase que los sistemas complejos (aparatos) pueden realizar una función determinativa a pesar de estar compuestos de entidades indeterministas. En este sentido, tal vez sea un indicio favorable el hecho de que los sistemas complejos son irreversibles, es decir, tienen un “antes” y un “después”, al igual que sucede con la acción de medir (después de medir, se conoce algo que antes se ignoraba).

Una cierta variante de la interpretación anterior es la que considera que la intervención de la mente humana es la que desempeña el papel determinante, pero esto suscita la pregunta ¿no ha habido procesos cuánticos con resultados concretos y definitivos hasta que apareció la mente humana? Este problema es el que plantea el experimento mental del denominado *gato de Schrödinger*, que parecería estar vivo y muerto simultáneamente hasta que el experimentador decidiese observar su estado concreto.

La propuesta de los *mundos múltiples* afirma que cada vez que se realiza una medición cuántica, el mundo se divide en toda una serie de mundos paralelos (correspondientes a los

diversos resultados posibles de la medición), todos existentes aunque incomunicables entre sí. Es una explicación que no ha encontrado apenas apoyo entre los físicos.

Por su parte, David Bohm afirma que las aparentes incertidumbres de la teoría cuántica se deben a que no todos los factores que intervienen son accesibles a la observación humana y que existen “variables ocultas”. Bohm fue el primero que construyó una teoría de esta naturaleza que fuese empíricamente satisfactoria; sus consecuencias experimentales son idénticas a las de la mecánica cuántica convencional y trabaja tanto con partículas como un onda asociada a ellas que codifica información sobre el entorno y “guía” el movimiento de la partícula, pero que es ella misma no observable. Esta interpretación alternativa muestra que la indeterminación cuántica no es una exigencia absoluta de esta teoría, sino que la interpretación depende de una opción metafísica; la interpretación de Bohm muestra que es posible dar una explicación determinista aunque basada en factores ocultos, que no podrán ser descubiertos por la experimentación, lo cual hace muy artificiosa la explicación de Bohm y es poco aceptada por los físicos, que mayoritariamente optan por la de Bohr.

Lo sorprendente es que la teoría cuántica se emplea profusamente con éxito desde hace más de ochenta años, pero paradójicamente sigue abierta a debate la explicación sobre un aspecto tan esencial como el problema de la medida.

2.4 Otras paradojas

Lo expuesto anteriormente fue sólo la primera amenaza de la revolución cuántica a las certezas de una física clásica gobernada por leyes fijas y deterministas; a ella le siguieron otras de no menor trascendencia, entre las que destaca una muy relevante: la incapacidad de predecir el resultado de ciertos experimentos muy controlados.

Inicialmente se sostuvo la expectativa de que esta incertidumbre de los sucesos cuánticos solo afectase a la luz; sin embargo, pronto se descubrió que la teoría cuántica regía también el comportamiento de los electrones, es decir, de una de las partículas elementales que integra el átomo y que determina las propiedades químicas de la materia: por principio, tampoco era predecible su comportamiento en las colisiones individuales.

A ello se sumaron otros efectos sorprendentes tales como el denominado “no localidad” o “efecto EPR”, según el cual cuando se produce una interacción entre dos entidades cuánticas, estas conservan la capacidad de influenciarse mutuamente aunque se haya alejado una de otra, cualquiera sea la distancia que medie entre ellas. Efecto este que Einstein consideró absurdo, pero cuya realidad fue comprobada por Alain Aspect en la década de los años 1980.

3 La estructura básica del universo

3.1 Cosmologías antiguas ¹⁴⁹

Junto con las concepciones del universo (cosmologías), siempre se ha planteado la cuestión de su origen (cosmogonía) y su conformación actual. Se pueden clasificar en tres aproximaciones distintas: científica, filosófica y teológica, que durante siglos caminaron unidas y hoy se contraponen. Aunque la cosmología actual es una ciencia de formalización matemática y apoyada en la observación, de ella se derivan cuestiones que se internan en el campo de la filosofía y la teología.

Las cosmovisiones han variado a lo largo de la historia y seguidamente se hace un apunte telegráfico de los tipos anteriores al siglo XX:

- a) Mágica. La propia de la prehistoria, época de los cazadores-recolectores, entre 30.000-4.000 a.C., a la que la investigación puede aproximarse a través de los pueblos ágrafos actuales; posiblemente fueran animistas y atribuyeran un cierto carácter sagrado a la naturaleza y la venerasen; utilizarían la magia para tratar de obtener el favor de los espíritus buenos, conjurando los malos manifestados en los fenómenos naturales.
- b) Mítica. Hacia el 10.000 a.C., al desarrollarse la agricultura, ganadería, lenguaje y urbanización, surgen las estructuras sociopolíticas y religiosas, que influyen en las cosmovisiones aparecidas en las civilizaciones más antiguas: Egipto, Mesopotamia, India y China, en las que se desarrollan relatos mitológicos para responder las cuestiones básicas acerca del mundo y del ser humano, sus orígenes; los dioses y la naturaleza suelen identificarse. En Mesopotamia se concibe un estadio inicial caótico. En el mundo mítico, los elementos no están animados, sino que son dioses o han sido producidos por los dioses que los rigen y a los que se debe dar culto. Surge la regulación de fiestas, trabajo, calendario y comercio, así como los conocimientos auxiliares de toda esa estructura socio-político-religiosa: astronomía, geometría, aritmética y medicina; la magia da paso a la astrología como ciencia incipiente basada en la observación y en las matemáticas. La concepción sumeria y babilonia era de una tierra plana rodeada de agua, cubierta por una bóveda semiesférica donde se situaban los astros, y suponían un mundo subterráneo en el que desaparecían cada día el Sol y la Luna.

¹⁴⁹ Cf. Udías Vallina, 2012: 225-239.

- c) Geométrica. En la antigua Grecia, se pasó del universo mítico al geométrico, produciéndose los primeros modelos matemáticos de él, que permitían predecir los movimientos de los astros. La visión filosófica y racional se separa así de la teológica: en el s. VI a.C., ya los griegos suponían la tierra flotando en el espacio finito y esférico del universo, cuyo centro era la Tierra. Había 27 esferas celestes para Eudoxo de Gnido; 52 esferas de éter inmutable supralunares para Aristóteles (para quien el universo era finito, eterno y necesario) con una última esfera, la del motor inmóvil divino. Demócrito concibió un universo de infinitos átomos en estado caótico inicial en un espacio vacío infinito, combinados al azar para dar lugar a todo; estas ideas fueron adoptadas por Epicuro y Lucrecio. El heliocentrismo fue ya defendido por Aristarco siglo III a.C. antes de Copérnico en el siglo XVI.
- d) Teológica. Sobre la base de Génesis 1, hasta el siglo XVI se concebía el cosmos geocéntrico, esférico, finito, creado por Dios en seis días y con un cielo empíreo más allá de la última esfera.
- e) Mecanicista. El universo era finito y heliocéntrico para Copérnico (1543) y Kepler. A ello Galileo añadió la visión de un cosmos regido por leyes físicas, en la que profundizaron Descartes y Newton, alcanzando su mayor grado con Laplace (1799-1825) en su obra *La mecánica celeste*. Sobre esta visión mecanicista, se abrió paso la concepción deísta, con un Dios creador de un universo con leyes que hacen innecesaria la acción divina posterior.

3.2 Cosmologías del siglo XX ¹⁵⁰

Se incluye seguidamente una simple enunciación de los múltiples enfoques que se han planteado durante el pasado siglo en relación con el origen y características del universo:

- a) Evolutiva. Pueden citarse: Einstein (1917), un universo estático y finito; De Sitter (1917), un universo en expansión; Friedmann (1922), un universo en expansión y/o contracción; Lemaître (1927), un universo en expansión con origen en un átomo primitivo caliente y denso; Gamow (1952), un cosmos en expansión a partir de la explosión de un átomo inicial en que se concentraba toda la materia, hace 17.000 años aproximadamente. En contraste con estas teorías, en 1948, Gold y Hoyle propusieron un universo estacionario, lo cual quedó falsado en 1964 al constatarse la radiación cósmica de fondo por Penzias y Wilson.

¹⁵⁰ Cf. Udías Vallina, 2012: 225-239. También: Davies, 1986: 12-13, 136-137.

- b) Modelo estándar del *Big-Bang*. Esta teoría estima que la constitución del universo consta de: la materia visible en un 4% (del cual, el 74% es hidrógeno, el 25% helio, y un 1% para el resto de elementos químicos); un 23% de materia oscura (de composición desconocida aún), y un 73% de energía oscura (presente en el espacio vacío, de signo contrario a la gravitación y que hace que el universo se esté acelerando en su expansión). Se considera que en el llamado “tiempo de Planck” (que es la fracción inicial de tiempo después del Big-Bang, equivalente a 10^{-43} segundos), el tamaño del universo era 10^{-33} cm (“tamaño de Planck”); por debajo de esos valores, no se cumplían las leyes normales de la física y hoy no se conoce el comportamiento ni las condiciones del universo anteriores.
- c) Modelo del “universo inflacionario”. En 1980, Guth propuso que en las primeras fracciones de tiempo después del Big-Bang, antes de 10^{-30} s, el tamaño del universo aumentó rapidísimamente con un factor de 10^{50} veces; luego, la expansión se desaceleró. Para explicar esa fuerte aceleración de la expansión se postula la “energía oscura”, opuesta a la gravitación, que hace que el espacio vacío mismo se expanda, siendo frenado por la gravitación. Al acabar la etapa inflacionaria, el universo se ha ido expandiendo regularmente hasta el tamaño actual con un radio de 10^{30} km, después de unos 15.000 millones de años. Por esta causa, la temperatura inicial de 10^{30} grados Kelvin (°K) disminuyó a 10^{12} °K hacia 10^{-5} s y a 10^8 °K tras el primer minuto. La actual es de 2 a 4 °K.
- d) Cosmología cuántica. Partiendo de la teoría cuántica, la propuesta más sorprendente en cosmología es la del físico Hugh Everett (1957), retomada por Bryce DeWitt: la llamada “teoría de los universos paralelos”, según la cual, siempre que se hace una medición, el universo se divide en dos. Ambos mundos son igualmente reales y ambos contienen observadores humanos, pero cada grupo percibe sólo su propia rama del universo; cuando el universo se divide, nuestras mentes se fragmentan con él y una copia va a habitar cada mundo y se cree única.
- e) Multiverso. En 1989, J. Leslie propuso una teoría en la que se postula una multiplicidad de universos (hasta infinitos). Cada universo está contenido en su propio espacio-tiempo y no puede observar nada fuera de él. Hay especialistas que consideran dudoso el carácter científico de una hipótesis como esta, dado que parece que no puede ser verificada (ni podrá serlo nunca por su propio planteamiento), ni falsada experimentalmente.

3.3 Elementos de la estructura material del universo ¹⁵¹

A principios del s. XX, Ernest Rutherford descubrió que el átomo no es una partícula elemental (como habían afirmado lo atomistas griegos), sino una estructura compuesta por un núcleo de una dimensión del orden de 10^{-9} cm, con una nube de electrones que se extiende hasta 10^{-8} cm. El núcleo se estructura mediante protones y neutrones, cuya masa individual es aproximadamente 1.800 veces superior a la de un electrón.

La nube de electrones carece de trayectorias orbitales concretas debido al factor cuántico, lo cual le da un carácter nebuloso; sin embargo, la Mecánica cuántica ha mostrado una notable armonía en la estructura de esa nube de electrones ya que estos se sitúan en estados estacionarios de energía y solo cambian de nivel si absorben o emiten “paquetes” de energía luminosa (cuantos), los fotones, cuyo registro produce un espectro de colores con frecuencias de onda discretas (líneas del espectro). Los niveles de energía siguen una ley que también rige los campos gravitatorios: la ley del inverso del cuadrado de un cierto factor (distancia).

En el interior del átomo actúan diversos tipos de fuerzas: la nuclear fuerte y la nuclear débil. La fuerza nuclear fuerte es la que mantiene la cohesión de los protones en el núcleo frente a la repulsión eléctrica de sus cargas de igual signo; es una fuerza muy superior a la eléctrica, pero deja de actuar súbitamente más allá de una cierta distancia menor que el tamaño del núcleo; esta fuerza no sigue la proporcionalidad al inverso del cuadrado de la distancia (que es la que rige la fuerza gravitatoria). En 1935, Hideki Yukawa aplicó una teoría del campo electromagnético (que explicaba la interacción entre cargas eléctricas mediante el intercambio de fotones) a la fuerza nuclear fuerte y descubrió que podía interpretarse como intercambio de cuantos-mensajeros (de naturaleza distinta a la de los fotones) que llamó “mesones” (en la actualidad, se denominan “piones”), que tienen una masa intermedia entre el protón y el electrón y que viajan a velocidades inferiores a la de la luz. Las partículas nucleares también están dispuestas en niveles cuánticos de energía discretos, pero con una estructura muy compleja. Las partículas que no son afectadas por la fuerza nuclear fuerte tienden a ser muy ligeras y son llamadas “leptones”: son los muones, electrones y neutrinos.

Después de la segunda Guerra Mundial, se construyeron los aceleradores atómicos en los que se provocan colisiones de partículas subatómicas a velocidades próximas a la de la luz y se produjo el descubrimiento de una gran cantidad de partículas menores aún, que integraban las ya conocidas. En estos aceleradores se descubrió otra fuerza, la eléctrica débil, que es muy

¹⁵¹ Cf. Davies, 1986: 171-192.

inferior a fuerte y a la electromagnética, pero mucho mayores que la gravitatoria; la fuerza eléctrica débil se relaciona con partículas muy inestables como los piones y sus componentes, los “muones”.

Las partículas pesadas se llaman “hadrones”, y existen dos familias: “bariones” (protones y neutrones) y “mesones” (“piones”); ambas familias tienen muchos subgrupos, cuyas propiedades se han podido describir sistemáticamente en función del concepto de simetría (no ya geométrica, sino abstracta, como los binomios mano izquierda-derecha, carga positiva-negativa, etc). Mediante la teoría matemática de grupos, se encontró un origen natural a todas las simetrías en términos de una única simetría fundamental.

Fue Murray Gell-Mann quien acuñó el término “quarks” para los bloques estructurales del núcleo atómico inferiores al nivel de los hadrones (protones-neutrones); los quarks se combinan en dobletes (mesón) y tripletes (barión), y residen en niveles de energía cuánticos. Se han ido definiendo tipos diversos de quarks: tres “sabores” (u –up-, d –down-, s –strange-), “encanto” (c –charm-), t (top) y b (bottom). Se asume que los quarks carecen de partes internas (al igual que los leptones, que no constan de quarks). Los protones y neutrones están hechos de quarks u y d, unidos en tripletes. Parece que si todas las demás partículas dejaran de existir repentinamente, el Universo se vería poco afectado. Para evitar conflictos con el principio de exclusión de Pauli de la mecánica cuántica, es necesario suponer que cada “sabor” puede presentarse en tres formas, los “colores” (“rojos”, “verdes” y “azules”), que se relacionan entre sí mediante la llamada “supersimetría”. La unión de los quarks se realiza gracias al “color” (la teoría de los campos generados por el “color” es denominada “cromodinámica”) y el equivalente del fotón es el “gluón”, de los que hay ocho tipos distintos (frente a uno sólo de fotones). A su vez, los gluones también tienen “color” e interactúan entre sí a diferencia de los fotones.

Es necesario hacer notar aquí que el concepto de estructura empleado por los físicos es oscuro y no debe entenderse como conjunto de componentes separables físicamente: por lo que se sabe, no es posible partir un protón y extraer sus quarks individuales, sino pares o tripletes de quarks ligados.

En cuanto a la trayectoria de la comprensión creciente de la estructura física de la materia y de sus fuerzas actuantes, los diferentes campos de la física habían ido integrándose en teorías más amplias desde el siglo XIX. En 1860, Maxwell propuso una descripción matemática que unificaba electricidad y magnetismo en una única teoría. En 1967, Steven Weinberg y Abdus Salam lograron expresar la fuerza electromagnética y la nuclear débil de forma que ambas

recibían una descripción matemática integrada, y en los años setenta se obtuvieron pruebas experimentales en su favor: ya sólo se hablaba de tres fuerzas fundamentales en la naturaleza. Se cree que fue en la primera fracción de segundo del origen del Universo, cuando prevalecían los procesos que estudia la teoría de la gran unificación, después de la cual se estableció el desequilibrio entre materia y antimateria, y la fuerza unificada se diversificó en las tres actuales (electromagnética, débil y fuerte), en un Universo relativamente frío.

Posteriormente se ha propuesto una “teoría de la gran unificación”, quedando independiente aún la fuerza de la gravedad; se prosigue la búsqueda de una teoría de la superunificación en la que haya sólo un campo de fuerzas que englobe los cuatro tipos. El logro de ello significaría el culmen de la física fundamental ya que esa teoría podría explicar la estructura y comportamiento de toda la materia (en sentido reduccionista) y permitiría describir la naturaleza con una sola ecuación maestra del Universo (expresión de un único, elegante y sencillo principio matemático). La esperanza de su hallazgo está depositada en un conjunto de teorías denominadas de la “supergravedad”, basada en una supersimetría descrita crípticamente como raíz cuadrada del espacio-tiempo, de forma que si se multiplican dos operaciones supersimétricas se obtiene una operación de simetría geométrica ordinaria, como una traslación en el espacio.

Por ello, en la actualidad se continúa dedicando muchos recursos a la construcción de aceleradores de altas energías para la investigación subnuclear, la cual se basa en la profunda creencia vigente de que la simplicidad es el núcleo de su complejidad natural porque los físicos se sienten generalmente fascinados por la elegancia de estas simetrías abstractas y creen en la belleza y simplicidad matemática de la naturaleza ya que se comprueba que cuanto menor es el sistema explorado, más generales son los principios.

3.4 El origen de la materia ¹⁵²

La historia del pensamiento muestra que, desde la Antigüedad, ha habido quienes han sostenido que el Universo era una realidad dada, cuyo origen no se planteaba como objeto de reflexión específica o, alternativamente, se concebía como inexistente: el mundo era eterno.

En la actualidad, ante la pregunta por el origen de la materia, parte de los científicos abogaban también por un Universo de edad infinita. Sin embargo, a partir de la relación entre masa y energía formulada por Einstein, $E=mc^2$, así como de las conclusiones de su teoría según las cuales la energía de movimiento de un cuerpo debía producir un aumento de su masa, se

¹⁵² Cf. Davies, 1986: 31-40; Udías Vallina, 2012: 241-244.

descubrió que la materia se crea a partir de energía concentrada (posibilidad ya comprobada en laboratorio desde los años 1930).

Posteriormente, Paul Dirac propuso la existencia de partículas y antipartículas (materia y antimateria, es decir, partículas de igual masa pero con cargas eléctricas opuestas), cuya existencia fue comprobada en 1933 por Carl Alexander. De hecho, se obtienen partículas y antipartículas fácilmente en los aceleradores atómicos a partir de altas concentraciones de energía, razón por la que la enorme acumulación de energía previa al Big-Bang pudo dar lugar a la materia. La generación de la materia habría seguido este proceso: inicialmente, la materia que se formada contenía solo quarks y leptones independientes, en interacción con los fotones portadores de la energía, en ciclos alternos de conversión en energía y reaparición como materia. Pasados aproximadamente 10^{-5} s desde el Big-Bang, los quarks quedaron confinados para formar protones, neutrones y mesones.

Se postula que originariamente coexistían materia (protones y electrones) y antimateria (antiprotones de carga negativa, y positrones -electrones de carga positiva-) en cuantías teóricamente iguales entre sí. Con anterioridad a la “edad” de 10^{-6} s después del Big-Bang, materia y antimateria se recombinaban continuamente, aniquilándose mutuamente y formando radiación de energía en forma de fotones, y la energía se convertía en materia, produciéndose continuamente pares de partícula y antipartícula. Sin embargo, hacia la “edad” de 10^{-6} s, con temperatura menor de 10^{13} °K¹⁵³, se produjo una pequeña asimetría que hizo desaparecer las antipartículas, quedando sólo protones por su mayor abundancia: el número de protones que se generaban superaba al de antiprotones en la proporción de un protón por cada 10^9 de antiprotones, y esos protones “sobrantes” («casi un capricho de la naturaleza», Davies, 1986: 36) habrían dado origen a toda la materia existente. Parece que esta teoría tiene a su favor el siguiente cálculo: sumando la energía calorífica de cada átomo “superviviente” de la aniquilación partícula-antipartícula tras el Big-Bang, el cómputo parece armonizarse con la energía resultante de esa aniquilación.

Después del primer segundo, con una temperatura de 10^{10} grados Kelvin (°K), se aniquilaron los positrones y quedaron sólo electrones libres, que eran también más abundantes, resultando en la desaparición de la antimateria. La proporción actual de protones (materia) y fotones (energía) es de uno a mil millones, lo cual indica que esa era la pequeña desproporción entre partículas y antipartículas en la etapa primigenia.

¹⁵³ Otros fijan este valor en 10^{18} °K.

El proceso siguió con la nucleosíntesis primordial de los primeros núcleos de H y He después de los tres primeros minutos posteriores al Big-Bang. El desacoplamiento de materia y energía se produjo después de 300.000 años, con una temperatura que había descendido hasta 10^4 °K; entonces, los núcleos de H y He capturaron electrones y formaron los primeros átomos neutros; con esa baja temperatura, los fotones no tenían energía suficiente para disociar los átomos, dejaron de interactuar con la materia y, desde esa época, viajan por el espacio vacío: es la radiación que se detecta hoy, enfriada a 2,7 °K, como radiación cósmica de fondo.

Existen algunas otras propuestas que tienen un grado especulativo mayor:

- a) La que prevé la desaparición espontánea de un protón por su descomposición en positrón y electrón los cuales, a su vez, se anularían mutuamente; para intentar comprobar esta teoría se están enterrando grandes masas de materia para intentar constatar este efecto espontáneo, pero no hay resultados favorables aún.
- b) Algunos otros físicos admiten la posibilidad de una conversión de la energía existente en el origen en materia sin antimateria. ¿De dónde surgió la energía necesaria? Se aduce que hay energía en el movimiento: en el laboratorio se pueden hacer chocar a altas velocidades dos partículas y obtener cuatro a cambio de que la velocidad de las primeras se reduzca, hecho que se parece a la “aparición a partir de la nada”. Más aún, se ha planteado la teoría que afirma que sería posible obtener materia a partir de un estado de energía *cero* (las cursivas son del mismo Davies), lo cual podría explicarse así: la energía de movimiento o la de masa son positivas y la energía de atracción de los campos gravitatorios o electromagnéticos es negativa, con lo que el saldo podría ser nulo a pesar de la existencia de esas energías.
 - c) Otra teoría sostiene que el campo gravitacional deforma el espacio curvo (según la teoría de la relatividad) y la energía encerrada en este espacio deformado puede convertirse en partículas de materia y antimateria, como sucede en las cercanías de un agujero negro: la materia aparecería espontáneamente en el espacio vacío. En este caso, lo que se debate es si el Big-Bang poseía energía o si el Universo es un estado de energía *cero* donde la energía de toda la materia está compensada por la energía negativa de la atracción gravitacional; un cierto cálculo de la energía total del Universo parece acercarse a este resultado y, si esto fuese así, el Cosmos podría haber surgido sin ningún suministro de materia ni energía. Sin embargo, estos planteamientos dejarían todavía sin justificar la existencia del espacio-tiempo, de cuya deformación habrían surgido la materia y la energía.

APÉNDICE E

El azar, la necesidad y la libertad en el siglo XVII ¹⁵⁴

1. Hobbes, Bramhall y Leibniz

La obra de Thomas Hobbes *Of Liberty and Necessity* (1654) fue probablemente la expresión más representativa del *determinismo* filosófico; en ella sostiene que no es racional hablar de la *libertad del querer* puesto que las motivaciones de las elecciones de la persona no dependen de su voluntad, razón por la que la mayor aspiración posible es el verse exento de coacciones para disfrutar de la *libertad de hacer*. A Hobbes se opuso el planteamiento que el obispo John Bramhall expuso en el libro publicado en 1655 con el expresivo título *A Defense of the True Liberty of Human Actions*, en el cual defiende que las motivaciones de la voluntad responden a una necesidad moral que proporciona al individuo la *libertad del querer* también, esto es, la capacidad del intelecto para eludir el determinismo racional y para posibilitar la deliberación íntima y la realización de juicios que orienten la acción de acuerdo con el objetivo considerado como el mejor posible.

La respuesta de Hobbes a Bramhall se produjo en la publicación de *Questions concerning liberty, necessity and chance* (1656), obra que llegó a manos de Gottfried W. Leibniz (1646-1716), el cual la sintetizó en el apéndice incluido en su *Teodicea* –publicada en 1710– con el título *Réflexions sur l'ouvrage que M. Hobbes a publié en Anglois, de la Liberté, de la Necessité et du Hazard*. En sus reflexiones, Leibniz trazó una vía intermedia entre el *determinismo radical* y la simple *indiferencia de equilibrio*.

2. Spinoza, King y Leibniz

Otro destacado defensor del *determinismo* fue Spinoza quien consideraba el libre albedrío como una ficción (ya que los hombres son sólo conscientes de sus voliciones, e ignoran las causas que provocan su querer y actuar), y que la más alta expresión de libertad era el reconocimiento racional de la *necesidad*, es decir, la aceptación de que las acciones humanas son sólo un eslabón necesario en la cadena infinita de causas naturales, razón por la que el

¹⁵⁴ Cf. Roldán Panadero, Concha, *Estudio preliminar: la salida leibniziana del laberinto de la libertad* (Leibniz, 1990: IX-XXIV, XLV-LXIV).

filósofo moral debía ser un naturalista. Para Spinoza, sólo Dios puede ser considerado libre porque existe en virtud de la sola necesidad de su naturaleza y se determina por sí solo a obrar.

El obispo William King, marcado por la reacción frente al escepticismo radical de los que negaban la libertad del ser humano, escribió *De origine mali* (1702) en donde refuta que los actos y las elecciones estén regidos por la necesidad, al tiempo que afirma la preeminencia de la voluntad sobre el intelecto. Por ello formuló la doctrina de la *indiferencia absoluta* según la cual la voluntad tiene el pleno poder de escoger, mientras que el intelecto tiene solo la función de control y dirección, y que su juicio sigue al movimiento de la voluntad, a cuyo servicio están los apetitos y sentidos.

Leibniz hizo también una recensión de la obra de King, coincidiendo con él en su punto de vista sobre el origen del mal en general y del mal físico en particular, pero disintiendo en lo referente a la libertad y al mal moral que de ella depende, porque King pretendía fundamentar la libertad en una *indiferencia de equilibrio* vaga y absoluta ya que se elige sin motivo. Para Leibniz, una acción libre es la que no sólo carece de coacción externa, sino que está también exenta de una necesidad absoluta que impida la elección, y considera que esta exigencia no justifica la *indiferencia de equilibrio* como alternativa, que juzga inexistente; una indiferencia que presupone que no hay una razón mayor para hacer una cosa en lugar de otra es inconcebible para Leibniz, razón por la que entiende como opuestos entre sí lo determinado y lo indiferente, de igual manera que contrapone la contingencia a la necesidad, y lo meramente voluntario a aquello que es fruto de la deliberación.

Pese a la oposición de Leibniz a la *indiferencia de equilibrio*, admite una cierta indiferencia que se identifica con la contingencia y pone al individuo a salvo de la necesidad manteniendo la posibilidad de los opuestos: la libertad de todas las sustancias inteligentes –incluido Dios mismo– han de estar acompañadas de un cierto grado de indiferencia o contingencia, de forma que nunca estén constreñidas con necesidad absoluta en sus actuaciones. La indiferencia como contingencia o no necesidad es un atributo de la libertad, pero no impide que haya una inclinación mayor por lo que se elige, ni exige que sea igualmente indiferente por dos partidos posibles, ya que esto significaría un cierto azar sin razón determinante, cosa quimérica para Leibniz. Por esta razón, Concha Roldán opina que, según Leibniz, una vez considerados todos los condicionantes, el individuo puede optar por no llevar a cabo actuación alguna, pero, en caso de actuar, elegirá aquello a lo que su deliberación le haya conducido.

Así pues, en todas las acciones del individuo subyacen razones determinantes que no le constriñen a actuar como lo hace, sino que únicamente le inclinan a ello: le proporcionan las diversas representaciones de la bondad de los objetos, y el espíritu se inclina del lado del mayor bien presente, esto es, encuentra en sí mismo el principio de su determinación. En definitiva, para Leibniz, la voluntad actúa siempre por motivos siguiendo la representación más ventajosa sin que nunca esté obligada a seguir el juicio del entendimiento. Siendo Leibniz un defensor pleno del principio de razón suficiente, afirma que las acciones están siempre determinadas y no pueden ser indiferentes ya que hay siempre una razón que nos inclina a hacer una cosa mejor que otra: nuestra libertad será mayor cuanto más se actúe de acuerdo con la razón.

3. La *Necesidad* en el pensamiento de Leibniz

Leibniz distingue cuatro tipos de *necesidad*: a) absoluta (la que lo es por sí misma); b) hipotética o física (a la que corresponde un riguroso encadenamiento causal condicionado por un supuesto dado); c) lógica, metafísica o matemática (la que lo es porque lo contrario implica contradicción); d) moral (la que deriva del previo establecimiento de fines, de la intención del sujeto racionalmente inclinado a elegir lo mejor). Los tipos c y d parecen poder reducirse a los a y b, respectivamente, según algunos textos. La necesidad absoluta es ciega, mientras la moral supone inteligencia y voluntad de un agente racional que elige libremente.

Para Leibniz, la indiferencia o indeterminación es inadmisibles porque es irracional. Pero si todo se realiza por una especie de deducción geométrica, entonces se suprime el acto creador de Dios, y la contingencia y la libertad desaparecen bajo la fatalidad ineludible. Por eso, la *necesidad* por la que algo sucede en el mundo ha de estar mediatizada por un acto libre que garantice que hubiera podido ser de otra manera.

Por otra parte, lo que es necesario hipotéticamente no es distinto de lo que es contingente en sí mismo; ambas cosas se desmarcan de la necesidad absoluta porque su opuesto no implica contradicción. Por ello, para Leibniz la necesidad hipotética y la contingencia representan un camino intermedio entre el azar o casualidad y el determinismo absoluto, un camino que permite fundamentar la libertad (externa e interna) salvando además la responsabilidad moral entre la indiferencia vaga y la coacción, ya que supone una voluntad que actúa según unos fines, consciente y reflexivamente “sub ratione boni”. En suma, para Leibniz, la hipótesis que hay que demostrar es la de la *necesidad*, no la de la libertad.

4. La definición leibniziana de libertad

Leibniz es consciente de la ambigüedad del concepto de libertad; para salir de ese laberinto, él ha precisado diferencias entre los conceptos de libertad, contingencia y espontaneidad, por una parte, y necesidad absoluta, azar (del que es expresión la “indiferencia de equilibrio”) y coacción, por otra. Hecho esto, trata de definir la libertad en sentido positivo, frente al modo negativo, el libre albedrío, que consiste en la posibilidad de elegir o no elegir entre dos términos de una disyunción. Habla de espontaneidad cuando el principio de actuación está en el agente (tiene que ver con la potencia), y de libertad cuando se trata de espontaneidad con elección o deliberación (tiene que ver con el conocimiento), esto es, espontaneidad inteligente, racional o consultante. Añade Leibniz que la libertad requiere que haya indiferencia –entendida como contingencia-, es decir, que no haya necesidad absoluta y metafísica o lógica. Con todo este trasfondo, en su obra titulada *Teodicea* define la libertad así: la libertad -tal como exigen las escuelas teológicas- estriba en la *inteligencia*, que entraña un conocimiento distinto del objeto de la deliberación, en la *espontaneidad*, con la cual nos determinamos, y en la *contingencia*, es decir, en la exclusión de la necesidad lógica o metafísica. La inteligencia es como el alma de la libertad, y el resto supone como el cuerpo y la base donde aquella se sustenta.

APÉNDICE F

Apuntes para la comprensión del encéfalo ¹⁵⁵

1. Las dicotomías mente-cerebro y alma-cuerpo ¹⁵⁶

Ya un papiro egipcio del s. XVII a.C. indica casos de heridas en la cabeza y, en algún caso, indica la coincidencia existente con una desviación de los ojos y una deambulación que arrastra el pie, mostrando la sorpresa que le producía al escriba que una herida en el cráneo tuviese efectos en puntos tan alejados del cuerpo. Sin embargo, la concepción de semitas y mesopotámicos era que la inteligencia, los sentimientos y la voluntad residían en el corazón y no en el cerebro.

En Grecia, para Demócrito la sensación y el pensamiento tienen una base material y dependen de una variedad física de átomos “finos, pulidos y redondos”, y toda sensación o imagen resulta del cambio de posición de esos corpúsculos en el espacio. Esos átomos “psíquicos” estaban esparcidos por todo el cuerpo, mientras que “el cerebro, guardián del pensamiento o de la inteligencia [...] contiene los principales lazos del alma”, con lo que abandonaba la idea homérica de que era el corazón el asiento del pensamiento (aunque considera el corazón como nodriza de la cólera y al hígado como hogar del deseo); los átomos “psíquicos” eran el sustrato material de los intercambios entre el cerebro y los órganos del cuerpo, prefigurando así la actividad nerviosa.

Hipócrates y sus seguidores consolidaron y enriquecieron la tesis de Demócrito mediante la observación clínica: descubrieron la relación cruzada entre hemisferios cerebrales y órganos corporales, así como la perturbación de la inteligencia cuando hay ciertas afecciones cerebrales. Con Hipócrates y Platón queda formulada ya explícitamente la tesis “céfalocentrista” como asiento del pensamiento. Sin embargo, Aristóteles volvió al corazón como sede de la inteligencia, de las sensaciones y de las pasiones; para él, el cerebro (hecho de agua y tierra, nunca llegó a ver un cerebro) sirve solo para refrigerar el organismo.

¹⁵⁵ Este Apéndice combina principalmente extractos de las obras de Changuex (1985), Jeeves & Brown (2010), y Changeux (2010).

¹⁵⁶ Cf. Changuex, 1985: 15-34.

Herófilo y Erasítrato (s. III a.C.) inauguraron la práctica de la disección corporal, estudiando el cerebro, los nervios motores, y constataron que el hombre tiene muchas más circunvoluciones cerebrales que otros animales superiores. Galeno sigue a estas dos figuras y constata (desautorizando definitivamente el cardiocentrismo) que el cerebro desempeña el papel central en la dirección del cuerpo y en la actividad mental; no obstante, la idea aristotélica sobrevivió hasta el s. XVIII.

En cuanto al binomio alma-cuerpo, Galeno (que era fisiólogo) desarrolla la noción de “neuma psíquico” que, según él, es producido y almacenado en los ventrículos cerebrales; esa sustancia circula por los nervios poniendo en relación el cerebro con los órganos de los sentidos y los motores; ese neuma se convertirá en los “espíritus animales” en el periodo clásico y, ya en el s. XVIII, en el “fluido nervioso”. Para Galeno el neuma es el órgano del alma, la cual tiene tres facultades: motriz, sensible (con cinco sentidos) y razonable (que incluye la imaginación, la razón y la memoria, a las que no asigna localización distinta el cerebro).

La escolástica medieval olvida a Herófilo y Erasítrato, pero en el Renacimiento se vuelve a las disecciones de cadáveres (Leonardo da Vinci, 1504-1507, en el Hospital Santa María Nuova de Florencia). Para Descartes, el cuerpo es una máquina en la cual los “espíritus animales” actúan como “el aire entre los tubos conductores de algunos cañones”, que no se identifican con el alma; su concepción de la naturaleza humana es dualista y rechaza la tesis tripartita de Platón, afirmando que el alma es única, inmaterial e inmortal; el alma se une al cuerpo en la glándula pineal y desde aquí regula la circulación de los “espíritus animales”.

Spinoza demolió esa concepción cartesiana, manteniendo solo la concepción del cuerpo como máquina. Willis representa un cierto retroceso respecto a Galeno aunque describe ya la corteza cerebral plegada que recubre centros “subcorticales” (los cuerpos estriados, los núcleos del tálamo, el cuerpo caloso que une los hemisferios, etc), distingue la sustancia gris (que dice engendra los “espíritus animales”), y la sustancia medular blanca (a partir de la cual se distribuyen esos espíritus por el organismo para dar sensibilidad y movimiento); sin embargo, acepta la idea de un alma razonable, humana e inmaterial, que se une en los cuerpos estriados.

Gassendi (principios s. XVII) rehabilita a los atomistas y a Lucrecio, sostiene que los animales dan prueba de memoria, razón y rasgos psicológicos próximos a lo humano, por lo cual conjetura que deben de tener alma también, desencadenado una polémica que, en vez de humanizar a los animales, tendió a animalizar al ser humano.

A principios del s. XIX, surgen dos teorías revolucionarias de la biología: el transformismo de Lamarck y la frenología de Gall. Este último era médico y anatomista, y deja constancia de que la corteza cerebral es el nivel más alto del encéfalo y que es propia de los mamíferos y del hombre; señala la uniformidad anatómica de la corteza, que se puede desplegar formando una capa continua; constata la identidad de la sustancia gris y la blanca en el nivel central y periférico; abandona la subdivisión del alma racional de Platón y Galeno, y el dualismo de Descartes; afirma que el hombre posee un elevado número de facultades morales e intelectuales que considera innatas, esenciales e irreductibles. Por otra parte, Gall establece una lista de veintisiete lugares en el córtex cerebral donde se localizan esas facultades (instinto de propagación o sexual, amor a la progenie o maternal, gusto por el riesgo o la lucha o agresividad, memoria verbal, sentido de las palabras, etc, cuya identidad ha quedado demostrada en el S. XX), y decide la ubicación de cada una correlacionando las distintas prominencias del cráneo con las de los individuos que muestran un grado exacerbado de alguna de esas facultades –craneoscopia-, ya que cree que éste reproduce las formas del córtex: nace así la frenología. Esta teoría de Gall se utilizó pronto en favor del materialismo y fue objeto de duras críticas; fue perseguido por la Iglesia y se le prohibió la enseñanza en Viena.

Flourens, proclive al dualismo, experimentó con animales y comprobó el efecto de la ablación de partes cerebrales en el comportamiento animal, mostrando los déficits motores, entre otros efectos, producidos con ello; cree poder afirmar que los lóbulos cerebrales participan en su conjunto en el ejercicio pleno de sus funciones; el córtex es para él el último refugio del alma. Muchas de sus conclusiones sobre el córtex son muy controvertidas hoy porque, al hacer ablaciones de parte de él, también destruía partes subcorticales, además de que sus conclusiones derivan de trabajos con pájaros o vertebrados inferiores principalmente.

Las primeras pruebas en favor del modelo de Gall se deben a los trabajos de su discípulo Bouillaud, que investigó el lenguaje en personas con traumatismos craneales o lesiones espontáneas cerebrales (inauguró así la anatomopatología del lenguaje, luego convertida en neuropsicología), constatando la aparición de parálisis en los órganos de fonación pese a mantenerse la movilidad de los miembros motores y viceversa. Broca logró que estas ideas de Bouillaud se impusiesen en 1861 al presentar en la Sociedad de Antropología de París el resultado de una autopsia de un paciente que había perdido el uso de la palabra (afasia): observó en la autopsia un daño en la parte media del lóbulo frontal del hemisferio izquierdo, aportando así la primera demostración de la localización cortical concreta de una facultad muy

definida, postulado esencial de la “organología” de Gall, cuya sospecha de la asimetría de los dos hemisferios quedaba también probada. Brodman (1909) dividió el córtex en 52 áreas con funciones distintas cada una, actualizando con su mapa la tentativa de Gall, aunque no se basaba en la craneoscopia, sino en criterios anatómicos y funcionales.

2. La unidad anatómica neural ¹⁵⁷

El desciframiento de la organización interna de la “sustancia nerviosa” (encéfalo) sólo se pudo acometer cuando se desarrollaron instrumentos como los microscopios ópticos de luz natural (s. XVI-XVII) y, luego, el de electrones (1950). Van Leeuwenhoek (1718) describió los nervios como “vasos” huecos (similares a los sanguíneos). Dutrochet (1824) hizo notar la existencia de unos “corpúsculos globulares” a los que llama “pequeñas células” y que cree son las que producen la energía que conducen las fibras nerviosas: es la primera aparición en la literatura científica de la célula nerviosa, cuyo cuerpo celular se denominó “soma”. Años después, Valentín observó que esas “esferas” se adornaban en el cerebelo con una o más “colas”, que más tarde se descubrió que son múltiples ramas arborescentes, razón por lo que se las denominó “dendritas”.

Planteada la pregunta acerca de la relación entre las fibras nerviosas o “axones” y los cuerpos de las células (soma) y, después de décadas de investigación, fue Deiters (en una publicación póstuma de 1865) quien propuso finalmente una imagen de la célula nerviosa que aún es vigente hoy -véanse figuras 1 a 4-, y está constituida por un cuerpo celular con núcleo y citoplasma, además de dos tipos de expansiones distintas: el axón (que es siempre único), y las dendritas (en general, múltiples y ramificadas). Así pues, Deiters constató que la “sustancia nerviosa” se compone de células como cualquier otro tejido, aunque esas células de la sustancia gris poseen prolongaciones únicas en su género y están envueltas en un entramado o neuroglia. Lo que no pudo averiguar Deiters fue la forma en que se unen las células nerviosas dado el límite de observación propio del microscopio óptico.

Ramón y Cajal demostró la relación de discontinuidad entre las células nerviosas, desdiciendo a Golgi que sostenía la existencia de una red axonal continua. En efecto, Cajal constató que en el lugar donde se establece el contacto de una terminación de la célula nerviosa con su “diana”, las membranas celulares no se fusionan, sino que quedan separadas por una

¹⁵⁷ Cf. Changuex, 1985: 34-42.

hendidura de varias decenas de nanómetros (10^{-9} m), es decir, se hallan en contigüidad y no en continuidad.

La singularidad de la célula nerviosa mereció una denominación específica, *neurona*, término creado por Waldeyer en 1890. En cuanto al punto de articulación entre neuronas, recibe como denominación el término *sinapsis*, acuñado por Sherrington en 1897.

3. Sinaptogénesis ¹⁵⁸

El aprendizaje del lenguaje es esencialmente posnatal aunque antes del nacimiento pueda producirse la formación de huellas de memoria. En el hombre, ese desarrollo posnatal es especialmente prolongado, con un incremento del volumen craneal de 4,3 veces, alcanzando el 70% del volumen adulto a la edad de tres años (en el chimpancé, el incremento es sólo de 1,6 veces, y en la rata de 5,9).

Los estudios de Bourgeois sobre macacos permitieron describir la evolución de la cantidad de contactos morfológicos definidos por una terminación presináptica cerca de un engrosamiento postsináptico y distinguió cinco fases: a) precortical (60 días después de la concepción); b) cortical precoz (70-100 días tras la concepción); c) cortical rápida, la más importante porque alcanza el 90 % de la densidad total de las sinapsis (40.000 sinapsis por segundo en la corteza estriada, y comienza dos meses antes del nacimiento, llegando a su estado máximo dos meses después del nacimiento y se produce en el nivel de las espinas dendríticas); d) meseta (de la infancia a la pubertad, con una densidad máxima de 600 a 900 millones de sinapsis por mm^3); e) decadencia (de la pubertad al adulto, acompañada de pérdida de sinapsis en las espinas dendríticas, antes de la caída rápida debida a la senescencia).

En el ser humano se han encontrado las mismas fases pero con diferencias entre distintas áreas; en el macaco, la evolución es globalmente sincrona para el conjunto de la corteza, pero en el ser humano la evolución de la corteza prefrontal es más larga (10 años) que la evolución de la corteza visual primaria (2-3 años) y debuta más tarde. Además, en el macaco, algunas fases (las c, d y e) son más sensibles a la experiencia, siendo la fase "c" de 136 días de duración, entretanto que en el ser humano es de 400 días; esta heterocronía epigenética humana manifestada por la fase "c" permite el aumento de la cantidad de combinaciones epigenéticas debido a la extensión del periodo de plasticidad posnatal y asegura una interacción sociocultural

¹⁵⁸ Cf. Changeux, 2010: 220-221.

prolongada para la adquisición del lenguaje, con un costo en genes particularmente modesto. El ensamblaje de la estructura del cerebro parece que se produce sin necesidad de la liberación de neurotransmisores, pero estos son necesarios para la estabilización de aquella.

4. La estructura del córtex ¹⁵⁹

Al igual que el resto del sistema nervioso, el córtex se compone de sustancia gris, que es la parte exterior en relación a la sustancia blanca –véanse figuras 5 a 7-; el córtex tiene en toda su extensión una estratificación en seis capas superpuestas (I a VI): en la I no hay neuronas piramidales, las cuales abundan en los II, III, V y VI; las estrelladas se acumulan en el IV. Sorprende que la disposición morfológica de la arquitectura celular del córtex sea muy similar en sus diversos puntos, aunque la gran uniformidad no impide que se aprecien variaciones en el espesor del córtex de un lugar a otro del cerebro, así como en la distribución de las categorías de células en las seis capas.

Un concepto relevante en relación con las neuronas es el de “categoría”, cada una de las cuales está formada por las que tienen la misma forma y composición química, es decir, que sintetizan un mismo abanico de moléculas –especialmente proteínas-, lo cual define su mapa de genes “abiertos”, es decir, susceptibles de ser expresados en forma de proteínas. Un hecho sorprendente es que el número de categorías es bajo (entre decenas y centenas de ellas) en comparación con los miles de millones de neuronas del córtex: éste se compone, pues, de un pequeño número de elementos que se repite muchas veces; de hecho, se considera que las células piramidales del córtex forman parte de una misma categoría. Es muy relevante que se encuentran las mismas categorías de neuronas en todos los estadios de la evolución, desde los mamíferos primitivos hasta llegar al hombre, es decir, no existe ninguna categoría celular propia del córtex del ser humano, el cual comparte esas categorías con especies tales como la rata o el mono.

El acontecimiento más importante en la evolución del cerebro de los mamíferos es la expansión del neocórtex. Esta va acompañada de un aumento del número de neuronas total y, por lo tanto, del número y complejidad de las operaciones susceptibles de ser ejecutadas por el córtex. El número de elementos celulares por unidad de superficie no cambiará; sin embargo, el grosor del córtex varía, pero en menor medida que la superficie. El espesor del córtex del hombre es sólo tres veces más grueso que el del ratón, y ello afecta sobre todo a las capas III y

¹⁵⁹ Cf. Changuex, 1985: 60-83.

V, en las que se desarrollan mayoritariamente las conexiones córtico-corticales. Cuanto mayor es la superficie del córtex, mayor es el número de neuronas capaz de establecer conexiones de “asociación”, esto es, del número medio de conexiones por neurona, con un enriquecimiento de las arborizaciones dendríticas y axonales. Aunque el número de neuronas en cada “probeta transversal” (perpendicular a la superficie del córtex) es de unas 146.000 por mm^2 de superficie del córtex en todos los puntos (excepto en el área visual), y este número es igual en todas las especies de mamíferos (tales como el ratón, la rata, el gato y el hombre), existe una gran disparidad en el número total de neuronas entre especies de mamíferos derivada de la diferencia de la superficie del córtex, que alcanza en el ser humano unos 2200 cm^2 y tan solo $4\text{-}5 \text{ cm}^2$ en la rata, es decir, unas 400 veces superior en el uno que en la otra.

Sin embargo, la densidad de sinapsis por mm^3 de córtex cerebral es del mismo orden en la rata y en el hombre. Hay del orden de 600×10^6 sinapsis por mm^3 , y 10^{14} - 10^{15} sinapsis en la corteza cerebral del hombre. El microscopio electrónico, pese a su gran resolución, permite a duras penas identificar las ramificaciones dendríticas y axonales con la respectiva neurona. Se conoce que los axones sensoriales de entrada se detienen a la altura del tálamo fundamentalmente, lugar donde otras neuronas toman el relevo para trasladar la señal al córtex (hasta la capa III y IV, especialmente). En éste entran también las fibras procedentes del córtex mismo (de sus dos hemisferios), asociando áreas diversas del mismo: son las “fibras de asociación”. Se crea una red de conexiones vertical hacia las capas superiores del córtex y también colaterales. Igual red de conexiones se utiliza para la salida de señales a través de los axones de las células piramidales hacia el córtex mismo, hacia el tálamo y también, a través de la médula espinal, hacia las neuronas motoras que rigen las contracciones musculares. El análisis de las conexiones neurales muestra que no existe ningún tipo de circuito neural particular que sea propio del córtex cerebral humano, es decir, las piezas del cerebro humano provienen de un fondo muy parecido, si no idéntico, al del resto de mamíferos.

Por tanto, ni en el nivel anatómico macroscópico ni en el de la arquitectura microscópica del córtex se aprecia una reorganización “cualitativa” que justifique el paso del cerebro animal al humano; lo que existe es una evolución “cuantitativa” del número total de neuronas, de la diversidad de áreas, de las posibilidades de conexión entre neuronas y de la complejidad de las redes de neuronas que constituyen la máquina cerebral.

5. Mecanismos de comunicación nerviosos ¹⁶⁰

La idea de que el cerebro controla los movimientos corporales y recibe la información del exterior a través de los sentidos implica su comunicación con la periferia; por tanto, ante la pregunta acerca del mecanismo implicado, se dieron diversas respuestas de las que ya se han citado algunas: los “átomos psíquicos” de Demócrito, el neuma de Galeno, el “agente sutil” que viaja por los nervios, los “espíritus animales” (líquidos o gaseosos) de los clásicos y el “éter intangible” de Newton.

Glisson (1654-1677) ya estableció que la sensibilidad de los tejidos se daba en los que tenían nervios, cosa que ratificó Von Heller un siglo más tarde, aunque aún se desconocía qué “energía” era la que producía la contracción muscular a partir de los nervios sensibilizados. Ya en el s. XVIII se menciona la posibilidad de que esa energía fuese la electricidad, que se acababa de descubrir: Galvani comprobó que la electricidad producía la contracción muscular (1780); también observó que parecía existir una “electricidad animal” producida especialmente por el cerebro (mediante sus experimentos con patas de rana en 1786); finalmente, publicó *De viribus electricitatis in motu musculari commentarius* (1791), donde propone que los antiguamente llamados “espíritus animales” son la electricidad. A ello se opuso Volta, que explica la reacción muscular de las patas de rana por la generación eléctrica debida al par Fe-Cu de los dispositivos de sujeción de las patas en el experimento de Galvani; la disputa entre la “electricidad metálica” y la “animal” se zanjó cuando Matteucci (1838) demostró la producción de electricidad por el músculo, la llamada “corriente propia”, es decir, el músculo no solo reacciona a la electricidad, sino que la genera también: nace así la electrofisiología. Fritsch y Hitzig (1870) probaron a estimular eléctricamente puntos diversos de la corteza cerebral de perros y comprobaron una reacción muscular más o menos amplia, dependiendo de la intensidad eléctrica aplicada: se crea así el nexo entre electricidad y función cerebral. Caton (1875) demostró que el córtex cerebral produce electricidad (al igual que De Bois había demostrado para los nervios periféricos): nació así la electroencefalografía. El impacto de la aplicación de métodos físicos fue grande y propició el intento de reducir los fenómenos biológicos de sensibilidad a mecanismos físicos. Así, Du Bois Reymond sentó las bases de una escuela materialista, la “fisiología mecánica”, llamada hoy “biofísica”.

¹⁶⁰ Cf. Changuex, 1985: 42-48; 92-103.

La pregunta surgida entonces se refería al mecanismo que produce la conexión entre el axón motor y el músculo que se contrae por la señal del primero. Du Bois Reymond sospechó que se debía a una secreción estimulante del primero sobre el segundo o a una influencia eléctrica, con lo que quedó ya sugerido un mecanismo químico en el contacto nervio-músculo, lo cual fue verificándose con el desarrollo de la farmacología (que investigaba la acción de los venenos, drogas y medicamentos). En 1904, Elliot dedujo que la adrenalina podría ser el estimulante químico segregado cuando la señal nerviosa llega a la periferia. Muchos años después, se identificó la acetilcolina como la sustancia natural segregada por los nervios motores voluntarios: la adrenalina y la acetilcolina son solo dos de los muchos compuestos químicos producidos por las células nerviosas, los llamados “neurotransmisores”, que conducen la señal nerviosa de un lado al otro de la hendidura sináptica, en la cual la electricidad es sustituida por mecanismos químicos como medio transmisor de señales.

Debido a las opciones espiritualistas aún vigentes en la primera mitad del siglo XX, siguió reservándose la transmisión química para la acción en la periferia del sistema nervioso, mientras que la electricidad –refugio más “espiritual” para el alma- se consideró como el mecanismo de comunicación cerebral. Sin embargo, en la década de 1940, se descubre la acetilcolina en el córtex del encéfalo; en 1954, Vogt encuentra noradrenalina en el hipotálamo, y siguen hallazgos de otros neurotransmisores. Finalmente, el “neuma” de Galeno había quedado identificado con los iones de sodio, potasio y calcio (además de los neurotransmisores que se producen en puntos concretos del encéfalo), y los “espíritus animales” –y sus propiedades vitales- quedaron desterrados al ser identificados con movimientos de átomos y moléculas: las ciencias del sistema nervioso se habían convertido en moleculares.

Quedó así evidenciado que la actividad cerebral global (desde el registro electroencefalográfico hasta el de los impulsos eléctricos producidos por neuronas individuales, así como las comunicaciones sinápticas entre ellas y los diversos órganos) discurre desde el nivel del córtex y sus redes de neuronas hasta el nivel molecular, pudiendo ser descrita en los mismos términos empleados por el físico o el químico: la actividad nerviosa y su propagación en las redes neurales se explica por propiedades atómico-moleculares. Por tanto, los “átomos psíquicos” de Demócrito son en realidad los de sodio, potasio y calcio, y las moléculas de los neurotransmisores y receptores se forman con carbono, hidrógeno, oxígeno y nitrógeno como cualquier tejido vivo o inorgánico, razón por la que los “átomos psíquicos” deberían más bien haberse llamado “moléculas psíquicas”.

Además, la investigación acabó evidenciando un hecho fundamental para el pensamiento antropológico: muchos de los neurotransmisores se han identificado en el sistema nervioso de especies animales muy primitivas (como los gusanos anélidos) al igual que en todo el reino animal, en particular entre los vertebrados superiores (tales como la rata, el mono y el ser humano), es decir, aparecen de forma “universal” en el nivel de las sinapsis químicas y no se conoce ningún neurotransmisor exclusivo de la especie humana. En conclusión, en el nivel fisiológico del sistema nervioso, nada distingue al ser humano de otros seres vivos ya que los mismos mecanismos de comunicación del sistema se encuentran en el hombre y en organismos muy simples.

Una última cuestión se pregunta por el origen de las señales del sistema nervioso que se propagan de forma eléctrica. Se ha comprobado que, incluso durante el sueño, hay una actividad cerebral eléctrica intensa: es una génesis de impulsos eléctricos espontánea e “intrínseca” a la célula nerviosa, que funciona espontáneamente y sin descanso como un oscilador con patrones de regularidad asombrosa¹⁶¹. Las células nerviosas son, pues, osciladores (como relojes biológicos) que funcionan espontáneamente y sin descanso; su actividad induce la variación de un parámetro físico y produce pulsos que se traducen en una señal modulada eferente del cerebro hacia los distintos puntos de los organismos vivos.

6. La interacción con el entorno ¹⁶²

Un recién nacido humano, aunque carezca por defecto congénito de córtex, se despierta y duerme regularmente, mama, se chupa el dedo, se endereza, bosteza, llora, sigue con los ojos un estímulo visual, responde a una señal sonora, rechaza objetos desagradables y puede hacer movimientos voluntarios; esto evidencia que los comportamientos automáticos y ciertos comportamientos voluntarios dependen de estructuras ajenas al neocórtex y envueltas por este.

¹⁶¹ Ilya Prigogine, premio Nobel de Química, ha demostrado que no puede haber oscilaciones en un sistema termodinámico cerrado, sólo puede si es abierto e intercambia energía con el exterior y, además, solo se producen oscilaciones si el sistema está fuera del equilibrio pero en situación estable, es decir, si es una “estructura disipativa”. El término *estructura disipativa* busca representar la asociación de las ideas de orden y disipación. El nuevo hecho fundamental es que la disipación de energía y de materia, que suele asociarse a la noción de pérdida y evolución hacia el desorden, se convierte, lejos del equilibrio, en fuente de orden. Las estructuras disipativas constituyen la aparición de estructuras coherentes, auto-organizadas en sistemas alejados del equilibrio. Las células y, en particular las neuronas, cumplen ambas condiciones, mediante el continuo consumo de energía externa (glucosa) y la respiración celular que produce un nucleótido llamado ATP (adenosín trifosfato), alejándose permanentemente del equilibrio mediante el mantenimiento de concentraciones desiguales de iones a un lado y otro de la membrana mediante la bomba de ATP. Por tanto, el funcionamiento de la neurona responde a las leyes de la termodinámica.

¹⁶² Cf. Changuex, 1985: 139-143.

Desde finales del s. XIX se sabe que los órganos de los sentidos se proyectan, después de pasar la conexión talámica, sobre distintas áreas del córtex: la occipital para la visión, temporal para la audición, las parietales para el tacto, etc. En cada una de ellas, se “representa” un parámetro físico al que el órgano sensorial representado es sensible. Una primera representación del mundo en el córtex se compone, pues, de un desglose de territorios correspondientes a diversas categorías de señales físicas que penetran en el organismo vía nervios sensoriales e impulsos que circulan por ellos. La cartografía de esos territorios corticales da grandes sorpresas: la localización de los puntos del córtex que reciben las señales sensoriales conforman literalmente “figurillas” que se asemejan a la figura anatómica del sujeto sensorial, aunque la semejanza no sea perfecta evidentemente (entre otras razones porque el cuerpo es tridimensional y la figurilla es solo una proyección bidimensional sobre la superficie del córtex). Además, se observan discontinuidades entre regiones contiguas del cuerpo; sobre todo, la diferencia está en que los tamaños relativos de cada área de la “figurilla” no conservan la misma proporción que en la anatomía corporal. En el caso del hombre, el “homúnculo” sensorial del córtex posee labios y manos enormes, con tronco y sexo ridículamente pequeños. Las dimensiones de esas figurillas del córtex son proporcionales a la densidad de terminaciones sensoriales presentes en la superficie corporal, es decir, es una imagen de los puntos de contacto del individuo con el exterior y materializa el análisis que el individuo hace del entorno.

7. Evidencias de la *epigénesis selectiva de sinapsis* ¹⁶³

Los llamados gemelos verdaderos (procedentes de la fecundación del mismo óvulo) se parecen entre sí mucho más que los procedentes de óvulos diferentes (mellizos); genéticamente son idénticos y la pregunta es si por esa razón tienen cerebros exactamente idénticos. No es fácil localizar exactamente, entre los miles de millones existentes, las mismas células y sus sinapsis (en lugar y hemisferio) en dos gemelos con el fin de comparar sus arborizaciones y comprobar su grado de semejanza. Por ello, antes que en seres humanos, se realizaron estudios en el crustáceo llamado *dafnia magna* porque sus hembras se reproducen, sin intervención del macho, por partenogénesis, razón por la que la madre y los descendientes son genéticamente idénticos; además, su sistema nervioso tiene un reducido número de células fácilmente identificables al microscopio electrónico. El resultado de ese estudio muestra que el número de células nerviosas para cada órgano funcional no varía entre *dafnias* gemelas (por ejemplo, 176 neuronas sensoriales para el ojo, con 110 contactos sinápticos cada una). Tampoco cambian

¹⁶³ Cf. Changeux, 1985: 243-248.

cualitativamente las conexiones entre neuronas, y la organización del ojo y del ganglio óptico se conserva de un individuo a otro isogénico: es evidente que los genes lo determinan. Sin embargo, al examinar en detalle los clones, aparece una gran variabilidad entre los individuos los cuales no tienen exactamente el mismo número de sinapsis, ni tampoco la traza de las arborizaciones axonales. Es decir, las *dafnias* gemelas no son anatómicamente idénticas en su sistema nervioso: el número de neuronas y las líneas generales de sus conexiones no varía, pero aparece una fluctuación a nivel de detalles de las arborizaciones y sus conexiones.

Al pasar de invertebrados a los vertebrados, el número de células nerviosas aumenta mucho y se hace más difícil el estudio; sin embargo, Levinthal ha sacado provecho de tres circunstancias notables: la gran dimensión de la célula de Mauthner de los peces (que es única en cada individuo), la facilidad de identificar a las células motoras Müller (cercanas a la de Mauthner), y que el pez *Poecilia Formosa* se reproduce también sin intervención de los machos, dando descendientes genéticamente idénticas a la madre y entre sí. El análisis comparativo entre los clones muestra que la arborización de la primera célula de Müller conserva *grosso modo* su forma, pero varía en el detalle de sus conexiones y sinapsis; luego las conclusiones del trabajo sobre la *dafnia* se extienden, al menos, a algunas neuronas del pez.

¿Qué sucede en los mamíferos, en los que el número de células nerviosas es muy numeroso y su dimensión no permite una tan fácil discriminación? Por una parte, no es tan fácil conseguir regularmente gemelos verdaderos estrictos, sino que hay que conformarse con individuos consanguíneos que se han obtenido cruzando un gran número durante 50 años de forma que posean un genoma cuasi idéntico. No obstante, la conclusión es que, mientras en la *dafnia* y otros organismos inferiores la variabilidad en el sistema nervioso aparece sólo en el nivel de las conexiones entre neuritas, y en el número de sinapsis, en los mamíferos se manifiesta ya, en un área o centro dado, en el nivel del número y distribución de las células nerviosas.

8. Redundancia y regresión ¹⁶⁴

Hamburger (1975) contó la totalidad de las neuronas motoras de la médula espinal en el embrión de pollo y encontró que (a los cinco días medio) tenía 20.000 neuronas en un solo lado, mientras que el adulto posee solo 12.000: ¡el 40% de las neuronas se han extinguido en el proceso de desarrollo! Es decir, la destrucción de neuronas forma parte del desarrollo normal del

¹⁶⁴ Cf. Changeux, 1985: 252-256.

cerebro en una de sus etapas críticas, y suele afectar a una parte de las neuronas de cada categoría (aunque Ramón y Cajal describió un caso de extinción total: las neuronas de la capa I del córtex con axones paralelos a la superficie desaparecen en el adulto de los mamíferos). A esta crisis celular sigue una fase regresiva también importante en sus consecuencias que solo afecta a las ramificaciones terminales de los axones y dendritas: las ramificaciones de estos que no alcanzan su meta degeneran finalmente. La regresión se ha constatado también en las células de Purkinje (presentan 20-24 ramas colaterales en el recién nacido y solo 4-5 en el adulto) y en las células piramidales del córtex.

Este proceso regresivo parece muy general y afecta al sistema nervioso periférico y al central. Se ha comprobado (por ejemplo, en la inervación muscular) que el recién nacido tiene una hiperinervación de las fibras musculares, redundante y difusa; al final de la evolución, las fibras nerviosas están inervadas por una sola terminación axonal y cada neurona inerva un número fijo de fibras, de forma precisa: la redundancia es transitoria y la eliminación de terminaciones nerviosas va acompañada de un incremento de orden en el sistema.

En definitiva, la regresión de las terminaciones nerviosas participa de este modo en la construcción de la capacidad conectiva del córtex cerebral adulto: la sucesión de una fase de redundancia sináptica y de una fase regresiva de conexiones axonales y dendríticas representa un momento crítico del desarrollo del sistema nervioso, que puede considerarse como un proceso característico de la epigénesis de las redes neuronales.

9. Teoría de Jean-Pierre Changeux y teorías alternativas ¹⁶⁵

En 1973, Jean-Pierre Changeux presentó la teoría denominada *epigénesis por estabilización selectiva* de las redes neurales del individuo adulto que, fundada en el conjunto de las observaciones empíricas disponibles, adoptaba como evidentes las premisas siguientes:

- 1) Los principales rasgos de la organización anatómica y funcional del sistema nervioso se conservan de una generación a otra y están sometidos al determinismo del conjunto de genes que constituyen lo que hemos llamado *envoltura genética*. Esta rige divisiones, migraciones y diferenciaciones de las células nerviosas, el comportamiento del cono de crecimiento, el reconocimiento entre categorías celulares, la distribución de la

¹⁶⁵ Cf. Changeux, 1985: 264-266; Changeux, 2010: 221-225. Posiciones similares se exponen en Jeeves & Brown, 2010: 67-68.

conectividad máxima y la entrada en actividad espontánea, del mismo modo que las reglas de acoplamiento molecular y de evolución de la capacidad conectiva.

- 2) Una *variabilidad* fenotípica se manifiesta en la organización adulta de individuos isogénicos, y su importancia aumenta, de los invertebrados al hombre, con el incremento de la «complejidad» del encéfalo.
- 3) A lo largo del desarrollo, una vez acabada la última división celular de las neuronas, las arborizaciones axonales y dendríticas brotan y se expansionan de una manera exuberante. En este estadio «crítico», la capacidad conectiva de la red es máxima [...] En el nivel celular se observan sinapsis supernumerarias «o redundantes», pero esta redundancia es *transitoria*. Rápidamente intervienen fenómenos regresivos. Mueren neuronas. Luego, tiene lugar la poda de una parte importante de las ramas axonales y dendríticas y desaparecen sinapsis activas.
- 4) Desde los primeros estadios de acoplamiento de la red nerviosa, circulan impulsos en ella. Primero de origen espontáneo, éstos son después evocados por la interacción del recién nacido con su entorno.

A lo anterior (que recoge los datos de la observación) añade Changeux algunas hipótesis:

- 1) En el estadio crítico de conectividad máxima, las sinapsis embrionarias (excitadoras e inhibitoras) pueden existir en tres estados (lábil, estable y degenerado), de los que solo los dos primeros transmiten los impulsos nerviosos y el paso de un estado a otro, así como el paso del lábil al degenerado –regresión-).
- 2) La evolución del estado de estabilidad en cada sinapsis está gobernada por el conjunto de señales recibido por la célula en la que acaba, es decir, la célula post-sináptica regula el regreso retrógrado de la estabilidad de la sinapsis.
- 3) El desarrollo epigenético de las singularidades neurales está regulado por la actividad de la red en desarrollo, que rige la “estabilización selectiva” de una distribución particular de contactos sinápticos entre el conjunto de los que existen en el estadio de máxima redundancia.

Dos consecuencias muy importantes de esta teoría son: a) se da el paso de la actividad a la “estructura” partiendo de una organización anatómica que preexiste íntegramente a la experiencia; esta selecciona las conexiones que le preceden sin que necesite ninguna síntesis de moléculas o estructuras nuevas de forma inducida; b) un mismo mensaje puede estabilizar organizaciones conectivas diferentes que lleven a una relación entrada-salida idénticas; esta variabilidad es la

que explica la variabilidad fenotípica observada entre individuos isogénicos, así como de la diversificación de las singularidades neuronales en el seno de la misma categoría de neuronas sin necesidad de apelar a la combinatoria de los genes.

En el año 2000, Changeux (junto con Courrège y Danchin) presentó una actualización de su teoría de la *epigénesis por estabilización selectiva de sinapsis*, que había propuesto ya en 1973. Consta de cinco premisas:

- a) La *envoltura genética* determina los principales rasgos de la organización anatómica del cerebro propios de la especie y se ven alterados por mutación genética, pero que se conservan después de la supresión de toda liberación de neurotransmisores; son la morfogénesis del tubo neural y del cerebro, la división, la de la migración y la diferenciación de las células nerviosas, la creación de la conectividad máxima, la entrada en actividad espontánea de las neuronas de la red y la regulación del ensamblaje y de la evolución de las sinapsis por la actividad circulante.
- b) Una *variabilidad del fenotipo* de la organización neural adulta.
- c) Los contactos sinápticos se forman en oleadas sucesivas de exuberancia y de regresión, imbricadas unas en otras, con una ventana crítica por cada ola donde la conectividad es máxima.
- d) La actividad nerviosa que circula en la red, espontánea primero y luego evocada por interacción con el entorno, regula la estabilización-eliminación de las sinapsis durante la ventana crítica.
- e) Algunos fenómenos de neurogénesis, de sinaptogénesis y de estabilización selectiva persisten en el adulto de manera más limitada. El *programa neuronal* que incluye la conectividad máxima, los principales estadios del desarrollo de la red, las modalidades de estabilización de las sinapsis lábiles y las capacidades de integración de la neurona son la expresión del programa genético. El desarrollo de la singularidad neuronal se regula mediante la actividad de la red en formación que gobierna la estabilización selectiva de una distribución particular de contactos sinápticos entre los que están presentes en el estadio de la diversidad máxima. Si la actividad estabilizante se mantiene, puede producirse una amplificación terminal de las vías seleccionadas.

Changeux cree desautorizada la concepción innatista extrema que afirma un determinismo genético total de la organización cerebral (que aún a veces se defiende), para lo cual aduce los resultados de investigaciones que muestran una notable variabilidad para las áreas del lenguaje y la escritura, en el que se han podido realizar observaciones más significativas para la verificación de su teoría. Frente a las principales alternativas planteadas en el ámbito específico del desarrollo de las capacidades lingüísticas del ser humano, Changeux defiende su teoría con diversas consideraciones y resultados de la investigación:

a) El modelo innatista de Noam Chomsky afirma que los *órganos mentales* están determinados genéticamente y son *proprios de la especie*; para él, la estructura psicológica intrínseca es rica y diversa y el estímulo es pobre. Changeux apunta que este modelo no explica los efectos críticos de la experiencia y de la creatividad del lenguaje, excepto que se lo complete con mecanismos de selección.

b) El modelo empirista según el cual “todo lo que está en la mente estuvo antes en los sentidos” (es lo defendido por los asociacionistas desde Aristóteles hasta Putnam), afirma que la práctica refuerza las conexiones (ley de uso) y el olvido las debilita (ley de abandono); sostiene también que el ambiente está estructurado y guía el desarrollo (lamarckismo neuronal). Changeux apunta que este modelo no toma suficientemente en consideración la importancia de una *envoltura genética* en la adquisición del lenguaje.

Por otra parte, Changeux aduce observaciones empíricas que abonan su modelo de selección; entre ellos, la de más sencilla comprensión es el caso de la adquisición de la lectura del braille por los ciegos de nacimiento: las imágenes de estimulación magnética transcraneal muestran un crecimiento de la representación somatosensorial de la mano que sabe leer y una activación occipital de las áreas visuales primarias y secundarias que en el ciego de nacimiento no reciben ningún estímulo visual; en ausencia de estimulación visual la corteza visual es reconvertida para tareas táctiles espaciales. Además, la estimulación transcraneal de la corteza visual interfiere en la lectura del braille: el individuo se vuelve incapaz de decir si el texto tiene sentido o no. El modelo más sencillo para dar cuenta de estos resultados es que en el nacimiento existen conexiones cortico-corticales entre corteza somatosensorial y corteza visual, entre tálamo no visual y corteza visual. En el ciego de nacimiento, a lo largo del desarrollo y durante la adquisición del braille, habría una selección y una ampliación de esas vías en beneficio de la percepción táctil de la escritura.

Es muy relevante el ejemplo de los gemelos monocigóticos, que muestran una variabilidad epigenética de la topología de las áreas corticales, debida probablemente a una división variable del blastocito en las primeras etapas del desarrollo embrionario.

Por otra parte, Changeux señala que existen importantes interacciones entre los circuitos del lenguaje escrito y los del oral: la adquisición del escrito modifica de manera significativa estas interacciones. Existen varias formas de plasticidad de los circuitos cerebrales asociados con la lectura en tiempos muy variados: atención (milisegundos), práctica (segundos, minutos), aprendizaje (minutos, días), reglas (semanas, meses), desarrollo (meses, años). Los circuitos de la escritura se establecen por medio de una estabilización selectiva de posibilidades conexionales ofrecidas por la envoltura genética a través de interacciones prolongadas con el entorno cultural del niño. El aprendizaje de la escritura corresponde a una “apropiación” de circuitos neuronales preexistentes e inmaduros, y los circuitos culturales se imprimen de por vida en el cerebro del niño.

En el ámbito no humano, otra observación muy elocuente es la realizada sobre los monos “*Cercopithecus aethiops*” y su sistema de comunicación, cuyos resultados coinciden con el modelo de estabilización selectiva de Changeux. Esos monos tienen un sistema lingüístico elemental integrado por dos tipos de gritos: a) uno de alarma (que indica la presencia de un predador, comunica una emoción e induce una respuesta comportamental definida en el grupo; hay tres gritos de alarma, según el depredador sea un leopardo –trepan a los árboles-, un águila –miran al cielo y se esconden en los matorrales-, o una serpiente –miran al suelo para evitar el encuentro-); b) gruñidos entre individuo dominante y dominado. En el desarrollo de la producción de las vocalizaciones no interviene ningún aprendizaje; sin embargo, en el mono joven se produce una maduración importante en la relación entre el sonido y el sentido: los recién nacidos no distinguen entre predadores y no predadores y responden de forma indiferenciada a todo lo que vuela, a los animales terrestres y a las serpientes. Progresivamente restringe el repertorio de especies predatoras, selección que está asociada al grito de alarma del adulto después del grito de alarma del joven: este mecanismo produce o bien una validación por el segundo grito y una estabilización o, por el contrario, si no hay validación por parte del adulto, no se produce la selección.

Un aval significativo de la teoría de Changeux es el hecho de que la introducción del punto de vista epigenético neuronal (en particular, con el modelo de estabilización selectiva de las sinapsis) y de los mecanismos darwinianos en las discusiones entre lingüistas y psicólogos ha

permitido importantes avances respecto a la explicación de la evolución y transmisión de las lenguas como entidades culturales, así como en el aprendizaje de las lenguas con resultados notables para el bilingüismo y los mecanismos de las afasias. Ese enfoque ha permitido interpretar los distintos tipos de escritura, su nacimiento y su evolución histórica por medio de mecanismos darwinianos epigenéticos de variación-selección, donde los mestizajes intervienen como generadores de diversidad.

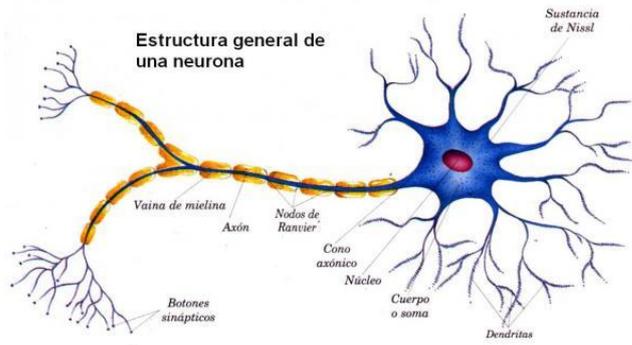


Figura 1. Estructura general de una neurona

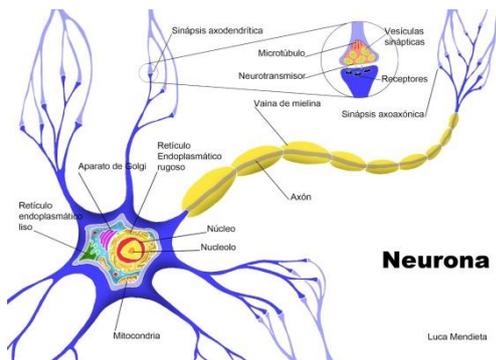


Figura 2. Red sináptica

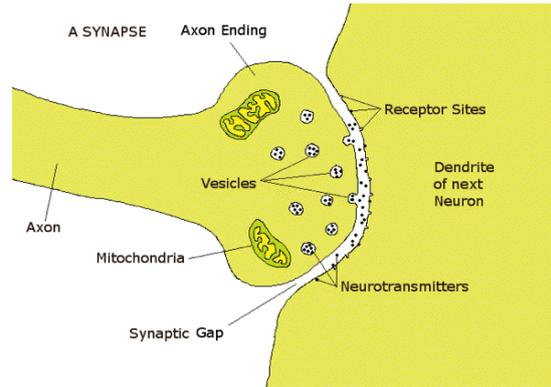


Figura 3. Sinapsis: detalle

Tipos de neuronas

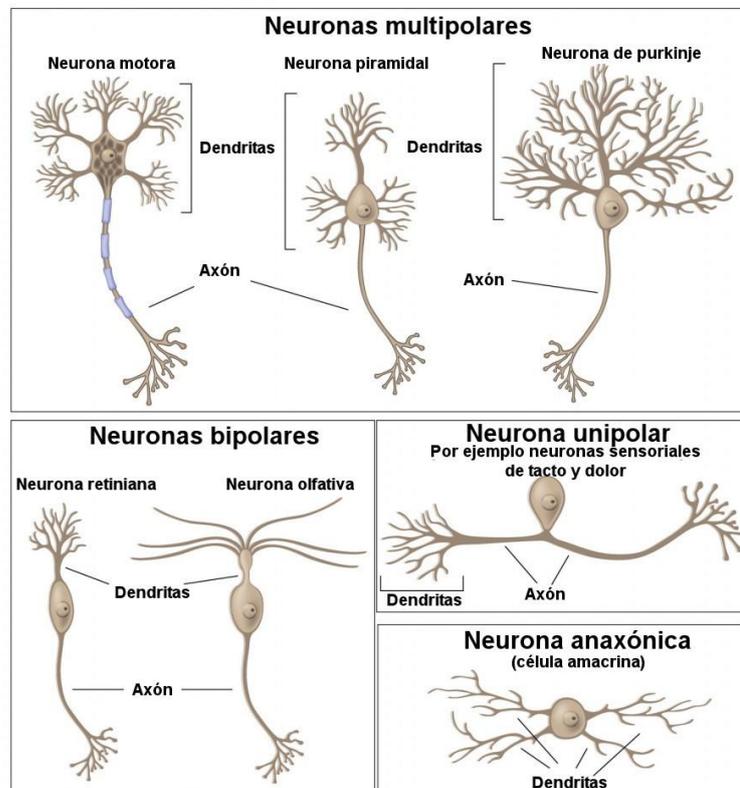


Figura 4. Tipología de neuronas

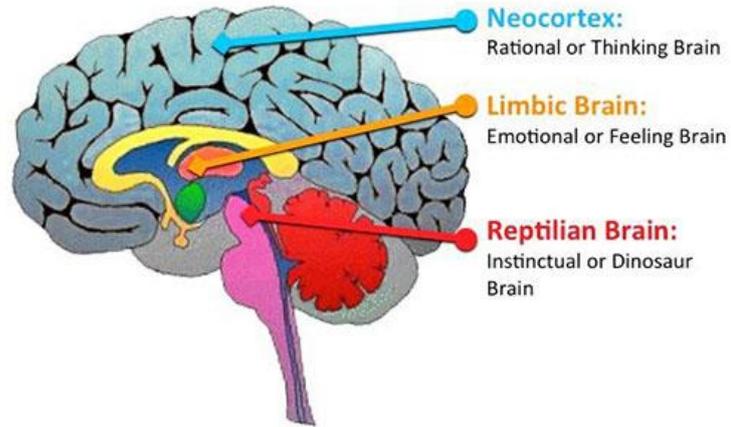


Figura 5. Evolución cerebral

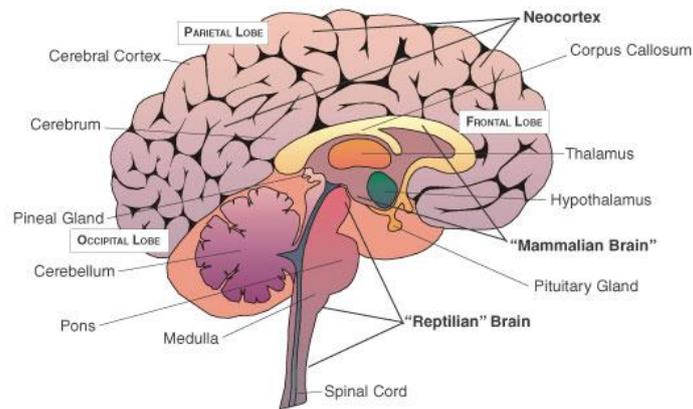


Figura 6. Anatomía cerebral



Figura 7. Localizaciones sensoriales en el córtex

APÉNDICE G

Antecedentes de Teodicea

1. De Epicuro a Spinoza

Ya el pensamiento griego se planteó la relación entre los dioses y el sufrimiento en el mundo; más aún, indagó la posible compatibilidad entre el dolor de la humanidad y la intervención en su historia de un dios providente y moralmente intachable. De ello es expresión proverbial la formulación de Epicuro según la cual, si existe una divinidad omnipotente, bondadosa e interesada en el ser humano, la presencia del sufrimiento solo puede explicarse por una de estas razones alternativas: esa divinidad quiere eliminarlo y no puede, o puede pero no quiere, o ni quiere ni puede. Cada una de estas posibilidades representaba una contradicción lógica respecto a uno u otro de los atributos fundamentales supuestos en la divinidad y, consecuentemente, supuso un cuestionamiento respecto a la existencia misma de un dios dotado de tales características.

Platón afirmó que la divinidad no era causa de los muchos males que le suceden al ser humano (*República* II. 379), y que el poder de Dios sobre el cosmos no es absoluto ya que existen otros poderes concomitantes (esencialmente, la almas, autónomas una vez creadas).

Aristóteles concibió la divinidad como el motor inmóvil, que sólo mueve por atracción hacia sí como perfección absoluta, pero no interviene en los derroteros autónomos del cosmos.

Plotino añadió a la idea platónica de la divinidad el carácter inmóvil que había afirmado Aristóteles, con lo que la divinidad no era causa eficiente del cosmos ni sus avatares; por tanto, el mal era debido a otros agentes, pero era parte necesaria en la generación del cosmos para que este cumpla el "principio de plenitud" del ser (cf. Griffin, 2004: 38-53).

A estos planteamientos greco-helenísticos, siguieron otros entre los que destaca por su influencia posterior el de Agustín de Hipona, quien subrayó la omnipotencia y bondad divinas y, considerando que Dios había creado todas las naturalezas originariamente buenas, negó la existencia de un mal intrínseco en el cosmos: el mal no tenía ser propio, sino que es una ausencia de bien (*privatio boni*). Agustín distingue tres planos posibles:

- a) El *metafísico-ontológico*: en esta esfera, niega la existencia de mal alguno, sólo hay grados diversos de ser y finitud, y lo que puede parecer defectuoso en sí no lo es en la perspectiva global.
- b) El *moral*: mal identificado con el pecado, con una mala elección de la voluntad que no deriva de una causa eficiente, sino de una deficiente, consistente en preferir bienes

inferiores a los superiores, esto es, una *aversio a Deo* y una *conversio ad creaturam*; contra el intelectualismo moral de los griegos –es imposible conocer el Bien y no elegirlo-, Agustín atribuye el mal moral a la elección errónea que hace la voluntad al ejercer el libre albedrío que le es propio, en contra de la razón; de este modo, Agustín se convirtió en padre de la modernamente denominada *free-will defense* en teodicea.

- c) El *físico*: Agustín admitió la eventual acción divina con castigos terrenales del pecado: enfermedades, dolores anímicos, la muerte, etc, eran consecuencia del pecado original, es decir, del mal moral; sin embargo, incluso el mal pecaminoso lo es solo aparente porque el mundo es mejor con la existencia de pecado que sin ella (cf. Reale & Antiseri, 2008: 396-398).

Tomás de Aquino siguió esta teodicea agustiniana sin diferencias significativas.

Finalmente, Spinoza definió a Dios como sustancia infinita y, por tanto, única existente, siendo los entes individuales meras formas de los atributos divinos: todo lo que existe, lo hace en Dios; pero Dios creó el mundo en sus detalles sin elección posible, lo hizo siguiendo la necesidad derivada de sus propios atributos, y, por tanto, no se le puede atribuir moralidad o reprochar inmoralidad en función de la existencia del mal, es decir, Dios es amoral por no haber tenido elección; de este modo, a Dios no se le debería imputar culpa alguna por la existencia del mal (cf. Griffin, 2004: 72-100).

2. Leibniz y sus referentes¹⁶⁶

2.1 Hobbes, Bramhall y King

Durante todo el s. XVIII –como herencia de las controversias teológicas anteriores- se suceden las polémicas en torno al tema de la libertad añadiéndose ahora el problema del determinismo natural a los ya tradicionales generados por la omnipotencia, previsión y predeterminación divinas. Los contendientes se alinean en dos grandes grupos: los partidarios del determinismo y los defensores del libre albedrío.

El determinismo filosófico tiene su expresión más representativa en la obra de Hobbes *Of Liberty and Necessity* (1654), en la que expone que es absurdo hablar de la libertad del querer ya que los motivos de nuestras elecciones no dependen de nuestra voluntad, razón por la que sólo puede haber libertad de hacer, si nada lo impide, esto es, una acción exenta de coacción. A la posición de Hobbes se opuso el obispo John Bramhall, defensor moderado del libre albedrío

¹⁶⁶ Cf. Este apartado se estructura mediante extractos de diversos ensayos de Leibniz agrupados en un compendio publicado con el título *Escritos en torno a la libertad, el azar y el destino*. Madrid: Ed. Tecnos (1990), con introducción de Concha Roldán Panadero.

en su ensayo *A Defense of the True Liberty of Human Actions* (1655), en el que defiende una necesidad moral que rige los motivos internos de la voluntad, es decir, una libertad del querer que oscila entre la indiferencia de la voluntad y el determinismo racional mediado por el juicio del intelecto, que es el sentido de la deliberación que orienta la acción a la consecución de lo mejor. Hobbes responde a Bramhall en *Questions concerning liberty, necessity and chance* (1656), que fue la obra que leyó Leibniz y de la que publicó una reseña en 1710 como apéndice de su *Teodicea* bajo el título *Réflexions sur l'ouvrage que M. Hobbes a publié en Anglois, de la Liberté, de la Necessité et du Hazard*. Leibniz buscó un camino intermedio entre el determinismo absoluto y la mera indiferencia de equilibrio.

Otro destacado defensor del determinismo fue Spinoza quien consideraba el libre albedrío como una ficción (ya que los hombres son sólo conscientes de sus voliciones, ignorando las causas que las provocan su querer y actuar), y considerando que la más alta expresión de libertad era el reconocimiento racional de la necesidad, de que nuestras acciones son sólo un eslabón necesario en la cadena infinita de causas naturales (por ello, el filósofo moral debía ser un naturalista). Pero, para Spinoza sólo Dios puede ser considerado libre porque existe en virtud de la sola necesidad de su naturaleza y se determina por sí solo a obrar.

El obispo William King, marcado por la reacción frente al escepticismo radical de Bayle, escribió *De origine mali* (1702) en donde refuta que los actos y las elecciones están regidos por la necesidad ya que afirmaba la preeminencia de la voluntad sobre el intelecto. Por ello formuló la doctrina de la indiferencia absoluta según la cual la voluntad tiene el pleno poder de escoger, mientras que el intelecto tiene solo la función de control y dirección y que su juicio sigue al movimiento de la voluntad, a cuyo servicio están los apetitos y sentidos.

Leibniz hizo también una reseña de la obra de King, coincidiendo con él en su punto de vista sobre el origen del mal en general y del mal físico en particular, pero disintiendo en lo referente a la libertad y al mal moral que de ella depende, ya que King pretende fundamentar la libertad en una indiferencia de equilibrio vaga y absoluta puesto que se elige sin motivo. Para Leibniz, una acción libre es la que no sólo carece de coacción externa, sino que debe estar exenta de una necesidad absoluta, que no impida la elección, y considera que esta exigencia no justifica la indiferencia de equilibrio como alternativa, que juzga inexistente. Se opone a los que sostienen que la voluntad humana, para ser libre, debe actuar sin motivos suficientes, haciendo caso omiso del entendimiento; una indiferencia que presupone que no hay una razón mayor para hacer una cosa en lugar de otra es inconcebible para Leibniz, razón por la que entiende como

opuestos entre sí lo determinado y lo indiferente, de igual manera que contrapone la contingencia a la necesidad y lo meramente voluntario a lo que es fruto de la deliberación. Siendo defensor pleno del principio de razón suficiente, afirma que las acciones están siempre determinadas y no pueden ser indiferentes ya que hay siempre una razón que nos inclina a hacer una cosa mejor que otra: nuestra libertad será mayor cuanto más se actúe de acuerdo con la razón.

2.2 Leibniz

En la *Teodicea*, Leibniz afirma que todo es cierto y está determinado con anterioridad tanto en el hombre como en el resto de las cosas, de manera que aquello que va a sucedernos en el futuro es verdadero desde toda la eternidad y puede ser previsto por Dios con infalibilidad, aunque no sea compatible con la contingencia del mundo ni con la libertad de nuestras acciones. Protesta contra aquellos que le atribuyen ser defensor de la necesidad absoluta y del fatalismo, ya que afirma que su intención ha sido siempre mostrar en qué medida puede hablarse de una necesidad que sea compatible con la contingencia y la libertad. Pero la dificultad de esa compatibilidad lleva a preguntar por el tipo de contingencia y libertad de la que se trata. Leibniz pretende defender la previsión divina –muestra de su omnisciencia–, que hace los acontecimientos futuros ciertos e infalibles, aunque no por ello necesarios: diferencia lo necesario y lo cierto, puesto que siendo cierto que lo previsto sucederá infaliblemente, no hay imposibilidad lógica de que no suceda. Esta forma de entender lo contingente traslada el problema de la compatibilidad entre presciencia divina y libertad humana al terreno de la objetividad de la verdad. La determinación de los futuros contingentes depende de la naturaleza misma de la verdad, razón por la que puede hablarse indistintamente de certeza objetiva o de determinación, aunque éstas no constituyan la necesidad de la verdad determinada.

Leibniz afirma que la presciencia divina no añade nada a la determinación de los futuros contingentes porque su verdad depende de ellos sólo y no de esa presciencia. No niega que haya necesidad, pero la califica como hipotética o condicional, pues el efecto no es necesario sino a partir de la hipótesis de la causa: lo cierto es, pues, inevitable pero no está afectado por una necesidad absoluta sino hipotética, que no destruye la contingencia o libertad. La presciencia divina sólo actualiza, sin cambiar su naturaleza, lo posible entre todos los escenarios contingentes: después de haber comparado todos los mundos posibles, el decreto divino consiste en tomar una resolución, elegir el que es mejor y de admitirlo a la existencia sin cambiar nada de la constitución de las cosas tal y como eran en su estado de pura posibilidad, de manera que lo que es contingente y libre lo es tanto bajo los decretos actuales de Dios como bajo su

previsión: “Dios, previendo lo que habría de suceder libremente, ha regulado el resto de las cosas de antemano, o –lo que es lo mismo- ha escogido este mundo posible donde todo estaba ya ordenado de esta manera”. Lo contingente lo es porque depende de la voluntad divina que decida o no crearlo, y si hablamos de los mundos posibles como contingentes es porque dependen de la decisión divina de admitir a la existencia el mejor de ellos. Lo contingente es, pues, lo que depende de un ser necesario para su actualización, y nunca lo que puede ser de otra manera. En opinión de Concha Roldán, puede fundamentarse en Leibniz, a lo sumo, una contingencia global del mundo pero no una contingencia de los hechos en su posibilidad lógica: éstos sólo serían contingentes si tuvieran en su mismo mundo la posibilidad real de suceder de otra manera.

Resumiendo: todo está previsto y determinado por Dios, y es tan cierto el futuro que vaya a suceder como el pasado que ya ha sucedido, con la única diferencia de que es posible actuar sobre el futuro, mientras que actuar sobre el pasado es una contradicción manifiesta. Pero ¿de qué me sirve poder actuar sobre el futuro si, aunque yo no lo sepa, es tan inamovible como el pasado? El único consuelo puede venir, según la tesis conjunta de Leibniz, de la felicidad que proporciona saber que hemos cooperado con Dios en la construcción del mejor de los mundos posibles; incluso la posible rebeldía de los individuos estaba prevista y contribuye también a la armonía del mundo

Leibniz finaliza su *Teodicea* con la explicación de la elección divina del mejor de los mundos posibles, en su conjunto; de no ser así, Dios no se habría decidido a crear ninguno (mito de Sexto). Según Leibniz, Dios habría sopesado todos los mundos posibles, infinitos en número, escogiendo de ellos el mejor, el que posee el máximo de perfección. Con este planteamiento, trata de evitar el determinismo absoluto (según el cual existiría todo lo que es posible), así como la arbitrariedad divina del mundo actual, ya que ambos extremos atentarían contra la capacidad de elegir y actuar de acuerdo con el principio de razón suficiente de los seres racionales (incluido Dios), el cual se fundamenta en el bien entendido como anticipación y proyección de los fines del actuar mismo. Además, deja a salvo la libertad divina de elección al tiempo que la contingencia del mundo, ya que permanece siempre la pura posibilidad de existir de una infinidad de universos en el entendimiento divino. El principio de perfección es subsidiario al principio de razón suficiente pero se convierte en algo más que un corolario de él y llega a ser, desde el punto de vista metafísico y ético, el verdadero principio de la existencia o fundamento de lo contingente: el primero explica por qué existe algo, y el segundo explica por qué existe lo que existe. Leibniz se ha elevado así del terreno de las causas eficientes al de las causas finales de

forma que los sucesos del mundo ya no están sometidos a la necesidad absoluta, sino que pueden ser explicados en su transcurso histórico como algo contingente.

En cuanto a la verdadera definición de libertad, Leibniz es consciente de la ambigüedad del concepto habitual; para salir de ese laberinto, él ha precisado diferencias entre los conceptos de libertad, contingencia y espontaneidad, por una parte, y necesidad absoluta, azar (del que es expresión la “indiferencia de equilibrio”) y coacción, por otra. Hecho esto, trata de definir la libertad en sentido positivo, frente al modo negativo: el libre albedrío consiste en la posibilidad de elegir o no elegir entre dos términos de una disyunción. Habla de espontaneidad cuando el principio de actuación está en el agente (tiene que ver con la potencia), y de libertad cuando se trata de espontaneidad con elección o deliberación (tiene que ver con el conocimiento), esto es, espontaneidad inteligente, racional o consultante. Añade Leibniz que la libertad requiere que haya indiferencia –entendida como contingencia-, es decir, que no haya necesidad absoluta, metafísica o lógica. Con todo este trasfondo, en *Teodicea* define la libertad así: la libertad, tal como exigen las escuelas teológicas, estriba en la inteligencia (que entraña un conocimiento distinto del objeto de la deliberación), en la espontaneidad (con la cual nos determinamos), y en la contingencia, es decir, en la exclusión de la necesidad lógica o metafísica. La inteligencia es como el alma de la libertad, y el resto supone como el cuerpo y la base donde aquella se sustenta.

Por otra parte, Leibniz tiene que discutir esta afirmación ajena: “Dios quiere el mal y es autor del pecado”. Entiende que refutarla no es algo sencillo ya que, aunque el hombre sea libre y, por tanto, censurable, Dios no sería menos censurable, sino más bien al contrario, al posibilitar que nos sirvamos del mal merced a nuestra libertad, con lo que la voluntad divina vendría a suponer la causa del mal. Ante esto, Leibniz comienza reafirmando que Dios no produce el mal, ni lo quiere, sino que únicamente lo permite, lo cual se entiende así: entre las infinitas maneras de crear el mundo o entre sus infinitos decretos posibles, Dios ha elegido aquello que está conectado con esa serie de cosas posibles dentro de las cuales está implícito, por ejemplo, el que Pedro pecará libremente (negando a Jesús); Dios sólo concede realmente la existencia al Pedro posible que pecará libremente, y de esta manera no determina que Pedro peque, sino que sea admitido a la existencia el Pedro posible, aunque haya de pecar.

Ante la objeción de que los hombres y sus acciones dependen en definitiva de Dios, Leibniz realiza una reflexión muy actual (la del hoy llamado Multiverso). Si el mundo no tiene ya ninguna dependencia real de Dios, no puede demostrarse que el mundo exista por Dios, salvo si se

demuestra primero que el mundo ha tenido un comienzo, algo que muchos filósofos cristianos dudan poder demostrar por la sola razón. Ahora bien, sobre la base de la mera belleza de las cosas resulta ya verosímil que el mundo haya sido construido por un arquitecto muy sabio, mas no se infiere que ello haya acontecido de un modo necesario. Pues, desde un punto de vista metafísico, sería posible que existieran infinitos mundos o sistemas de cosas inmersos en espacio y tiempo asimismo infinitos, y no sería extraño que, de entre los infinitos mundos reunidos al azar, algunos llegaran a ser bellos y bien ordenados, de los cuales uno nos tocaría en suerte a nosotros. De esta escapatoria se sirvieron hace ya muchos siglos los epicúreos.

En cuanto a la explicación de la existencia del mal en el mundo, Leibniz elogia la obra de King, aunque afirma coincidir con el autor sólo en la mitad de los planteamientos, los relativos al mal en general y al mal físico en particular. Sin embargo, difiere de King en lo relativo a la concepción de la libertad y al mal moral, porque King propone que la auténtica libertad depende de una indiferencia de equilibrio vaga, total y absoluta, de modo que no exista ninguna razón para determinarse anterior a la propia determinación ni en quien escoge ni en el objeto; tampoco se elige lo que agrada, sino que, al elegir sin motivo, se torna grato lo elegido. Leibniz trata sobre el mal en sus distintas clases: metafísico (el de las imperfecciones), físico (dolores y otras incomodidades parecidas) y moral (el derivado del pecado). Todo esto existe en la obra de Dios y por ello Lucrecio concluyó que no existe providencia alguna, negando que el mundo sea fruto de la acción divina dada la existencia de tantos defectos en la naturaleza. Recuerda King que otros han postulado la existencia de dos principios, uno bueno y otro malo. Otros han considerado irremontable esta dificultad (con lo que parece referirse a la postura de Bayle). King se propone resolver el nudo gordiano sosteniendo que el poder, la sabiduría y la bondad de Dios no serían infinitos y perfectos en su puesta en práctica si tales males hubieran quedado desterrados.

King había señalado con San Agustín que el mal metafísico o de la imperfección de las criaturas se debe a que las criaturas han salido de la nada; pero Dios prefirió, por bondad, la imperfección a la nada, a lo que Leibniz añade que Dios ha producido la mayor perfección global posible aun a costa de imperfecciones particulares, escogiendo lo mejor. Por otra parte, el mal físico proviene –según King– de la materia o, mejor aún, de su movimiento (sin el cual la materia sería inútil); incluso es necesario que se dé contrariedad en tales movimientos ya que si todo avanzara en la misma dirección no existiría generación ni variedad. Pero los movimientos ocasionan también las corrupciones, dado que la variedad nace del entrechoque de los cuerpos, en virtud del cual éstos se ven con frecuencia esparcidos y destruidos. A continuación, reflexiona

acerca del dolor en el mundo animal así: era necesario que contaran con signos que les indicasen el peligro y les despertara una inclinación a evitarlo; así, el horror a la muerte sirve para tratar de evitarla. Dios les ha dado igualmente el hambre y la sed para obligarles a alimentarse y conservarse, y también ha juzgado como necesario que un animal sirva a otro como alimento, cosa que no le hace más desdichado porque la muerte causada por enfermedades suele ser más dolorosa que la muerte violenta, y los animales –carentes de previsión y de sentido del porvenir-, no viven menos tranquilos mientras se hallan fuera de peligro. Asimismo, se dan inundaciones, terremotos, rayos y otros desastres, que las bestias no temen en absoluto ni los hombres tienen motivo para temer por lo común, puesto que son muy pocos los que llegan a padecerlos. El autor de la naturaleza ha compensado estos males, así como otros que no ocurren sino muy excepcionalmente, merced a mil comodidades constantes. El hambre y la sed aumentan el placer que se halla en la ingestión de alimentos... Del dolor y la voluptuosidad nacen el temor, la codicia y esas otras pasiones útiles por lo general, aunque accidentalmente se inclinen del lado del mal; otro tanto cabe decir de los venenos, las enfermedades epidémicas y otras cosas perjudiciales, es decir, que se trata de secuelas indispensables de un sistema bien concebido. Es preciso verse sujeto a acontecimientos imprevistos, y esta clase de accidentes es inevitable. Después de todo, se comprueba que todos estos males que hemos venido tratando provienen accidentalmente de buenas causas, y no sería posible suprimirlos sin incidir en inconvenientes aún mayores. Leibniz considera todas estas ideas de King como muy acordes con las suyas y, no considerando necesario entrar en matizaciones, prosigue con el libro de King pasando al tema del mal moral y de la libertad.

Finalmente, King consideraba que el origen del mal moral es completamente diferente al mal físico, debido a la inevitable imperfección de las criaturas; el mal moral procede más bien de lo que King consideraba una perfección que la criatura compartiría con Dios: la capacidad de escoger sin motivo alguno y sin ninguna causa final o impulsiva. Leibniz muestra su total discrepancia con King en este punto. King realiza una referencia a la posición de Epicuro, según es citado por Lactancio (en su libro sobre la cólera de Dios): si Dios quiere acabar con los males y no puede, sería débil; si puede mas no quiere, esto demostraría su malignidad; o bien, carece tanto de poder como de voluntad, lo que le haría aparecer como débil y envidioso a un tiempo; o también puede y quiere, mas entonces la pregunta es: ¿por qué no lo hace, si existe? King aduce que Dios no puede impedir los males y que tampoco lo quiere así, aunque, sin embargo, eso no le hace malicioso ni débil. Leibniz afirma que él preferiría decir que puede impedirlos, pero que no lo quiere en absoluto y con razón, ya que desbarataría los bienes al mismo tiempo y se perdería más bien que mal.

APÉNDICE H

Revisión de *La evolución de la libertad* (Dennett, 2004)

Textos extractados y apuntes críticos

1.- Sobre la libertad natural (capítulo primero)

Al tratar de descubrir lo que somos, Dennett afirma que nuestras aspiraciones como seres morales cuyos actos y cuyas vidas importan no dependen *en absoluto* de si nuestras mentes obedecen o no a unas leyes físicas enteramente distintas del resto de la naturaleza. // Una vez que comprendamos en qué consiste la libertad, estaremos en una posición mucho mejor para protegerla frente a las amenazas genuinas que a menudo somos incapaces de reconocer. // Somos un ensamblaje de unos cien billones (parece que con significado español) de células de miles de tipos distintos. Cada una es un mecanismo inconsciente, un microrrobot en buena medida autónomo. Ni una sola de las células que nos compone sabe quiénes somos, ni les importa. Cada equipo de billones de robots está integrado por un sistema de eficiencia pasmosa que no está gobernado por ningún dictador, sino que se las arregla para organizarse solo para repeler a los extraños, desterrar a los débiles, aplicar férreas normas de disciplina... y servir de cuartel general para un yo consciente, una mente. Tales comunidades de células son extremadamente fascistas, pero por fortuna nuestros intereses y nuestros valores tienen poco o nada que ver con los limitados objetivos de las células que nos componen. Durante largo tiempo ha sido tentador imaginar que tan notables diferencias (entre los generosos y despiadados, entre los dedicados a la pornografía y los dedicados al servicio de Dios) debían obedecer a las propiedades especiales de un elemento *extra* (un alma) instalado de algún modo en el cuartel general del cuerpo. Ahora sabemos que esta idea no se ve apoyada por nada que hayamos aprendido acerca de nuestra biología en general y de nuestros cerebros en particular. Cuanto más aprendemos sobre cómo hemos evolucionado y sobre cómo funcionan nuestros cerebros, más seguros estamos de la inexistencia de tal ingrediente extra. Puesto que yo soy consciente y usted es consciente, esos extraños y minúsculos componentes de los que estamos formados deben ser capaces de generar *de algún modo* un yo consciente. ¿Cómo es eso posible? // Mi propósito –dice Dennett– es [hacer] una descripción de la aparición de la *libertad* en nuestro planeta, desde su origen hasta el nacimiento de la vida. **¿Qué clase de libertad? A medida que se desarrolle nuestra historia irán surgiendo diferentes tipos de libertad.**¹⁶⁷

¹⁶⁷ Cf. pp. 15-17.

Sigue Dennett con una síntesis de la evolución biológica, la aparición del lenguaje, la capacidad de reconocernos y de compartir conocimiento, de anticipar peligros y planear respuestas a ellos, y pensar sobre la propia muerte.

Al centrarse en el epígrafe “soy quien soy”, se pregunta: ¿puede alguno de nosotros hacer algo distinto de lo que termina haciendo? Y si no, ¿qué sentido tiene intentarlo? Tan pronto como los antiguos atomistas griegos soñaron la brillante idea de que el mundo estaba compuesto de una miríada de pequeñas partículas que chocaban unas con otras, dieron con el corolario de que en tal caso todos los eventos, incluidos todos y cada uno de los latidos fibras y reflexiones privadas, se desarrollan de acuerdo con una serie de leyes de la naturaleza que *determinan* lo que va a ocurrir hasta sus más ínfimos detalles y no dejan, por lo tanto, ninguna opción abierta, ninguna alternativa real, ninguna oportunidad de que las cosas sean de un modo u otro. **Si el determinismo es verdad, es una ilusión pensar que nuestras acciones tienen sentido, por más que parezcan tenerlo.** Naturalmente, eso ha alimentado la esperanza de que, después de todo, las leyes de la naturaleza no sean deterministas. El primer intento de suavizar el golpe del atomismo vino de la mano de Epicuro y sus seguidores, quienes propusieron que una *desviación azarosa* en las trayectorias de algunos de esos átomos podía dejar espacio para la libertad de elección. ¡La física cuántica viene al rescate! **Cuando descubrimos que en el extraño mundo de la física subatómica rigen leyes distintas, leyes indeterministas, se abre un nuevo y legítimo campo de investigación: mostrar cómo podemos utilizar este indeterminismo cuántico para proponer un modelo de ser humano como agente que dispone de oportunidades genuinas y es capaz de tomar decisiones verdaderamente libres.** Se trata de una posibilidad de un atractivo tan perenne que merece un examen cuidadoso y considerado, [...] pero mi conclusión final será, como han argumentado muchos antes que yo, que esa hipótesis no puede funcionar. **El indeterminismo no es descabellado –afirma Dennett–** en respuesta a unas palabras de William James sobre la falta de responsabilidad humana si sus actos son libres en el sentido de absolutamente surgidos como novedad absoluta, no conexas con el yo previo-, **aunque tampoco será ninguna ayuda para aquellos que aspiran a la libertad**, y nuestro examen pondrá al descubierto algunos pasos en falso que ha dado nuestra imaginación en su intento de encontrar una solución al problema de la libertad.¹⁶⁸

Prosigue Dennett discutiendo si la libertad es una realidad o es una falsa ilusión. La respuesta a la pregunta de si la constitución del mundo es tal que nos permite tomar decisiones

¹⁶⁸ Cf. pp. 22-23.

realmente libres, planteada por filósofos, teólogos y científicos depende, según se ha pensado siempre, de algunos hechos básicos y eternos: las leyes fundamentales de la física, y ciertas verdades analíticas sobre la naturaleza de la materia, el tiempo y la causalidad, así como ciertas verdades [...] sobre la naturaleza de nuestras mentes. Trataré de demostrar que este problema tradicional de la libertad es, a pesar de su pedigrí, una cortina de humo, un acertijo sin importancia real que aparta nuestra atención de algunas preocupaciones vecinas que sí importan [...] mi intención es [...] promover dichas cuestiones tangenciales al rango de cuestiones principales // Vivimos nuestras vidas sobre la base de ciertos hechos, algunos de ellos variables y otros sólidos como la roca. La estabilidad procede en parte de hechos físicos fundamentales (la ley de la gravedad...); de otros hechos más fundamentales aún, de carácter *metafísico* ($2+2=4$...). La idea de que somos libres es otra condición de fondo para nuestro modo de pensar nuestras vidas. **La libertad [...] no sólo no es eterna, sino que es fruto de la evolución, y sigue evolucionando** // Parece ser una construcción estable y ahistórica, tan eterna e inmutable como la aritmética, pero no lo es. Ha evolucionado como un producto reciente de las interacciones humanas // ¿Es posible que esta atmósfera omnipresente de la libertad en la que vivimos y actuamos no sea ni mucho menos un *hecho*, sino solo una especie de fachada, de alucinación colectiva? (Ahora, Dennett presenta como mutuamente ajenos dos grupos de posturas respecto a la pregunta) Hay quien dice que la libertad ha sido siempre una ilusión, un sueño precientífico [...] Nunca hemos sido *realmente* libres, y nunca podríamos haberlo sido. Siguen la corriente de la multitud [...] pues saben que [...] todo lo que ocurre es simplemente el resultado de una vasta red de causas inconscientes que, en un último análisis, impiden que nada tenga ningún significado [...] Algunas personas encuentran un consuelo momentáneo en la conclusión de que no son libres [...] tal vez luego se den cuenta, con irritación, de que a pesar de ello no pueden dejar de dar importancia a las cosas, no pueden evitar preocuparse, esforzarse, tener esperanzas... y así sucesivamente...// (El segundo grupo) Otras personas están convencidas de que son libres. No solo se plantean retos; se entregan a sus retos personales, desafían su supuesto destino [...] Creen tener el control de sus propias vidas y ser responsables de sus propias acciones// Tal vez haya dos tipos de personas normales: aquellas que no creen en la libertad y *por ello mismo* no son libres, y aquellas que creen en la libertad y *por ello mismo* son libres. ¿Es posible que “el poder del pensamiento positivo, o algo por el estilo, sea lo bastante grande como para marcar la diferencia crucial? // En lo que queda de libro, mi tarea – dice Dennett- será deshacer este nudo de ideas y ofrecer una visión unívoca, estable, coherente y empíricamente fundada de la libertad humana, y **ya se sabe cuál es la conclusión a la que llegaré: la libertad es real, pero no es una condición previamente dada de nuestra**

existencia, como la ley de la gravedad. Tampoco es lo que la tradición pretende que es: un poder cuasi divino para eximirse del entramado de causas del mundo físico. Es una creación evolutiva de la actividad y las creencias humanas, y es tan real como las demás creaciones humanas, como la música o el dinero. Y es incluso más valiosa // [...] solo podemos emprender este renovado examen una vez que hayamos corregido los errores en los que han caído los planteamientos tradicionales.¹⁶⁹

Mi punto de vista fundamental es el *naturalismo* –afirma Dennett-, la idea de que las investigaciones filosóficas no son superiores ni previas a las investigaciones de las ciencias naturales. Eso significa aceptar con gusto el tesoro de las teorías y descubrimientos científicos que tanto esfuerzo ha costado reunir como material de base para las teorías filosóficas, de modo que sea posible una crítica recíproca informada y constructiva entre la ciencia y la filosofía.

Dennett refiere las palabras de Tom Wolfe: **“Como la conciencia y el pensamiento son productos del cerebro y el sistema nervioso enteramente físicos –y como el cerebro nace con todo grabado-, ¿qué le hace pensar a usted que es libre? ¿De dónde podría venir su libertad?** (Wolfe, 2000, pág. 97). **Frente a esto –prosigue Dennett- yo tengo una respuesta: simplemente, Wolfe se equivoca.** Para empezar, el cerebro no “nace con todo grabado”, aunque ese es solo el menor de los malentendidos que hay detrás de esta extendida resistencia al naturalismo. El naturalismo no es ningún enemigo de la libertad; ofrece una explicación *positiva* de la libertad que da mejor respuesta a los puntos oscuros que aquellas explicaciones que tratan de protegerlas de las garras de la ciencia con una “oscura y miedosa metafísica”.¹⁷⁰

2.- Una herramienta para pensar el determinismo (capítulo segundo)

En este capítulo, Dennett se propone presentar un modelo con el cual mostrar que el vínculo tradicional entre el determinismo y la inevitabilidad es un error, y que el concepto de inevitabilidad corresponde al nivel del diseño, no al nivel físico.

El determinismo consiste en la tesis de que “en cada momento dado hay exactamente un único futuro físicamente posible” (Van Inwagen, 1983, pág. 3). **Muchos pensadores asumen que el determinismo implica la inevitabilidad. No es así.** En segundo lugar, **muchos consideran evidente que el indeterminismo –la negación del determinismo- nos daría cierta libertad en cuanto agentes [...] que simplemente no existiría en un universo**

¹⁶⁹ Cf. pp. 24-28.

¹⁷⁰ Cf. pp. 30-31.

determinista. Tampoco es así. En tercer lugar, **se supone comúnmente que en un mundo determinista no hay verdaderas opciones, sino que estas son solo aparentes. Esto es falso.** Acabo de contradecir –afirma Dennett- tres ideas tan centrales en los debates sobre la libertad, y tan raramente cuestionadas, que muchos lectores deben suponer que estoy de broma, o que uso estas palabras en algún sentido esotérico.¹⁷¹

Si se compara esta posición de Dennett con la sostenida en la tesis de nuestro TFM, debe hacerse notar primeramente la existencia de un punto de acuerdo inicial; en efecto, Dennett afirma la existencia real de la libertad humana –p 28-. Sin embargo, surge inmediatamente la diferencia ya que Dennett pretende mostrar que esa existencia es posible aunque el universo físico fuese determinista. Por tanto, la posición de Dennett es compatible con la primera afirmación de nuestra tesis, esto es, que la *plasticidad sistémica* (que combina mecanismos aleatorios –no deterministas”- con los de regularidad normativa –deterministas-) ha dotado a todos los sistemas existentes - incluido el humano- de grados de libertad que han alcanzado su cima en el ser humano; la razón de esa compatibilidad es que si la libertad es posible aunque el universo sea determinista, con mayor motivo podrá existir en un universo con *plasticidad sistémica*, es decir, no estrictamente determinista.

Sin embargo, la posición de Dennett contradice la segunda parte de la tesis (que la libertad humana requiere necesariamente un mundo físico no plenamente determinista), e impediría que la teología pudiese utilizar la existencia de la libertad humana como argumento en favor de la inevitabilidad del mal natural ya que cabría afirmar que Dios pudo crear un mundo plenamente determinista en el que no hubiera grados de libertad aleatorios en la naturaleza (evitando los movimientos tectónicos, etc), sin que ello impidiese el desarrollo de la libertad humana.

Dennett cree que existe un error, el cual no consiste en tratar a las personas como si no estuvieran compuestas de multitud de átomos en relación con los cuales las cosas *ocurren*, sino *prácticamente* lo contrario: es tratar a los átomos como si fueran pequeñas personas que *hacen* cosas. Ese error surge cuando extendemos las categorías que aplicamos a los agentes especialmente evolucionados al mundo más amplio de la física. El mundo en el que vivimos es el mundo de la *acción*, y cuando tratamos de imponer las nociones de este mundo al mundo de la física “inanimada” nos creamos un problema que fácilmente puede inducirnos a error. La

¹⁷¹ Cf. p. 41.

formulación adecuada de este aspecto de las complejas relaciones entre la física fundamental y la biología resulta intimidante, pero por fortuna existe una versión *modelo* de aquella relación que sirve perfectamente a nuestros propósitos, dice Dennett. La diferencia entre un modelo y una herramienta desaparece si el modelo nos ayuda a comprender cosas que de otro modo nos resultarían demasiado complejas.

Dennett hace referencia al modelo atómico de Bohr y al de ADN de Watson & Crick. Luego se refiere a la imagen del determinismo universal dada por Laplace en 1814, que permitía al *demonio de Laplace* conocer el pasado y predecir el futuro a partir del conocimiento del estrado del universo en un momento dado; critica este esquema de Laplace por dejar cabos sueltos importantes: ¿cuán exacta debe ser la descripción de ese estado de partida?, ¿debe realizarse la proyección a todas las partículas atómicas?, ¿exactamente qué propiedades de las partículas debemos incluir en la descripción?. Para resolver esas cuestiones recurre a la propuesta de W. V. O. Quine (1969), con una idea simplificadora sobre los denominados universos “democriteanos”, consistentes en espacios digitalizados por unidades cúbicas elementales (*vóxels*, como los *píxel* de las pantallas digitales), en cada uno de los cuales puede haber o no un átomo y solo uno (indivisible como el de Demócrito). Indica la incalculable magnitud del número de universos posibles con solo considerar todas las combinaciones posibles entre la existencia o no de un átomo en los distintos *vóxels* (¡un universo cúbico con sólo ocho *vóxels* daría lugar a 256 universos distintos posibles!). Cuando se introduce la dimensión del tiempo mediante reglas de evolución del estado de cada universo (“leyes fundamentales” de cada universo), los números se hacen inimaginables (Dennett acuñó el término *Vast* para los números que, aun siendo finitos, son mucho mayores que las cantidades astronómicas). Entre esas reglas pueden establecerse, por ejemplo, criterios como permitir el cambio de posición de los átomos según ciertos criterios, permitir la aparición o desaparición de ellos, etc.

Luego, Dennett escribe: Tal como señaló Hume, *esperamos* que la física que se ha cumplido hasta ahora en nuestro mundo siga cumpliéndose en el futuro, pero no podemos demostrar por pura lógica que seguiremos rigiéndonos por ella. Hemos llegado muy lejos en el descubrimiento de las regularidades que se han venido cumpliendo en el pasado en nuestro universo, e incluso hemos aprendido a hacer predicciones en tiempo real [...] Hasta ahora nos ha salido bien [...] pero no hay garantía lógica de que siga funcionando. Sin embargo, tenemos razones para creer que habitamos un universo donde este proceso de descubrimiento seguirá adelante *más o menos* indefinidamente, y producirá predicciones cada vez más específicas, fiables, detalladas y precisas, sobre la base de las regularidades que observamos [...] pero no

podemos demostrar, lógicamente, que nuestro éxito se va a mantener, sin presuponer las regularidades mismas cuya universalidad y eternidad pretendemos demostrar. Y existen otras razones, tal como veremos, para concluir que existen límites absolutos para nuestra capacidad de predecir el futuro.

Prosigue haciendo notar que se pueden conformar universos democriteanos con reglas de transición deterministas o no-deterministas. Un ejemplo de los no deterministas puede ser aquel en el que el paso de un estado al siguiente obedezca a este criterio: todo átomo que esté rodeado por vóxels vacíos tendrá la probabilidad de desaparecer de una ocasión cada treinta y seis (en caso contrario, permanece en su lugar en el instante siguiente); esta sería una física indeterminista porque se introduce la aleatoriedad con ese criterio probabilístico en las transiciones. Ahora, Dennett se pregunta: ¿Cómo podemos *saber* qué reglas de transición gobiernan un determinado universo democriteano? Observa que, si se nos da analizar la historia de uno de esos universos, lo que se puede llegar a lograr es descubrir las regularidades de su evolución pasada, sin que podamos afirmar que seguirá evolucionando según esas mismas regularidades en el futuro (vuelve a citar a Hume). Antes de proseguir, resume: [...] todo cuanto distingue el determinismo del indeterminismo es el hecho de exhibir un tipo u otro de regularidad: sea una regularidad con probabilidades ineliminables menores a uno o una regularidad en la que dichos factores probabilísticos están ausentes. No hay lugar, en otras palabras, para la pretensión de que dos universos democriteanos sean exactamente iguales en cada vóxel/tiempo, pero que uno de ellos sea determinista y el otro indeterminista. Para tratar de profundizar en las diferencias entre ambos tipos de universos democriteanos, procede a exponer un modelo más sencillo, bidimensional, el llamado *Juego de la Vida* del matemático John Horton Conway (modelo determinista desarrollado en 1960).¹⁷²

Dennett describe el modelo *Vida* de Conway, que consta de una cuadrícula bidimensional de píxels, cada uno de los cuales puede estar encendido o apagado (lleno o vacío, blanco o negro, cero o uno, etc); cada píxel tiene ocho vecinos y su estado cambia una vez por segundo según una regla (*Física de Vida*): para cada celda, cuéntese el número de sus vecinas encendidas; si el número es dos, la celda permanece en su estado actual (encendida o apagada); si la respuesta es tres, la celda pasa a estar encendida en el instante siguiente, sea cual sea su estado actual; en todas las demás situaciones, la celda queda apagada. Esta única y sencilla regla de transición da lugar a desarrollos de *Vida* muy diversos, dependiendo del estadio

¹⁷² Cf. pp. 49-52.

de partida; por ejemplo, un origen en el que haya solo tres cuadrículas en línea encendidas, evolucionará indefinidamente mediante la alternancia entre esa situación y otra en la que estarán encendidas las tres casillas rotadas noventa grados alrededor de la central, la cual permanecerá siempre encendida; el sistema solo tendrá dos configuraciones que se repetirán alternativamente de forma indefinida. Si se parte de cuatro píxeles encendidos formando un cuadrado, esta configuración permanecerá idéntica a sí misma indefinidamente (la llaman *naturaleza muerta*). Lo relevante es que, mediante la sencilla regla establecida, se puede predecir con total precisión la configuración de celdas encendidas o apagadas en cualquier instante: cada mundo *Vida* es un universo democriteano bidimensional determinista, que encaja con nuestro concepto de determinismo: mecánico, repetitivo para toda la eternidad, sin que haya nunca una sorpresa, ni una innovación posible.

Pero –dice Dennett-, si se dan pautas de *Vida* menos sencillas, surgen sorpresas. Lo que hace interesante el *Juego de Vida* de Conway son las *irrupciones* de alguna configuración periódica que nadan a través del plano: la más sencilla es el Planeador, que es una configuración de cinco píxeles (una L de 3+1, con otro píxel como “exponente” del lado corto L-), que tras cuatro transiciones reproduce la configuración pero trasladada a otro punto del plano. Hay muchas otras configuraciones (*comilones, locomotoras, rastrillos, etc*) que emergen como objetos reconocibles a otro nivel desde el que se perciben grandes formaciones de píxeles en lugar de píxeles individuales, instancia que –dice Dennett- llamo el *nivel de diseño*, un nivel que tiene su propio lenguaje, el cual parece una síntesis transparente de las tediosas descripciones que se podrían dar a *nivel físico* // Nótese que ocurre algo curioso con nuestra “ontología” (o catálogo de lo que existe) cuando cambiamos de nivel. En el nivel físico, no hay movimiento, solo encendido/apagado, y los únicos individuos que existen (píxeles) se definen por una ubicación espacial fija (x,y); en el nivel de diseño nos encontramos repentinamente con objetos persistentes en movimiento, transformación, desaparición, etc // Nótese también que mientras en el nivel físico no hay excepciones de ningún tipo a la regla general, en el nivel de diseño nuestras generalizaciones deben ser acotadas: requieren cláusulas que matizan tales como “normalmente”, “a menos que irrumpa alguna otra configuración”. En este nivel, los fragmentos de eventos anteriores pueden “romper o matar” a uno de los objetos de esa “ontología”. Ha aparecido un elemento de mortalidad. Mientras que los átomos individuales (píxeles) entran y salen de la existencia (encendido/apagado), sin posibilidad de acumular ningún cambio, ninguna historia que pudiera afectar a su historia posterior, las construcciones mayores sí pueden sufrir daños, experimentar una revisión de su estructura, o una pérdida o una ganancia de material que

puede marcar la diferencia en el futuro; pueden mejorar, volverse *menos* vulnerables a una posible disolución posterior, por causa de algo que le haya ocurrido. Esta historicidad es la clave. La existencia en el mundo *Vida* de estructuras que pueden crecer, disminuir, torcerse, romperse, moverse... y en general persistir en el tiempo, abre las puertas a oportunidades de diseño.¹⁷³

Una vez que se ha diseñado una forma de *Vida* capaz de *hacer x* (una acción concreta), ¿cómo puedo proteger mi excelente *hacedor de x* de los daños que puede sufrir después de construido? **¿Cómo hacer cosas que duren en el mundo a veces hostil de Vida?** La física subyacente es la misma para todas las configuraciones de *Vida*, pero algunas de ellas, en virtud únicamente de su *forma*, tienen *capacidades* que otras no tienen; este es el hecho fundamental del nivel del diseño. La única regla es: cualquier cosa que funcione está bien; bajo esta regla, lo que emerge a veces es sorprendentemente parecido a un agente, pero es probable que esto sea más el resultado de nuestra imaginación que un hecho necesario. Hay medidas “pasivas” (barreras, p.ej.) y “activas” (que requieren capacidad de anticipación, guiándose por alguna señal para adoptar una estrategia de protección). **Esto es el nacimiento de la evitación, esto es, de la prevención, la protección, la orientación, el desarrollo y todas las demás modalidades más sofisticadas y costosas de acción // Una distinción clave: algunos tipos de daños pueden, en principio, evitarse y otros tipos de daños son inevitables. La clave para evitar cosas es disponer de avisos previos**, y estos de ven limitados por la “velocidad de la luz” (la velocidad a la que los “planeadores” pueden desplazarse por el plano de *Vida*). Los problemas que se mueven a menor velocidad pueden, en principio, ser anticipados por cualquier forma de *Vida* que pueda extraer información acerca de la lluvia de planeadores que recibe y adoptar las medidas –de protección- precisas. **En un entorno completamente caótico e impredecible, no hay ninguna esperanza de evitar nada como no sea por pura suerte.**¹⁷⁴

Enriquecer la perspectiva del diseño hablando de las configuraciones como si “supieran o creyeran” y “quisieran” alcanzar un fin u otro supone pasar de la simple *perspectiva del diseño* a lo que llamo *perspectiva intencional*. De acuerdo con ella pasamos a conceptualizar –dice Dennett- nuestros simples *hacedores* como *agentes racionales o sistemas intencionales*, lo cual nos permite pensarlos a un nivel aún más elevado de abstracción, e ignorar los detalles de cómo consiguen recoger la información en la que “creen” y cómo se las arreglan para “resolver” qué hacer, sobre la base de lo que “creen o quieren”. Eso le hace la vida mucho más fácil al

¹⁷³ Cf. pp. 52-57. Es posible descargar una aplicación *Vida 32* en <http://psoup.math.wisc.edu/Life32.html> con una biblioteca de configuraciones interesantes.

¹⁷⁴ Cf. pp. 59-61.

diseñador de alto nivel, del mismo modo que conceptualizar a nuestros amigos y vecinos (y enemigos) como sistemas intencionales nos lo hace mucho más fácil a nosotros // Se puede ir saltando entre el punto de vista del dios-hacker y el “punto de vista” de las creaciones del dios-hacker; los dioses-hacker tienen sus razones, buenas o malas, para diseñar sus creaciones tal como lo hacen. Tal vez las creaciones mismas ignoren cuáles son esas razones, pero son las razones por las que tienen las características que tienen, y si las creaciones persisten, es gracias a las características que tienen. Si más allá de eso, las creaciones han sido diseñadas para reunir información y usarla para guiar sus acciones, la situación se hace más complicada. La posibilidad más sencilla es que un dios-hacker haya diseñado un repertorio de reacciones-truco que tienden a funcionar en los entornos conocidos (Mecanismos Desencadenantes Innatos, o Patrones Fijos de Acción) que los etólogos han identificado en muchos animales. Gary Drescher (1991) llama a esta arquitectura *máquina de situación-acción* y la contrapone a la más compleja y costosa *máquina de elección*, en la que la creación individual genera sus propias razones para hacer x o y al anticipar los resultados probables de varias acciones posibles y evaluarlas en términos de los fines que también son fruto de su capacidad de representación. Es posible que toda esta caprichosa manera de hablar sobre las configuraciones de píxels en *Vida* como si fueran agentes racionales parezca una exageración escandalosa, un burdo intento por mi parte – dice Dennett- de ponerle una venda en los ojos. Ha llegado el momento de hacer un test de sentido común. A la pregunta ¿exactamente cuánto puede *hacer*, en principio, una constelación de píxels de *Vida*, diseñada a partir de planeadores y otras configuraciones parecidas que vienen a ser como moléculas del nivel de diseño para las formas de vida de nivel superior? La respuesta que encontraron Conway y sus alumnos nadie lo pudo imaginar: pudieron demostrar que hay mundos *Vida* -esbozaron uno de ellos- en los que existe una Máquina Universal de Turing, un ordenador bidimensional capaz en principio de computar cualquier función computable; demostraron que podían “construir” un ordenador operativo a partir de formas de *Vida* más sencillas. Es decir, cualquier programa que pueda ejecutarse en un ordenador podría, en principio, ejecutarse en el mundo *Vida* con una de esas Máquinas Universales de Turing. Todo cuanto hay que hacer es diseñarlo // Una forma de conseguir evitar los daños es que los dioses-brokers (los diseñadores de cada configuración *Vida*) intervengan durante la ejecución de la simulación e impidan directamente el daño (a modo de acción providente y milagrosa), o introduzcan en ese momento secuencias que impidan el daño (intervención “indirecta”).

Se pregunta Dennett si podría prescindirse de la acción de los dioses-brokers mediante algunas configuraciones iniciales de *Vida* capaces de hacer por sí mismas, entre otras, la función

de “evitación de daños” de los dioses-brokers // (Paréntesis: descubriremos –dice Dennett- que **el todo puede ser más libre que las partes**) // Una configuración *Vida* capaz de sustituir a los dioses-brokers debe tener varias capacidades: producir piezas autorreproducibles y mutaciones// **Cada incremento del universo comienza por un momento de puro azar, la intersección imprevista de dos trayectorias que producen algo que resulta ser, visto en retrospectiva, como algo más que una mera colisión.** La detección de colisiones es una capacidad fundamental (para prevenir los daños) que puede ponerse al alcance de los mundos de *Vida*; las colisiones son uno de los principales problemas a los que se enfrentan todos los *hackers* de *Vida*. ¿Cuántas colisiones podemos permitirnos en nuestros mundos *Vida*? Eso se convierte en un grave problema cuando pretendemos añadir la mutación a las capacidades autorreplicadoras de las configuraciones *Vida*// **El carácter abierto de la evolución por selección natural depende de la extraordinaria riqueza del mundo real, que proporciona constantemente nuevos elementos imprevistos que pueden verse convertidos por azar en nuevos elementos de diseño.** En el sistema reproductivo de la Máquina Universal de Turing de Conway no había *ruido*, se producía cada vez una copia perfecta. La mutación no estaba prevista en absoluto, con independencia del número de copias producidas. **¿Es posible diseñar un autómatas autorreproducible aún más grande y más ambicioso que permita el impacto ocasional de algún planeador, como un rayo cósmico, capaz de producir una mutación en el código genético que está siendo copiado? ¿Es posible que un mundo bidimensional tenga ruido suficiente como para hacer posible una evolución abierta y ser al mismo tiempo lo bastante silencioso como para permitir que las partes diseñadas puedan seguir haciendo su trabajo sin interferencias? Nadie lo sabe. Dennett reconoce que cuando se hubiera especificado un mundo *Vida* lo bastante complejo como para que fuera candidato a tales potencialidades, sería demasiado complejo como para que pudiera ser ejecutable en una simulación. El exceso de simplicidad de nuestros modelos evita que podamos modelar lo que más nos interesa, como es la creatividad, dado que esta se alimenta de la complejidad misma del mundo real.** Así pues, es improbable que podamos demostrar jamás *por construcción* que en algún lugar de los Vastos confines del plano de *Vida* haya configuraciones que imiten plenamente la apertura de la selección natural. Sin embargo, se pueden construir algunas de las partes que integrarían una configuración de este tipo, lo que puede aportar importantes pruebas de su existencia (las Máquinas Universales de Turing, los objetos persistentes capaces de protegerse y autorreplicarse y procesos evolutivos limitados). De modo que podemos decir con bastante seguridad que en nuestro mundo determinista de juguete **existen los ingredientes necesarios para la evolución de ¡evitadores!** Esta es la

proposición que necesitamos para disolver la ilusión cognitiva que asocia el determinismo con la inevitabilidad.¹⁷⁵

Teniendo en cuenta nuestra tesis, el argumento de Dennett parece ser una falacia porque esos elementos *evitadores* actúan mediante un criterio determinista diseñado para anular “daños” derivados de otros criterios deterministas del sistema, lo cual se consigue dando a los primeros una prioridad o rango de actuación que inhibe la acción de los segundos; es decir, entran en colisión dos mecanismos deterministas -leyes inevitables- cuya resolución está preestablecida por el diseñador de forma igualmente determinista – así sucede con el juego entre la fuerza de atracción gravitatoria de la Tierra a la Luna y la fuerza centrífuga del giro de esta respecto a la primera, o el juego entre la gravedad y las fuerzas ascensionales de los sistemas de impulsión de los cohetes espaciales, p. ej.-. En definitiva, es el diseño de criterios deterministas jerarquizados el que obliga -hace inevitable- que actúe el mecanismo que inhibe la producción de los daños, es decir, el determinismo asegura que sea inevitable la elusión (¡evitación!) de los daños: el determinismo sigue asociado a la inevitabilidad, en virtud de la programación misma. Además, en la p. 68 acaba de confesar que nadie sabe si es posible realmente un mundo *Vida* con estas capacidades abiertas del mundo real porque no se podría ejecutar la simulación por su complejidad; luego, está haciendo una hipótesis sin fundamento firme.

Prosigue Dennett con el asunto de la evitación haciendo notar que la evolución ha producido seres “evitadores” fantásticos como lo son los seres humanos; gracias a la capacidad de acopiar información a gran velocidad mediante la tecnología, junto con el conocimiento de los mecanismos que rigen la realidad, es posible anticipar posibles escenarios con tiempo suficiente para tratar de evitar los daños.

El nacimiento de la evitabilidad. Sobre el trasfondo del juego-programa *Vida* de Conway, Dennett formula la tesis central del capítulo como conclusión de un argumento explícito:

- a) En algunos mundos deterministas hay entes capaces de evitar daños
- b) Por lo tanto, en algunos mundos deterministas algunas cosas son evitadas
- c) Todo lo que es evitado es evitable
- d) Por lo tanto, en algunos mundos deterministas no todo es inevitable
- e) Por lo tanto, el determinismo no implica la inevitabilidad¹⁷⁶

¹⁷⁵ CF. pp. 62-69.

Nuestra crítica vuelve a señalar la falacia que queda en evidencia ahí: los entes capaces de evitar daños lo son en virtud de criterios -también deterministas- que el diseñador ha introducido con una jerarquía que inhibe los mecanismos deterministas causantes de daños; este determinismo de jerarquía superior que evita los daños se diseña como ineludible (¡inevitable!), luego lo evitable lo es en virtud de mecanismos inevitables, deterministas: la inevitabilidad se debe al determinismo supremo de esos criterios de jerarquía superior.

Dennett está interesado en defender que «La evolución no depende del indeterminismo» porque quiere mostrar que, en el mundo real, es posible el concepto de “evitación” aunque el mundo sea determinista, y que esa capacidad de “evitación” se identifica con la libertad. Añade que del mismo modo que la evitabilidad es compatible con el determinismo, la inevitabilidad es compatible con el indeterminismo.¹⁷⁷

No hay nada que se parezca remotamente a la libertad en el nivel de la física del mundo *Vida*. Pero la intuición de que “el conjunto no puede ser más libre que sus partes (base de la resistencia al determinismo) se revelará más adelante como una ilusión, dice Dennett.¹⁷⁸

3.- Pensar el determinismo (capítulo tercero)

¿Será el futuro igual que el pasado? Dennett se refiere nuevamente a los simples mundos deterministas *Vida*. En un nivel nada cambia nunca: los píxels hacen lo mismo una y otra vez eternamente, siguiendo la sencilla ley de la física. En otro nivel, vemos diferentes clases de mundos. Algunos mundos son tan inmutables a vista de pájaro como lo son al nivel atómico, un campo de naturalezas muertas y semáforos que, por ejemplo, parpadean para toda la eternidad. No hay drama ni suspense. Otros mundos “evolucionan” constantemente, sin pasar dos veces por el mismo estado, sea de una forma ordenada, con un crecimiento predecible, o bien de una forma *aparentemente desordenada*, con miríadas de píxels que crecen, se mueven y colisionan entre sí. En esos mundos, ¿es el futuro igual que el pasado? Sí y no. La física es eternamente inmutable, de modo que los microeventos son siempre iguales. Pero, a un nivel superior, el futuro puede ser muy variado: puede contener pautas que sean iguales que las del pasado y otras que sean completamente nuevas. Es decir, que en algunos mundos deterministas hay

¹⁷⁶ Cf. pp. 69-74.

¹⁷⁷ Cf. p. 76.

¹⁷⁸ Cf. p. 80.

cosas cuya *naturaleza* cambia con el tiempo, de modo que el determinismo no implica una naturaleza fija.¹⁷⁹

A este respecto, nuestro apunte crítico es hacer notar que Dennett mismo califica de “aparentemente desordenada” la forma en que evolucionan esos mundos en que no se repiten los estados sucesivos: es aparente porque, en efecto, sigue las leyes deterministas que se han creado al inicio del sistema, con lo cual es posible predecir perfectamente los sucesivos estados de esa variabilidad (como lo haría el demonio de Laplace en el nuestro). Aquí está la nueva falacia: la variabilidad de esos mundos y sus estados está plenamente determinada, es decir, esa variabilidad NO es identificable con “libertad”.

Hemos sido diseñados por la evolución –dice Dennett- para ser “informóvoros”, seres epistémicamente hambrientos, buscadores de información, entregados a la interminable tarea de mejorar nuestro conocimiento del mundo, para poder tomar nuestras mejores decisiones respecto a nuestro futuro subjetivamente abierto. La diferencia entre nosotros y la luna no es una diferencia que tenga que ver con la física; es una diferencia de diseño de un nivel superior. Somos el producto de un proceso competitivo a gran escala para la mejora de diseños: la luna no. Este proceso de diseño, la selección natural, se basa como es sabido en la mutación “aleatoria” como Generador de Diversidad último. Pero también hemos visto que esta bienvenida fuente de diversidad no tiene por qué ser verdaderamente aleatoria, en el sentido de ser *indeterminista*. Decir que si el mundo es determinista, nuestra *naturaleza* está fijada es decir algo falso. Nuestras naturalezas no están fijadas porque hemos evolucionado hasta convertirnos en entidades *diseñadas* para cambiar su naturaleza en respuesta a las interacciones con el resto del mundo.¹⁸⁰

Nuevamente, la visión crítica debe denunciar que Dennett ha introducido subrepticamente en el mundo determinista elementos de libertad: a) la capacidad de que algunos seres no solo reciban información, sino que la busquen deliberadamente; b) la capacidad de recordar y aprender de sucesos experimentados; c) la capacidad de relacionar estados sucesivos (causa-efecto); d) la capacidad de prever escenarios futuros, vinculada a esa información y aprendizaje; e) la capacidad de elegir entre acciones diversas en función de los escenarios que cada uno prevé. En definitiva, descubre en

¹⁷⁹ Cf. p. 113.

¹⁸⁰ Cf. pp. 115-116.

esos mundos deterministas la existencia de la libertad que él mismo ha introducido en ella rompiendo el carácter determinista del sistema.

4.- Una audiencia para el libertarismo (capítulo cuarto)

Dennett dedica este nuevo capítulo expresamente a examinar la proposición “si el determinismo es verdadero, entonces no somos libres” que resulta plausible a primera vista y que muchos pensadores serios siguen considerando que es verdadera. Dennett la rechaza de plano y presenta ahora su análisis de los puntos fuertes y débiles de esa proposición. El capítulo insiste, desde otro enfoque, en la misma orientación de los anteriores (en conjunto constituyen prácticamente la mitad del libro), y puede aquí obviarse.¹⁸¹

Concluye el capítulo diciendo que, una vez superado el miedo al determinismo físico, se puede dirigir la atención al nivel biológico, desde el que tal vez se pueda explicar cómo es posible que *seamos* libres, cuando otras entidades de nuestro mundo, hechas del mismo tipo de materia que nosotros, no lo son en absoluto. **Como sucede habitualmente cuando se habla de biología, encontraremos –dice Dennett- que hay toda clase de categorías y grados diferentes de libertad.**

5.- ¿De dónde viene todo el diseño? (capítulo quinto)

Hace cuatro mil millones de años, no había libertad en nuestro planeta porque no había vida. ¿Qué tipos de libertad han evolucionado desde el origen de la vida y cómo pudieron las razones de la evolución evolucionar hasta convertirse en nuestras razones?¹⁸²

¿Acaso no es cierto que todo lo que no viene determinado por nuestros genes debe venir determinado por nuestro entorno? ¿Qué más puede haber? Está la Naturaleza y está la Crianza. ¿Hay alguna otra X, algún factor ulterior que contribuya a lo que somos? Está el Azar. La Suerte. Ya hemos visto en los capítulos 3 y 4 que este ingrediente extra es importante, pero no tiene por qué venir de las entrañas cuánticas de nuestros átomos o de ninguna estrella lejana. Nos rodea por todas partes en los eventos azarosos y carentes de causa de nuestro ruidoso mundo, que llenan automáticamente todas las lagunas de especificación que dejan sin fijar nuestros genes o las causas más prominentes que operan en nuestro entorno. Esto es particularmente evidente en la formación de los billones de conexiones de nuestros cerebros. Hace años que se sabe que el genoma humano, a pesar de su extensión, es con mucho demasiado pequeño para especificar (en su receta genética) todas las

¹⁸¹ Cf. p. 119.

¹⁸² Cf. p. 161.

conexiones que se forman entre las neuronas. Lo que ocurre es que los genes especifican procesos que disparan grandes aumentos en las poblaciones de neuronas –muchas más de las que nuestros cerebros usaran nunca-, las cuales despliegan terminaciones de forma aleatoria (pseudoaleatoria, por supuesto), hasta que ne muchos caos conectan *casualmente* con otras neuronas de formas que resultan útiles en un sentido *detectable* (detectable para los inconscientes procesos de poda del cerebro). Estas conexiones ganadoras tienden a sobrevivir, mientras que las conexiones perdedoras mueren, para ser luego desmanteladas de modo que sus partes puedan reciclarse unos días más tarde en la próxima hornada de crecimientos neuronales. **Este entorno selectivo en el interior del cerebro (especialmente en el cerebro del feto, mucho antes de que llegue al entorno exterior) no especifica las conexiones finales más de lo que puedan hacerlo los genes; hay factores, tanto en los genes como en el entorno, que influyen y podan su crecimiento, pero hay mucho que queda en manos del azar.**

Cuando se publicó el genoma humano y se anunció que solo tenemos alrededor de 30.000 genes (según los criterios actuales sobre cómo identificar y contabilizar los genes), no los 100.000 que habían estimado algunos expertos, corrió un divertido suspiro de alivio en la prensa porque se mostraba que no somos meros productos de nuestros genes: ¡nosotros aportamos todas las otras especificaciones que de otro modo habrían “fijado” aquellos 70.000 genes! Pero cabe preguntarse ¿no nos exponemos a una amenaza igual por parte de nuestro temible entorno, de la vieja Crianza con sus insidiosas técnicas de adoctrinamiento? ¿Cuándo la Naturaleza y la Crianza hayan hecho su trabajo, quedará algo por lo que yo pueda ser yo?¹⁸³

Prosigue Dennett reflexionando acerca de los *grados de libertad* y la búsqueda de la verdad. Las decisiones más reconocibles, realizadas en tiempo real por individuos compactos y fácilmente identificables tuvieron que esperar al surgimiento de la locomoción. Sí, los árboles pueden “decidir” que la primavera ha llegado y que es hora de hacer brotar sus flores, pero esas elecciones son tan rudimentarias, tan parecidas al funcionamiento de un simple interruptor, que solo las consideramos decisiones por cortesía. **Pero incluso los interruptores, que se limitan a encenderse o apagarse como consecuencias de ciertos cambios en el entorno, dan lugar a un cierto *grado de libertad*, tal como dicen los ingenieros, y requieren por lo tanto un cierto grado de control. Un sistema posee un cierto grado de libertad cuando hay un conjunto de posibilidades diferentes y la actualización de una u otra depende de la función o del interruptor que controla esa libertad.** Los interruptores pueden estar

¹⁸³ Cf. p. 183.

conectados uno a otros en serie, en paralelo o en sistemas que combinen ambos tipos. **A medida que estos sistemas proliferan y forman redes de interruptores más grandes, los *grados de libertad* se multiplican de forma asombrosa y los problemas de control se vuelven complejos y no lineales. Cualquier linaje dotado con una estructura de este tipo se enfrenta a un problema: ¿qué información *debería* modular el paso por esta red de caminos que se bifurcan en un espacio multidimensional de posibilidades? Para eso está el cerebro.**

Un cerebro, con sus bancos de inputs sensoriales y outputs motores, es un dispositivo centralizado para rastrear el entorno pretérito en busca de información que pueda luego refinar hasta dar con unas expectativas válidas sobre el futuro. Luego cada *n* puede utilizar esas expectativas que tanto trabajo le ha costado conseguir para modular sus elecciones, mejor de lo que sus congéneres modulan las suyas.

Se plantea otra posible apuesta: ¿saldrá a cuenta que algún linaje invierta en *aprendizaje*? Dicha apuesta tiene un coste sustancial de carácter general: es preciso hacer posibles unas redes de interruptores que puedan rediseñarse en tiempo real, durante la vida del propio individuo, para que este pueda ajustar sus funciones de control en respuesta a las nuevas pautas que detecte en el mundo. Estas máquinas de elección generan muchas predicciones del tipo: *si encuentras la condición C, hacer A tendría el resultado Z con la probabilidad p*, y luego las evalúan usando valores que tengan previamente o hayan desarrollado ellos mismos, un funcionamiento que resulta eficiente para organismos diseñados para aprender en el curso de su vida.¹⁸⁴

Somos la especie que descubrió la duda [...] y solo a nosotros nos ha agujoneado la inquietud epistémica para buscar formas de remediarla: mejores métodos de busca de la verdad. En nuestro intento de mejorar el control que tenemos sobre nuestras fuentes de alimento, nuestros territorios [...] descubrimos los beneficios de hablar con los demás, hacer preguntas, transmitir la tradición. Inventamos la cultura [...] la cual es una atalaya desde la cual podemos ver cómo cambiar las trayectorias hacia el futuro que han diseñado las investigaciones ciegas de nuestros genes [...] El conocimiento compartido es la clave para aumentar nuestra libertad respecto al “determinismo genético”.

Y concluye Dennett: cuando nos olvidamos del espantajo del *determinismo genético*, vemos como la evolución guiada por la selección natural hace posibles unos cada vez mayores *grados de libertad*, aunque no se trate aún de la libertad de la agencia humana.¹⁸⁵

¹⁸⁴ Cf. pp. 187-190.

¹⁸⁵ Cf. pp. 190-191.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AYALA, F.J. (1994). *La teoría de la evolución. De Darwin a los últimos avances de la genética*. Madrid: Ediciones Temas de Hoy.
- (2007) *Darwin y el Diseño Inteligente*. Madrid: Alianza Editorial.
- BARBOUR, I.G. (2004). *Religión y ciencia*. Madrid: Ed. Trotta.
- BARROW, J.D.; TIPLER, F. J. (1996). *The Anthropic Cosmological Principle*. Oxford: Oxford University Press. First published 1986.
- CANTERA BURGOS, F.; IGLESIAS GONZÁLEZ, M (ed.). (2000). *Sagrada Biblia: Versión crítica sobre los textos hebreo, arameo y griego (3ª ed.)*. Madrid: Biblioteca de Autores Cristianos.
- CHANGEUX, J.P. (1985). *El hombre neuronal*. Madrid: Espasa Calpe.
- (2010) *Sobre lo verdadero, lo bello y el bien. Un nuevo enfoque neuronal*. Buenos Aires: Katz Ed.
- CHANGEUX, J.P.; RICOEUR, P. (2001). *La naturaleza y la norma: lo que nos hace pensar*. México: Fondo de Cultura Económica.
- CONWAY MORRIS, S. (2003). *Life's Solution*. Cambridge: Cambridge University Press.
- CRUSAFONT, M.; MELÉNDEZ, B.; AGUIRRE, E. (1986). *La Evolución*. Madrid: BAC.
- DARWIN, C. (1983). *El origen de las especies*. Barcelona: Ed. Bruguera.
- DAVIES, P. (1986). *Dios y la nueva física*. Barcelona: Salvat.
- (1993) *La mente de Dios: la base científica para un mundo racional*. Madrid: McGraw Hill.
- (2000) *El quinto milagro: En busca de los orígenes de la vida*. Barcelona: Ed. Crítica.
- DAWKINS, R. (2007). *El gen egoísta: las bases biológicas de nuestra conducta*. Barcelona: Salvat.
- DENNETT, D.C. (2004). *La evolución de la libertad*. Barcelona: Paidós.
- DÍEZ de VELASCO, F. (2009). «La enseñanza de las religiones (en plural) en la escuela en España: Historia, problemas y perspectivas». *Revista Studi e Materiali di Storia delle Religioni*. Roma: Sapienza, Università di Roma, 75/2, 497-534.
- DOBZHANSKY, T. (1957). *Las bases biológicas de la libertad humana*. Buenos Aires: El Ateneo.
- FLEW, A. (2013). *Dios existe*. Madrid: Ed. Trotta.
- GARCÍA BARÓ, M. (2007). *La compasión y la catástrofe*. Salamanca: Ed. Sígueme.
- GOULD, S.J. (2000). *Ciencia versus religión: un falso conflicto*. Barcelona: Ed. Crítica.
- GRESHAKE, G. (2008). *¿Por qué el Dios de amor permite que suframos?* Salamanca: Ed. Sígueme.
- GRIFFIN, D. R. (2004). *God, Power & Evil*. Louisville, London: Westminster John Knox Press. Originally published 1976.
- HAUGHT, J.F. (2012). *Dios y el nuevo ateísmo: una respuesta crítica a Dawkins, Harris y Hitchens*. Santander: Sal Terrae.
- HAWKING, S.W. (2003). *Historia del tiempo: del big bang a los agujeros negro*. Madrid: Alianza Ed.

- IJJAS, A. (2013). «Quantum aspects of life: Relating Evolutionary Biology with Theology Via Modern Physics». *Zygon Journal*. Malden-USA: Wiley-Blackwell Publishing, vol. 48, nº 1, 60-76.
- JEEVES, M.; BROWN, W.S. (2010). *Neurociencia, psicología y religión*. Estella: Ed Verbo Divino.
- KREINER, A. (2007). *Dios en el sufrimiento*. Barcelona: Herder Ed.
- KÜNG, H. (2004). *Credo: el símbolo de los Apóstoles explicado al hombre de nuestro tiempo*. Madrid, Ed. Trotta.
- (2007). *El principio de todas las cosas: ciencia y religión*. Madrid: Ed. Trotta.
- LEIBNIZ, G.W. (1990). *Escritos en torno a la libertad, el azar y el destino*. Madrid: Ed. Tecnos.
- MAYNARD SMITH, J. (1972). *Teoría de la evolución*. Madrid: Ed. Istmo.
- MCGRATH, A.E. (2009). *A Fine-Tuned Universe. The Quest for God in Science and Theology*. Kentucky: Westminster John Knox Press.
- MILLER, K.R. (2007). *Finding Darwin's God. A Scientist's Search for Common Ground between God and Evolution*. New York: Harper-Perennial. First published 1999.
- MONOD, J. (1981). *El azar y la necesidad*. Barcelona: Tusquets Editores.
- PEACOCKE, A. (2004). *Creation and the World of Science: the Re-shaping of Belief*. Oxford: Oxford University Press. First published 1979.
- POLKINGHORNE, J. (2000). *Ciencia y teología: una introducción*. Santander: Ed. Sal Terrae.
- (2005) *Quarks, Chaos and Christianity*. London: SPCK. First published 1994.
- (2006) *Science and Creation: The Search for Understanding*. USA: Templeton Foundation Press. Originally published 1988.
- REALE, G.; ANTISERI, D. (2008). *Historia del pensamiento filosófico y científico. I Antigüedad y Edad Media*. Trad.: J.A. Iglesias. Barcelona: Herder Editorial.
- (2010a). *Historia del pensamiento filosófico y científico. II Del Humanismo a Kant*. Trad.: J.A. Iglesias. Barcelona: Herder Editorial.
- (2010b). *Historia del pensamiento filosófico y científico. III Del Romanticismo hasta hoy*. Trad.: J.A. Iglesias. Barcelona: Herder Editorial.
- REES, M. (2000). *Just six Numbers: The Deep Forces that Shape the Universe*.
- SOLER, M. (2002). *Evolución. La base de la Biología*. Granada: Proyecto Sur de Ediciones, D.L.
- UDÍAS VALLINA, A. (2012). *Ciencia y religión: Dos visiones del mundo*. Santander: Sal Terrae.
- WEINBERG, S. (2006). *Los tres primeros minutos del universo*. Madrid: Alianza.