

ANTROPOLOGÍA SOCIAL Y CULTURAL

**GUÍA DIDÁCTICA**

***CIENCIA, TECNOLOGÍA Y CONCEPCIONES DEL MUNDO***

PIEDAD YUSTE

- 2004 -

# ANTROPOLOGÍA SOCIAL Y CULTURAL

## *Ciencia, Tecnología y concepciones del mundo*

5 Créditos. Código 595289

- I. EQUIPO DOCENTE
- II. OBJETIVOS GENERALES
- III. CONTENIDOS
- IV. BIBLIOGRAFÍA BÁSICA RECOMENDADA
- V. BIBLIOGRAFÍA COMPLEMENTARIA
- VI. COMENTARIO TEMÁTICO
- VII. EVALUACIÓN
- VIII. HORARIO DE CONSULTA

### **I. EQUIPO DOCENTE DE LA ASIGNATURA**

DR. D. ELOY RADA GARCÍA. Profesor Titular

### **II. OBJETIVOS GENERALES**

*Ciencia, tecnología y concepciones del mundo* es una asignatura que trata de las hipótesis y conjeturas que la humanidad ha imaginado acerca del universo, la Tierra, la materia, el hombre y la vida; de las respuestas que la ciencia ha ido dando a cuestiones tales como *qué sucede, cómo sucede y por qué suceden* determinados fenómenos; de la noción que el hombre se ha formado de su entorno, desde lo más próximo y familiar a lo más lejano y oculto. Intentamos aquí hacer un rápido recorrido a través de la historia, para que nos muestre cómo fueron los primeros pasos del conocimiento, a partir de la

mera observación de los hechos y de la aceptación de lo aparente como real y de lo incomprendido como confuso y aterrador. Advertiremos que de la observación de la regularidad y el orden se pasó a la construcción de teorías y enunciados generales. Pero la mirada del científico no se dirigió siempre al mismo lado, y en ocasiones negó lo establecido para sustituirlo por hipótesis audaces y novedosas.

El objetivo de esta signatura consiste en tomar contacto con los diversos planteamientos científicos y con sus respectivas inferencias y conclusiones.

### **III. TEMARIO**

1. Astronomía en las antiguas civilizaciones de Egipto y Mesopotamia: El lenguaje de los astros. Presagios y adivinación. Construcción de relojes y calendarios. Los horóscopos. El Zodíaco
2. El universo geométrico: Primeras hipótesis cosmológicas. Pitagóricos y Alejandrinos. El paradigma de Ptolomeo. Los astrolabios
3. La Tierra en movimiento: La perspectiva de Copérnico. Las sutiles observaciones de Galileo. Tycho Brahe en el Castillo de los Cielos. Kepler y la armonía del universo
4. Nociones enfrentadas: Newton y la mecánica de los cielos. Cómo es el mundo para Descartes. El dinamicismo de Leibniz. Maupertuis y el Principio de Mínima Acción
5. Nuevas conjeturas acerca del cosmos: Los postulados relativistas. Universo estacionario y creacionistas. Hipótesis del Big Bang. Modelo inflacionario. El principio antrópico
6. La composición interna de la materia: Químicos y alquimistas. El corpuscularismo de Robert Boyle
7. El fenómeno de la combustión: Teoría del Flogisto. Lavoisier y el calórico. La naturaleza de los gases. El elemento químico
8. La actividad de la materia: El modelo atómico de Dalton. Electricidad y magnetismo. Teoría de los cuantos. Las cuatro fuerzas

9. El cuerpo humano y sus afecciones: Médicos y sanadores en las culturas arcaicas. Los transgresores
10. La medicina de Hipócrates y Galeno. Las doctrinas de los humores. El saber curativo en el mundo grecorromano
11. Médicos renacentistas: La Escuela de Padua. El desarrollo de la anatomía en Leonardo y Vesalio. El problema de la circulación de la sangre: Miguel Servet y Harvey. La noción iatroquímica de Paracelso. El avance de la cirugía
12. Teorías acerca de la Tierra: Las tesis de Maillet, Buffon y Hutton. El tradicionalismo de Werner y Ray. Catastrofistas como Cuvier y Whewell. El uniformismo de Lyell
13. Evolución: Los primeros pasos de Buffon y Maupertuis. La aportación de Linneo a la taxonomía. Malthus y la selección natural. Los descubrimientos de Lamarck, Wallace y Darwin. La gran cadena del ser. Hipótesis postdarwinianas
14. El desarrollo de la genética: Embriogénesis. Los experimentos de Mendel. Biología molecular e ingeniería genética. El genoma humano

#### **IV. BIBLIOGRAFÍA BÁSICA RECOMENDADA**

Como el temario es muy amplio, conviene recurrir a varias obras para completarlo. No es necesario que se lean todos estos libros íntegramente, pues será suficiente buscar en ellos los apartados y capítulos que se ajusten más a los contenidos de la asignatura. En algunos casos encontraremos el mismo asunto tratado en varias obras; entonces, el alumn@ escogerá la que más le interese o agrade.

- ASIMOV, Isaac: *Breve historia de la química*. Alianza, Madrid, 1999
- AYALA, Francisco: *La teoría de la evolución. De Darwin a los últimos avances de la genética*. Temas de hoy, Madrid, 2001
- BABINI, José: *Historia de la medicina*. Gedisa, Barcelona, 2000

- BOWLER, P. J.: *Historia Fontana de la ciencias ambientales*. Fondo de Cultura Económica, México, 1998
- CARDONA, Lluís: *Genética. De Darwin al genoma humano*. Océano, Barcelona, 2002
- ESTEBAN SANTOS: Soledad: *Introducción a la historia de la química*. Cuadernos de la UNED, Madrid, 2002
- GRIBBIN, John: *Historia de la ciencia, 1543-2001*. Crítica, Barcelona, 2003
- GUERRA, Francisco: *Historia de la medicina*. Ediciones, Norma, Madrid, 2001
- HULL, L. W. H.: *Historia y filosofía de la ciencia*. Ariel, Madrid, 1989
- MASON, Stephen F.: *Historia de la ciencias*. Alianza, 2001
- NORTH, John D.: *Historia Fontana de la astronomía y la cosmología*. Fondo de Cultura Económica, México, 2001
- RADA, E.; BURGUETE, R.: *Ciencia y Tecnología y su papel en la sociedad*. UNED, Madrid, 2004
- SÁNCHEZ RON, J. M.: *El jardín de Newton*. Crítica, Barcelona, 2001
- SELLÉS, M.; SOLÍS, C.: *Revolución científica*. Síntesis, Madrid, 2001
- STIOPIN, Viacheslav S.: *El saber teórico*. UNED, Madrid, 2004

## V. BIBLIOGRAFÍA COMPLEMENTARIA

Las obras que se mencionan a continuación sirven para ampliar conocimientos o para profundizar algo más en alguno de los temas planteados. No es necesaria su lectura, simplemente se proponen como libros de consulta o de referencia; como bibliografía alternativa; o porque nos guste leerlos.

### 1) **Obras generales:**

- *Akal Historia de la ciencia y de la técnica*. Madrid, 1991
- ELENA, Alberto; ORDÓÑEZ RODRÍGUEZ, J: *Historia de la ciencia*. Univ. Autónoma de Madrid, 1999

- LINDBERG, David. C.: *Los inicios de la ciencia occidental*. Barcelona, Paidós, 2002
- SERRES, Michel: *Historia de las ciencias*. Cátedra, Madrid, 1991
- TATON, René (ed.): *Historia general de las ciencias*. Destino, Barcelona, 1999
- SOLÍS, Carlos; SELLÉS, Manuel: *Historia de la ciencia*. Espasa Calpe, Madrid (en prensa)

## 2) **Diccionarios:**

- ASIMOV, Isaac: *Enciclopedia biográfica de la ciencia y la tecnología*. Alianza, Madrid, 1987
- BYNUM, W. F.; BROWNE, E. J.; PORTER, R. (eds.): *Diccionario de Historia de la ciencia*. Herder, Barcelona, 1986
- GRIBBIN, John: *Diccionario del cosmos*. Crítica, 1997
- HERRMANN, Joachim: *Estrellas*. Blume, 1998
- MILLAR (eds.): *Diccionario básico de científicos*. Tecnos, Madrid, 1994
- SÁNCHEZ RON, José Manuel: *Diccionario de la ciencia*. Planeta, Barcelona, 2001

## 3) **Historias de la ciencia:**

- ARAGÓN DE LA CRUZ, Francisco: *Historia de la química*. Ed. Síntesis, Madrid, 2004
- BÉNSAUDE – VINCENT, B.; STENGERS, I.: *Historia de la química*. Addison – Wesley, Iberoamericana y Univ. Autónoma de Madrid, Madrid, 1997
- BROCK, W. H.: *Historia de la química*. Alianza, Madrid, 1998
- ELLENBERGER: *Historia de la geología*. Labor, Barcelona, 1989
- LAÍN ENTRALGO, Pedro: *Historia universal de la medicina*. Salvat, Barcelona, 1999 (7 vols.)
- LÓPEZ PIÑERO, José M.: *Breve historia de la medicina*. Alianza, Madrid, 2000
- LÓPEZ PIÑERO, José M.: *Historia de la medicina*. Historia 16, Madrid, 2001

#### 4) **Guía didáctica y bibliográfica:**

- SELLÉS, Manuel; SOLÍS, Carlos: *Solo en casa*. Cuadernos de la UNED, 2001

#### 5) **Obras específicas:**

- ALBARRACÍN, Agustín: *La teoría celular en el siglo XIX*. Akal Historia de la ciencia y de la técnica, vol. 42 (2001)
- ARANA, Juan: *Materia, Universo, Vida*. Tecnos, Madrid, 2001
- ARSUAGA, Juan Luis: *El collar de Neandertal: en busca de los primeros pensadores*. Círculo de Lectores, Barcelona, 2000
- ASIMOV, Isaac: *El Universo: De la tierra plana a los quásares*. Alianza, Madrid, 2004
- BARONA, Joseph Lluís: *La fisiología: origen histórico de una ciencia experimental*. Historia Akal de la ciencia y la tecnología, vol. 46 (2001)
- BELMONTE, J. A.: *Las leyes del cielo. Astronomía y civilizaciones antiguas*. Ediciones Temas de hoy, Madrid, 1999
- BELTRÁN, A.: *Galileo, ciencia y religión*. Paidós, Barcelona, 2001
- BERKSON, William: *La teoría de los campos de fuerza. Desde Faraday a Einstein*. Alianza, Madrid, 1997
- BOWLER, Peter: *Charles Darwin: el hombre y su influencia*. Alianza, Madrid, 2001
- BOYLE, R.: *Física, química y filosofía mecánica*. Alianza, Madrid, 2001
- CANTOR, G.; GOODING, D.; JAMES, F.A.J.L.: *Faraday*. Alianza, Madrid, 2001
- CLARKE, Desmond (et al.): *La filosofía de la ciencia de Descartes*. Alianza, Madrid, 2001
- COHEN, Bernard: *El nacimiento de una nueva física*. Alianza, Madrid, 2001
- COPÉRNICO: *Sobre las revoluciones de los orbes celestes*. Ediciones Altaya, Barcelona, 2001
- CROMBIE, A. C.: *Historia de la ciencia de San Agustín a Galileo*. Alianza, Madrid, 1999

- DARWIN, Charles: *El origen de las especies*. Círculo de Lectores, Barcelona, 2001
- DAWKINS, Richard: *El gen egoísta*. Salvat, Barcelona, 2002
- DELIGEORGES, Stéphane (dir.): *El mundo cuántico*. Alianza, Madrid, 2001
- DESCARTES, René: *Principios de Filosofía*. Alianza, Madrid, 2001
- DÍAZ – HELLÍN, José Antonio: *El gran cambio en la física. Faraday*. Nivola, Madrid, 2001
- DURHAM, F.; PURRINGTON, R. D.: *La trama del universo*. FCE, México, 1981
- EINSTEIN, A., GRÜNBAUM, A; EDDINGTON, A. S.: *La teoría de la relatividad*. Alianza, Madrid, 2001
- EINSTEIN, Albert: *Sobre la teoría de la relatividad especial y general*. Alianza, Madrid, 2003
- ELDREDGE, Niles: *Síntesis inacabada*. FCE, México, 1997
- ELENA, Alberto: *Las quimeras de los cielos*. Siglo XXI, Madrid, 2001
- ELENA, Alberto: *La revolución astronómica*. Historia Akal de la Historia y de la técnica, vol.12
- ELIADE, Mircea: *Herreros y alquimistas*. Alianza, Madrid, 2003
- ESTEVA DE SAGRERA, Juan: *La química sagrada. De la alquimia a la química en el siglo XVII*. Historia Akal de la Ciencia y de la técnica, vol. 19
- FARRINGTON, Benjamín: *Ciencia griega*. Icaria, Barcelona, 1999
- GALILEI, Galileo: *Diálogo sobre los dos máximos sistemas del mundo ptolemaico y copernicano*. Alianza, Madrid, 2001
- GAMOW, George: *Biografía de la física*. Alianza, Madrid, 2003
- GARCÍA BALLESTER, Luis: *Galeno*. Guadarrama, Madrid, 1972
- GARCÍA HOURCADE, J. L.: *La rebelión de los astrónomos. Copérnico, Kepler*. Nivola, 2000
- GOMIS, Alberto: *La biología en el siglo XIX*. Historia Akal de la ciencia y la tecnología, vol. 43 (2001)
- GOMIS, Alberto: *Las civilizaciones fluviales: Egipto y Mesopotamia*. Historia Akal de la ciencia y de la técnica, vol. 2 (2001)
- GRIBBIN, John: *El Punto Omega*. Alianza, Madrid
- HANSON, Norwood R.: *Constelaciones y conjeturas*. Alianza, Madrid, 2001



- HARMAN, P. M.: *Energía, fuerza y materia. El desarrollo conceptual de la física del siglo XIX*. Alianza, Madrid, 2001
- HEISENBERG, W.: *La imagen de la naturaleza en la física actual*. Ariel, Barcelona, 2001
- HEISENBERG, Werner: *Encuentros y conversaciones con Einstein y otros ensayos*. Alianza, Madrid, 1999
- HEISENBERG, Werner: *La parte y el todo: conversando en torno a la física atómica*. Ellago Ediciones, castellón de la Plana, 2004
- HOLTON, Gerald: *Einstein, historia y otras pasiones*. Taurus, 2002
- HORGAN, John: *El fin de la ciencia*. Paidós, Barcelona, 1998
- HAWKING, S. W.; PENROSE, R.: *Cuestiones cuánticas y cosmológicas*. Alianza, Madrid, 1999
- HAWKING, S. W.: *Historia del tiempo: del Big Bang a los agujeros negros*. Alianza, Madrid, 2003
- JAUCH, J. M.: *Sobre la realidad de los cuantos*. Alianza, Madrid, 2001
- KELLER, Evelyn Fox: *El siglo del gen*. Península, Barcelona, 2002
- KEPLER, Johannes: *El secreto del universo*. Ediciones Altaya, Barcelona, 2001
- KOESTLER, A.: *Los sonámbulos*. Salvat, Madrid, 1999
- KOYRÉ, A.: *Del mundo cerrado al universo infinito*. Siglo XXI, Madrid, 2000
- KUHN, T. S.: *La revolución copernicana*. Ariel, Barcelona, 2003
- LAÍN ENTRALGO, P.: *La medicina hipocrática*. Alianza Universidad, Madrid, 1999
- MAXWELL, James C.: *Escritos científicos*. Círculo de Lectores, Barcelona, 2001
- MORENO GONZÁLEZ, Antonio: *Aproximación a la física*. Museo de Ciudad Real, Ciudad Real, 2002
- NARLIKAR, Jayant: *La estructura del universo*. Alianza, Madrid, 1987
- NEWTON, Isaac: *Principios Matemáticos de Filosofía Natural*. Alianza, Madrid, 2003
- NEWTON, Isaac; VOLTAIRE: *El sistema del mundo / Los elementos de la filosofía de Newton*. Círculo de Lectores, Barcelona, 2003
- OPPENHEIM, A. L.: *La Antigua Mesopotamia*. Gredos, Madrid, 2003

- PELAYO, Francisco: *Las teorías geológicas y paleontológicas durante el siglo XIX*. Historia Akal de la ciencia y la tecnología, vol. 40 (2001)
- PENROSE, Roger: *La nueva mente del emperador*. Círculo de Lectores, Barcelona, 2001
- PORTELA, Eugenio: *La química ilustrada*. Historia Akal de la ciencia y la tecnología, vol. 33 (1999)
- PTOLOMEO: *La hipótesis de los planetas*. Alianza, Madrid, 1987
- PUIG-SAMPER, Miguel A.: *Darwinismo y antropología en el siglo XIX*. Historia Akal de la ciencia y la tecnología, vol. 49 (2001)
- ROMÁN LÓPEZ, María Teresa: *Sabidurías orientales de la Antigüedad*. Alianza, Madrid, 2004
- ROMÁN POLO, Pascual: *El profeta del orden químico. Mendeléiev*. Nivola, Madrid, 2002
- RUBIO CARDIEL, Julián: *Los genes. Qué son y qué hacen en el organismo*. Síntesis, Madrid, 2001
- RUSE, Michael: *La revolución darwinista*. Alianza, Madrid, 1999
- SAMBURSKY, S.: *El mundo físico a finales de la Antigüedad*. Alianza, Madrid, 2001
- SAMBURSKY, S.: *El mundo físico de los griegos*. Alianza, Madrid, 2001
- SÁNCHEZ RON, José Manuel: *Espacio-tiempo y átomos : relatividad y mecánica cuántica*. Akal historia de la ciencia y de la técnica, nº 51, (2001)
- SCHRÖDINGER, W: *La nueva mecánica ondulatoria u otros escritos*. Biblioteca Nueva, Madrid, 2001
- SELLERI, Franco: *El debate de la teoría cuántica*. Alianza, Madrid, 2001
- SELLÉS, Manuel A.: *En torno a la génesis de la teoría de la relatividad restringida*. CSIC, Madrid, 1984
- SOLÍS, Carlos: *La revolución de la física en el siglo XVII*. Historia Akal de la ciencia y la tecnología, vol. 18 (2002)
- SYNDER, Ernst E.: *Historia de las ciencias físicas*. Nueva colección Labor, Barcelona, 1973
- TIPLER, Frank J.: *La física de la inmortalidad*. Alianza, Madrid, 1996

- VERNET, Juan: *Astronomía y astrología en el Renacimiento*. El Acantilado, Barcelona, 2000
- WEINBERG, S.: *Los tres primeros minutos del universo*. Alianza, Madrid, 2003
- WHEELER, John Archibald: *Un viaje por la gravedad y el espacio-tiempo*. Alianza, Madrid, 2001

## VI. COMENTARIO TEMÁTICO

**TEMA 1:** *Astronomía en las antiguas civilizaciones de Egipto y Mesopotamia: El lenguaje de los astros. Presagios y adivinación. Construcción de relojes y calendarios. Los horóscopos. El Zodíaco*

Hacia el tercer milenio antes de nuestra era, los territorios de Egipto y Mesopotamia disfrutaban ya de una compleja organización cultural y administrativa, regida por un monarca omnímodo que detentaba los poderes civil y religioso.

Aquellas remotas civilizaciones dirigieron primero su mirada al cielo, percibiendo el diario giro de los astros, el errático movimiento de los planetas, las constantes apariciones y desapariciones del Sol y los ciclos y fases de la Luna. La bóveda celeste era el lugar donde habitaban sus dioses más poderosos y desde donde estos enviaban sus mensajes de advertencia o amenaza. Los hombres necesitaban descifrar el lenguaje de las estrellas para contentar a sus amos del cielo y aplacar su ira; pero sólo unos pocos fueron capaces de hacerlo, impulsados quizá por una mezcla de curiosidad y temor, o por la ambición de poseer la clave del futuro, y se pusieron enseguida al servicio de los reyes, señores todopoderosos en la Tierra, emisarios de los dioses e hijos predilectos de los mismos.

Para las poblaciones del Neolítico, cuyo alimento y prosperidad dependía casi exclusivamente de la agricultura, controlar los períodos estacionales podía ser un buen motivo para estudiar el firmamento. Pero también al monarca le urgía demostrar el dominio que ejercía sobre los astros y la alianza que mantenía con los dioses. Así, conocer en qué momento debían iniciarse las labores de siembra, calcular la llegada de

las lluvias y de los vientos, predecir días más largos y noches más cortas, temporadas cálidas o frías, aumentaría su prestigio y lograría el estupor de sus súbditos y, en definitiva, la permanencia en el poder.

En los cielos se buscaba además información sobre la conveniencia de comenzar una batalla o desencadenar una guerra; si peligraba la situación del monarca o la de sus herederos; si vendrían épocas de escasez y hambruna o, por el contrario, se avecinaban tiempos de abundancia y bienestar. Pues habían comprobado que cada uno de estos sucesos coincidía con un eclipse de Luna o de Sol, o con cualquier fenómeno meteorológico relevante; y si no era así, escrutaban el cielo hasta averiguar qué posición exacta ocupaban los planetas en el momento de producirse determinado acontecimiento aquí, en la Tierra.

No se trataba de una relación causa efecto, sino de una señal, un presagio; los dioses avisaban a los humanos de la posible inminencia de ciertos hechos, aunque también permitían que éstos fueran neutralizados mediante ritos apotropaicos y hechizos. Los presagios se componían de dos partes: prótasis y apódosis; o lo que es lo mismo: “ Si observamos tal y tal fenómenos”, entonces “sucederá determinada cosa”.

Hemos encontrado series de presagios astronómicos en Mesopotamia, en la Gran Biblioteca de Nínive, construida bajo el mandato del rey asirio Asurbanipal, allá por el siglo VIII a. C. Son los llamados *Enuma Anu Enlil* o *Cuando Anu y Enlil ...*, ambos, dioses del cielo y del aire, respectivamente. Esta serie consta de 70 tablillas de arcilla, escritas en cuneiforme y en ellas se registran las observaciones realizadas al Sol, Luna, planetas, fenómenos meteorológicos y estrellas, y los eventos asociados a esas circunstancias; sin embargo, su origen se remonta al Período Antiguo de Babilonia (1900 – 1600 a. C.). También conservamos las *Tablillas de Venus*, redactadas durante el reinado de Ammisaduqa (1646-1626 a. C.), el catálogo de estrellas *Mul.Apin* (es la constelación del Triángulo), cuya copia más antigua está fechada el año 687 a. C., pero que provienen del año 1000 a. C., aproximadamente, y pequeñas tablillas de forma redondeada en las que están registrados los ortos heliacos<sup>1</sup> de muchas estrellas.

Los mesopotamios compusieron calendarios lunares con los que medir el tiempo. El año comenzaba con la primera aparición en fase creciente de la Luna, al pasar junto a las Pléyades o *Mul.Mul*; fenómeno que coincidía con el equinoccio de

---

<sup>1</sup> Se llama orto heliaco a la aparición de un astro antes de la salida del Sol

primavera<sup>2</sup>. La Luna atravesaba 18 constelaciones o asterismos<sup>3</sup> a lo largo del año, pero éste se dividía en doce meses sinódicos<sup>4</sup> de 29,53 días; es decir, se computaban los ciclos en los que la Luna repetía su fase. En total, poco más de 354 días al año; había, por tanto, un desfase de 11 días respecto al año solar que debían completar intercalándolos hasta hacer coincidir el paso de la Luna por las Pléyades con el año nuevo. El día se dividía en 12 horas dobles.

Como veremos, las diversas culturas asentadas en Mesopotamia realizaron un minucioso estudio del cielo, aunque hasta los últimos siglos del primer milenio no fueron capaces de predecir fenómenos e introducir complicados cálculos matemáticos, características indispensables de la astronomía científica. Sólo mediante el descubrimiento de repeticiones o ciclos en las posiciones relativas de los planetas se pudo dar este paso, lo cual no significa que desde entonces la astronomía se hubiera liberado definitivamente de la astrología, pues ambas caminaron juntas durante siglos. Asimismo, hubo que esperar al siglo V a. de C. para encontrar zodíacos de 12 constelaciones: los que hoy en día conocemos. Los primeros horóscopos datan del período seleúcida y estaban dedicados a personas individualmente.

De la astronomía egipcia conservamos pocos documentos escritos (en los papiros Ebers y Carlsberg), pero bastantes sarcófagos y templos decorados. Sabemos que en el período protodinástico usaban un calendario lunar, aunque fijando el comienzo del mes a la última visión de la Luna en estado menguante, justo antes de desaparecer. Ajustaban los 11 días de desfase anual añadiendo un mes, *Thot*, cada dos o tres años.

Observaron que el desbordamiento del Nilo coincidía con la salida heliaca de Sirio<sup>5</sup> y también, aproximadamente, con el momento en que el Sol marcaba el solsticio de verano<sup>6</sup>. Así, para los egipcios, el año nuevo empezaba cuando Sirio asomaba por el horizonte. Estos sucesos condicionaron la construcción de sus calendarios; los años se

---

<sup>2</sup> Uno de los puntos de corte entre las imaginarias circunferencias ecuatorial y eclíptica; ésta última es la línea por la que se desplaza el Sol en su movimiento aparente hacia el este. El otro punto señala el equinoccio de otoño. La eclíptica es la línea donde se producen los eclipses

<sup>3</sup> Asterismos son grupos de una o más estrellas

<sup>4</sup> Debemos distinguir el mes sinódico, en el que se repite una fase, del mes sidéreo: en el cual se determina el tiempo transcurrido entre dos pasos sucesivos por el mismo asterismo. La Luna posee un ciclo sidéreo de poco más de 27 días

<sup>5</sup> La estrella más brillante de nuestro firmamento, situada en Can Mayor e identificada con la diosa Isis

<sup>6</sup> Punto de la eclíptica en que el Sol alcanza la posición más alta y, por tanto, permanece más tiempo en el cielo; el punto opuesto coincide con el solsticio de invierno; aquí, la duración de la noche es la más larga del año

dividían en tres estaciones determinadas por los trabajos agrícolas: Inundación, Siembra y crecimiento, y Recogida y agua baja, con cuatro meses cada una de ellas.

Hacia mediados del tercer milenio se substituyó el calendario lunar por otro estelar de uso corriente en la vida civil; éste se componía de 12 meses de 30 días agrupados en 3 décadas; se agregaban 5 días extra o epagómenos, dedicados a los cinco hijos del Sol y así, hacerlo corresponder al ciclo solar<sup>7</sup>, aunque en realidad había entre ambos una diferencia de un día cada cuatro años.

Los egipcios inventaron relojes estelares alrededor del año 2400 a. C., para identificar las horas, días, décadas y meses. Componían diagramas que dibujaron bajo las tapas de los ataúdes y en los techos de los mausoleos de algunos reyes pertenecientes a las dinastías IX a XII; en ellos se anotaban los decanos<sup>8</sup> que acompañaban el transcurso de las décadas. Este tipo de relojes fue substituido, hacia mediados del segundo milenio, por los *ramésidos*, maravillosos diagramas en los que se apuntaban las posiciones relativas de los astros. Igualmente, construyeron otro tipo de relojes que identificaban el paso de las horas, aunque estas al principio, solían tener una duración variable; había relojes de sol, con dos posiciones: una para la mañana y otra para la tarde; relojes de agua (posiblemente desde el reinado de Amenhotep I) y pequeños gnomones que marcaban las horas.

Los egipcios recibieron el zodíaco de manos de los mesopotamios, en la época alejandrina (s. III a. C.); existe una bellísima representación del mismo en el techo del Templo de Hathor, en Dendera; es el llamado *Zodíaco Circular*, depositado hoy en el Museo del Louvre.

Existen fantásticas teorías acerca de posibles orientaciones solsticiales de los mausoleos y templos faraónicos. Pero estas hipótesis son difíciles de probar debido a la precesión de los equinoccios, o desplazamiento de los mismos motivado por el lento balanceo del eje terrestre; el ciclo del movimiento de precesión abarca unos 26000 años. Esto provoca la variación de las posiciones relativas de las estrellas; por tanto, es complicado saber si las cámaras funerarias de las principales pirámides estaban orientadas o no a ciertas estrellas o grupos de estrellas; sin embargo, no parece muy extraño que el faraón, el hijo del dios Sol, deseara reunirse con su padre después de la

---

<sup>7</sup> El año trópico solar consta de 365, 2422 días solares; se calcula midiendo el tiempo transcurrido entre dos equinoccios de primavera consecutivos; en los equinoccios de primavera y otoño la duración del día es idéntica a la de la noche. El año sidéreo se calcula midiendo el intervalo temporal entre dos pasos sucesivos por el mismo asterismo; su duración es de 365,2564 días solares medios

<sup>8</sup> Estrellas, grupos de estrellas o asterismos que en su orto helíaco se asocian a intervalos de tiempo

muerte, dejando a su espíritu viajar hacia Orión, la constelación con la que se identificaba a Osiris, el amado hijo de Ra.

#### BIBLIOGRAFÍA BÁSICA:

BELMONTE, J. A.: *Las leyes del cielo. Astronomía y civilizaciones antiguas*. Ediciones Temas de hoy, Madrid 1999

NORTH, John: *Historia Fontana de la Astronomía*.

#### BIBLIOGRAFÍA COMPLEMENTARIA:

GOMIS, Alberto: *Las civilizaciones fluviales: Egipto y Mesopotamia*. Historia Akal de la ciencia y de la técnica, vol. 2

OPPENHEIM, A. L.: *La Antigua Mesopotamia*. Gredos, Madrid 2003

ROMÁN LÓPEZ, María Teresa: *Sabidurías orientales de la Antigüedad*. Alianza, Madrid, 2004

STIOPIN, V. S.: *El saber teórico* (cap. I). UNED, Madrid, 2004

**TEMA 2:** *El universo geométrico: Primeras hipótesis cosmológicas. Pitagóricos y Alejandrinos. El paradigma de Ptolomeo. Los astrolabios*

Como sabemos, la paciente y exhaustiva inspección del cielo abrió el camino a la astronomía científica, apoyada ésta en complicados cálculos matemáticos y en la predicción de algunos fenómenos: eclipses, posición de los planetas en relación a las estrellas que componen el zodíaco y otros sucesos estelares. Conociendo la rutina de los cuerpos celestes estos se vieron despojados de su carácter divino. A partir de ahí, surgiría la cuestión acerca del cómo y por qué de los movimientos planetarios; no se trataba sólo de constatar hechos sino de averiguar el mecanismo que los producía. Durante los últimos siglos anteriores a nuestra era el imperio de Alejandro se extendió hacia Oriente y posiblemente hubo un intercambio de conocimientos entre las civilizaciones asiria y helena; el peso específico de la cultura se desplazó a Alejandría, donde excelentes astrónomos y matemáticos ampliaron y perfeccionaron sus respectivas disciplinas. ¿Hubo una transformación en los planteamientos, o quizá fue la

racionalidad griega la que influyó en los mismos? ¿Tomaron los helenos la información y experiencia acumulada durante decenios por los astrónomos asirios y caldeos para después elaborar sus teorías acerca del universo o, por el contrario, fue su mentalidad la que les impulsó a ello?

Los sabios griegos amaban la geometría; buscaban la perfección en el orden y la armonía de las formas, en la regularidad y la proporción. Se preguntaban acerca de la naturaleza de las cosas, de su origen y su final; de por qué y cómo se desplazan, y hacia dónde van. Miraron el firmamento y descubrieron los movimientos continuos de los astros, la belleza y esplendor de su aspecto; aunque también observaron cómo algunos vagaban por la región de las estrellas fijas, unas veces dirigiéndose a oriente, otras en cambio retrocediendo hacia occidente, describiendo curvas cerradas, como bucles o lazos; estos eran los planetas: dos interiores – Mercurio y Venus – tres exteriores – Marte, Júpiter y Saturno; interiores, entre la Tierra y el Sol; exteriores, más allá de este.

Llamaron estrellas fijas a las que se movían en círculo, todos los días, de este a oeste, como el Sol. Pero el Sol también se desplazaba lentamente hacia oriente, ascendiendo poco a poco por el firmamento, hasta un punto máximo a partir del cual iniciaba su descenso para volver a encontrarse, al cabo del tiempo, en el punto de partida. Los planetas, el Sol y la Luna, el astro más próximo a la Tierra y cuya trayectoria parecía muy difícil de explicar, avanzaban hacia oriente por el estrecho cinturón de lo que hoy denominamos zodíaco, constituido por diversas agrupaciones de estrellas y constelaciones.

Pronto comprendieron que la Tierra era esférica y que el eje en torno al cual giraban diariamente los astros estaba inclinado, de tal modo que algunos asterismos no desaparecían nunca, mientras otros salían y se ocultaban periódicamente.

El observador que contemplaba todo esto creía hallarse sobre una Tierra inmóvil, situada en el centro del mundo: Parecía como si todo el universo se ordenara en capas concéntricas hasta un límite no muy lejano, salvaguardado por las estrellas fijas. Los pitagóricos advirtieron dos movimientos contrarios en el Sol; el primero sería el que le obliga a desplazarse diariamente alrededor de la Tierra, y el segundo consistiría en ese progresivo ascenso, hacia oriente. Filolao, uno de los miembros de esta escuela, imaginó el cosmos distribuido en tres esferas concéntricas; la primera, bordeada por un fuego inextinguible, sería el Olimpo o región de las estrellas fijas; después, vendría el Mundo, lugar donde se alojan los planetas, el Sol y la Luna; a continuación estaría el Cielo o zona sublunar, sometida al cambio y a la corrupción;



aquí se ubicaría la Tierra, con su fantasmal gemela Antitierra. Todas las esferas rodarían en torno al fuego central, tan eterno e inmutable como el resto de los cuerpos celestes.

Que los astros y planetas son incorruptibles e imperecederos, eternos e inmutables, con tersas superficies cristalinas y que describen trayectorias perfectamente circulares, fue una idea admitida durante siglos, hasta que Galileo descubrió imperfecciones y manchas en la Luna y el Sol. Respecto al movimiento de la Tierra, Hicetas y Ecfanto de Siracusa – dentro del ámbito pitagórico – y Heráclides de Ponto y Aristarco de Samos, lo defendieron; mientras Eudoxo de Gnido (s. IV a. C.), célebre matemático coetáneo de Platón, lo negó. El universo de Eudoxo compone un gigantesco artificio de 27 esferas homocéntricas engranadas unas en otras, con velocidades, movimientos y rotaciones distintos, para dar explicación así del complejo ir y venir de los planetas.

El modelo astronómico de Eudoxo fue recogido por Aristóteles, quien añadió, intercaladas, una nueva serie de esferas con giros contrarios a las primeras, pues rechazaba el vacío, creyendo evitar de esta manera posibles fricciones y chirridos, algo sorprendente si estamos hablando de superficies completamente pulimentadas. El filósofo de Estagira argumentó además de un modo concluyente que el universo es finito porque las estrellas tardan un sólo día en efectuar su revolución alrededor de la Tierra.

Uno de los discípulos de Aristóteles, Heráclides de Ponto, mejoró el esquema de su maestro: los planetas inferiores, Mercurio y Venus, giran en torno al Sol, el cual a su vez lo hace alrededor de la Tierra; ésta permanecería enclavada en el centro pero rotando en torno a su eje; las estrellas fijas, entonces, no se moverían. Como vemos, los atenienses modelaron interesantes hipótesis cosmológicas.

Aristarco de Samos, Eratóstenes de Cirene e Hiparco de Ponto fueron los más célebres astrónomos de la época alejandrina. Aristarco (nació hacia el 310 a. C.) fue el precursor de Copérnico: el Sol estaría en el centro del sistema, tan inmóvil como las estrellas; mientras la Tierra ostentaría ambos movimientos, de traslación y de rotación. Aristarco intentó calcular los tamaños y distancias de la Tierra, la Luna y el Sol, sirviéndose de triángulos pitagóricos; el procedimiento utilizado fue impecable, aunque los resultados obtenidos no fueron correctos.

Eratóstenes (275 – 194 a. C.) dedujo la circunferencia de la Tierra a partir de la longitud del arco comprendido entre las ciudades de Siene y Alejandría. Su argumento

era perfecto, pero los datos de partida fueron erróneos. Intentó medir el ángulo de incidencia de los rayos solares en la ciudad de Alejandría, a mediodía, en el preciso instante en que, supuestamente, el Sol se hallaba situado verticalmente sobre el pozo de Siene. Sin embargo, obtuvo una excelente aproximación.

Eratóstenes es famoso también por haber diseñado el calendario que posteriormente adoptó Julio César en el año 46 a. C. Como sabemos, el año trópico solar, o período entre dos equinoccios vernaes consecutivos, dura aproximadamente 365,2422 días solares; el calendario solar egipcio, vigente en aquella época, constaba de 365 días; el error computado sería de aproximadamente un día cada cuatro años. A Eratóstenes se le ocurrió entonces añadir un día extra a los años múltiplos de 4. Sin embargo, este arreglo no era suficiente, pues si hallamos la media anual de días en esos cuatro años obtenemos una cifra de 365,25 días, distinta a la del año trópico

$\left[ (3 \cdot 365 + 366 = 1461); \frac{1461}{4} = 365,25 \neq 365,2422 \right]$ ; el desfase computado ahora es de,

más o menos, un día cada 128 años. En 1582 el fallo acumulado era de casi 10 días, y la fiesta cristiana de Pascua no coincidía entonces con el primer domingo después del plenilunio de primavera, el 21 de marzo, tal como quiso y convino la Iglesia a partir del Concilio de Nicea del año 325; así, en ese mismo año de 1582, el equinoccio de primavera cayó el 11 de marzo. El papa Gregorio XIII encargó a Antonio Lilio la reforma del calendario juliano, la cual contendría los siguientes preceptos: 1º) El día siguiente al 4 de octubre de 1582 sería el 15 de octubre de ese mismo año. 2º) Serán bisiestos todos los años y comienzos de siglo múltiplos de 4. De esta manera, la discrepancia con el año trópico es de un día cada 3300 años.

Hiparco (floreció el 140 a. C.) observó el cielo con mucho detenimiento, llegando a catalogar hasta 1080 estrellas, calculando también sus posiciones relativas. Descubrió además un astro nuevo, en contra del postulado aristotélico acerca de la inmutabilidad del firmamento, y la precesión de los equinoccios: movimiento circular trazado por el eje de la Tierra, parecido al que describe una peonza cuando gira muy próxima al suelo, y debido al cual, aparentemente los grupos de estrellas cambian de lugar. La obra de Hiparco influyó mucho en los astrónomos que le sucedieron, pues advirtió que la Tierra no estaba situada en el centro de la órbita solar, sino un poco desplazada hacia afuera, como 1/24 del radio de la circunferencia trazada por el Sol; a este fenómeno se lo denomina excentricidad.

El modelo geométrico concebido por Claudio Ptolomeo (s. II d. C.) se apoyó conceptualmente en el análisis de las curvas desarrollado por Apolonio de Perga (s. II – I a. C.) en las famosas *Cónicas*. En su interior se hallaría la Tierra, inmóvil, pero apartada del centro geométrico de las restantes órbitas circulares, llamadas deferentes; cada uno de los 5 planetas conocidos describiría pequeños círculos o epiciclos, cuyo centro se deslizaría por su respectiva circunferencia deferente; la composición de ambos movimientos conseguiría efectos de aceleración o retraso en la velocidad aparente de los planetas, pues la suma de ambos giros en el mismo sentido, suma las velocidades, mientras que si estos se realizan en sentido contrario, las velocidades se restan. Así, el planeta dibujaría una línea espiral sobre el fondo estelar; una sucesión de curvas retorcidas y bucles. Mercurio y Venus rotarían de esta manera en torno al Sol, el cual, a su vez, lo haría alrededor de la Tierra. Los otros planetas se desplazarían por sus respectivos epiciclos. Sin embargo, Ptolomeo encontró muchas dificultades para explicar las irregularidades y sorpresas advertidas en las trayectorias de Marte y Mercurio y complicó cada vez más sus diseños, introduciendo ecuantos móviles; es decir, los centros de algunos de los círculos ya no permanecerían fijos (*El Almagesto*).

El sistema cosmológico ptolemaico, como el de Aristóteles, se ordenaba pues en gigantescos orbes cristalinos concéntricos, en constante movimiento circular y uniforme alrededor de la Tierra. Los planetas estarían formados de una sustancia divina y sutil: el éter. Nada de esto, excepto la franja sublunar, se vería sometido al cambio y la corrupción.

Los astrolabios fueron instrumentos de medición estelar. Sabemos que Hiparco confeccionó uno para realizar sus propios cálculos y que Vitruvio diseñó una clepsidra capaz de señalar las horas del día y de la noche en cada una de las estaciones; a este reloj se lo ha llamado *anafórico*. Con el paso del tiempo estos instrumentos adquirieron mayor perfección; en general, constaban de varios círculos de latón superpuestos y sujetos mediante una clavija central; en el disco superior aparecen marcadas las posiciones de las estrellas y la eclíptica; el inferior está bordeado por una circunferencia graduada. El movimiento relativo de ambos círculos nos facilita las posiciones de los cuerpos celestes.

#### BIBLIOGRAFÍA BÁSICA:

HULL, L.W.H.: *Historia y Filosofía de la Ciencia*. Ariel, Barcelona 1989

NORTH, John: *Historia Fontana de la astronomía*. FCE, México, 2001

BIBLIOGRAFÍA COMPLEMENTARIA:

HANSON, Norwood R.: *Constelaciones y conjeturas*. Alianza, Madrid, 2001

STIOPIN, V. S.: *El saber teórico* (cap. II y III). UNED, Madrid, 2004

**TEMA 3:**     *La Tierra en movimiento: La perspectiva de Copérnico. Las sutiles observaciones de Galileo. Tycho Brahe en el Castillo de los Cielos. Kepler y la armonía del universo.*

El modelo astronómico de Ptolomeo fue aceptado sin reservas en Occidente - junto a los principios del pensamiento aristotélico - pues daba buena cuenta de las trayectorias aparentes de los planetas, aunque suponía que los movimientos del cielo se mostraban tal como eran; la dificultad residía en explicarlos.

La posibilidad del movimiento de la Tierra fue rechazada: no era acorde con la Biblia y contradecía las tesis de Ptolomeo.

Copérnico (1473 – 1543) leyó a Heráclides y comprendió que la rotación diurna de la Tierra sobre su eje justificaría el movimiento aparente de los astros; así, detuvo la esfera de las estrellas fijas y ensanchó el universo, pues si éstas no describían su órbita en un día, ¿por qué no hacerlas más lejanas? El movimiento terrestre permitió a Thomas Digges ampliar el espacio aristotélico, pero conservando su aspecto perfectamente esférico. Y Giordano Bruno, a quien no gustaba poner cortapisas a la capacidad creadora de Dios, soñó con otros mundos semejantes al nuestro, cambiantes e ilimitados; sin centros ni fronteras; llenos de éter y sin lugar para el vacío.

La conjetura copernicana posibilitaba la geometrización del espacio y su posterior análisis matemático. Las relaciones numéricas descubiertas no se ceñirían a salvar las apariencias, sino que mostrarían los auténticos recorridos de los planetas. Concibió la hipótesis previa al heliocentrismo: la Tierra estaría situada en el ecuante de las órbitas de los planetas exteriores; alrededor de ella y describiendo círculos equidistantes a la misma, discurrirían la Luna y el Sol; y en torno a éste, se desplazarían Mercurio y Venus. Copérnico advirtió entonces que las posiciones relativas de los

cuerpos celestes no variaban si colocaba al Sol, inmóvil, en el centro del sistema y todos los planetas giraban a su alrededor, con movimiento circular y uniforme; salvo la Luna, que lo haría en torno a la Tierra.

Sólo pudo prescindir de los epiciclos de los planetas exteriores a la Tierra, pues aún los necesitaba para explicar los desplazamientos de Venus y Mercurio. Y los aparentes cambios de velocidad de todos ellos, los concebiría en relación inversa de sus respectivas distancias al Sol.

Copérnico, en su *De Revolutionibus orbium coelestium* (1543) consiguió unos resultados tan buenos como los de Ptolomeo, pero su modelo astronómico era mucho más sencillo y hermoso, y aclaraba perfectamente los movimientos retrógrados de los planetas.

Galileo dio el primer paso hacia una nueva concepción de la naturaleza, donde los hechos no son lo que parecen, abandonando definitivamente el realismo ingenuo heredado de Aristóteles. Interesa analizar el movimiento y las cualidades que no están sometidas a las impresiones subjetivas del observador. Las sustancias, esencias o elementos últimos de las cosas, no pueden ser alcanzadas por nuestro entendimiento, por tanto, prescindirá de ellas, sustituyendo la vieja retórica peripatética por una investigación exhaustiva de las cualidades ponderables de la materia. El universo es perfectísimo y su lenguaje geométrico, escribirá en el *Diálogo sobre los dos grandes sistemas del mundo, Ptolemaico y copernicano* (1532). Se inspiró en la filosofía de Platón.

Galileo nos mostró algo muy difícil de creer: la relatividad del movimiento, por la cual no sabríamos distinguir si la Tierra rota o permanece en reposo; si es la esfera de las estrellas fijas la que da vueltas a nuestro alrededor o bien es nuestro planeta el que se mueve sin parar. Pues todo en el cielo gira con movimiento circular y uniforme. Por tanto es imposible que un objeto se desplace en línea recta indefinidamente; este recorrido es sólo aparente, válido para distancias cortas, ya que incluso los movimientos tangenciales rectilíneos están sometidos al tirón procedente de la gravedad. Vemos aquí insinuarse el principio de inercia, pero sólo en los movimientos circulares.

Uno a uno, Galileo fue rebatiendo los argumentos planteados en contra de la rotación terrestre, según los cuales nada parece indicar que nos estamos moviendo: no hay cambio en la posición de las estrellas fijas; no se advierten temblores en el suelo ni una excesiva corriente de aire al ser éste arrastrado por la Tierra; y si lanzamos un objeto hacia arriba lo vemos caer a nuestros pies, y no delante o atrás. Y también dijo

cosas insólitas acerca de los planetas, la Luna y el Sol, porque los había observado detenidamente con un telescopio<sup>9</sup> que él mismo se había fabricado: La Luna posee protuberancias e irregularidades; la superficie del Sol tiene manchas; descubre satélites en Júpiter; hay anillos en Saturno; y Venus experimenta fases, como la Luna.

Sin embargo, los orbes aristotélicos todavía permanecían intactos, aunque no tan sólidos como los de Ptolomeo, sino llenos de una sustancia tan fluida y sutil que permitiera la constante revolución de los planetas: Copérnico y Galileo negaron la posibilidad de que los cometas fueran cuerpos capaces de atravesarlos. Más bien serían un efecto óptico producido por las perturbaciones solares, defendió Galileo.

A Tycho Brahe no le gustó la propuesta copernicana, ni siquiera como hipótesis de trabajo; sostuvo un modelo menos arriesgado: la Tierra inmóvil en el centro del sistema; la Luna y el Sol girando a su alrededor; y el resto de los planetas, haciéndolo en torno a este último. Tycho fue un excelente observador, aunque no disponía de un telescopio como el de Galileo para escrutar el firmamento. Tuvo la fortuna de contar con el apoyo del rey Federico II, quien le proporcionó lugar y medios para llevar a cabo sus exploraciones astronómicas. Desde su Castillo de los Cielos o Uraninburgo, situado en la pequeña isla de Hven, próxima a Copenhague, utilizando un astrolabio de tres metros de diámetro y otros instrumentos de medición, registraba y anotaba todo lo que veía, como la aparición de una nueva estrella junto a Casiopea en 1572. En 1599, tras la muerte del rey, tuvo que desplazarse a Praga y aquí entró al servicio de Rodolfo II, como astrónomo y matemático de la corte.

Johannes Kepler, astrónomo y místico, pitagórico por convicción, abrazó muy pronto la teoría copernicana, creyendo descubrir una hermosa distribución geométrica en el cosmos (*Mysterium Cosmographicum*). Rompió definitivamente con la tradición: ni orbes ni trayectorias circulares ni epiciclos ni movimiento uniforme. Alcanzó estos resultados tras estudiar durante años los datos suministrados por su maestro, Tycho Brahe, especialmente los relativos a Marte, pues había observado un error de hasta 8 minutos en sus previsiones y un sorprendente desplazamiento del ecuante de la órbita marciana. Pensó entonces que quizá ésta no fuera circular y en consecuencia, el movimiento del planeta no sería uniforme. Algo que también sospechó de la Tierra pues, bajo la hipótesis copernicana, no discurría ésta con idéntica velocidad en todos los

---

<sup>9</sup> Un óptico de Middleburg, llamado Hans Lippershey, construyó el primer telescopio en 1609

puntos de su trayectoria, sino que era máxima en el perihelio y mínima en el afelio<sup>10</sup>. En 1609 (*Astronomia Nova*) dedujo sus dos primeras leyes acerca de Marte: I) La órbita descrita debería ser elíptica y el Sol estaría en uno de sus focos. II) Las áreas barridas por Marte, en tiempos iguales, son equivalentes; lo cual indica que la velocidad de éste varía: más rápida en el perihelio; más lenta en su afelio. Pronto descubrió que ambas leyes podían generalizarse a los otros planetas: cada uno de ellos describiría una elipse y el Sol estaría en uno de sus focos. Diez años después (*Harmonices Mundi*), formuló la tercera ley, llamada Armónica: Los cuadrados de los períodos<sup>11</sup> son proporcionales a los cubos de las distancias respectivas al Sol, y esta relación es la misma para todos los planetas.

Kepler no contó con la aprobación de los científicos de su época; ni siquiera convenció a Galileo, quizá porque aquel otorgaba al Sol cualidades supremas, incluso un alma moviente capaz de atraer a los restantes cuerpos celestes.

#### BIBLIOGRAFÍA BÁSICA

HULL, L.W.H.: *Historia y Filosofía de la Ciencia*. Ariel, Barcelona 1989

NORTH, John: *Historia Fontana de la astronomía*. FCE, México, 2001

SELLÉS, M.; SOLÍS, C.: *Revolución científica*. Síntesis, Madrid, 2001

#### BIBLIOGRAFÍA COMPLEMENTARIA:

ELENA, Alberto: *La revolución astronómica*. Historia Akal de la Historia y de la técnica, vol.12

HANSON: *Constelaciones y conjeturas*. Alianza, Madrid, 2001

SÁNCHEZ RON, José M.: *El jardín de Newton*. Crítica, Barcelona 2001

SOLÍS, Carlos: *La revolución de la física en el siglo XVII*. Historia Akal de la ciencia y la tecnología, vol. 18 (2002)

---

<sup>10</sup> Perihelio es el punto en el que un planeta está más próximo al Sol; el afelio es el lugar en el que está más lejano

<sup>11</sup> Tiempo en el que un planeta completa su órbita

**TEMA 4:** *Nociones enfrentadas: Newton y la mecánica de los cielos. Cómo es el mundo para Descartes. El dinamicismo de Leibniz. Maupertuis y el Principio de Mínima Acción*

El universo obedece los imperativos de la divinidad, pero según unas leyes geométricas que el hombre es capaz de descubrir y formalizar. Dios es matemático y configura la naturaleza de un modo ordenado y sencillo, siguiendo proporciones y relaciones numéricas. La fe se ve postergada pues el conocimiento de Dios se realiza a través del mundo y de su armonía. El siglo XVII supuso la irrupción del mecanicismo, una vez levantado el veto al sensualismo epicureano, aunque con reticencias, ya que con este se cernía el fantasma del ateísmo. Los científicos fueron prudentes: el movimiento procede de Dios y no de la materia; esta es creada activa y se distribuye en partículas pequeñísimas (Descartes, *Principios de Filosofía* II, 20), o inerte y se compone de átomos (Newton, *Óptica*, C. 31); siendo las primeras divisibles ad infinitum y los segundos no.

El pensamiento continental pobló el espacio de materia, pues es la extensión el atributo esencial de la misma, sin intersticios ni huecos vacíos (*Principios de Filosofía* II, 16). Aún así, Descartes no fijó límites al universo y lo denominó indefinido; su mecanicismo hacía de Dios un geómetra perfecto, tanto que su mundo creado no precisaba supervisión: “Dios es la primera causa del movimiento y lo conserva siempre en igual cantidad de movimiento” (*Principios de Filosofía* II, 36). La materia estaría compuesta de partículas pequeñísimas: unas de luz, otras más grandes de éter y las terceras, mayores, sólidas y gruesas; hechas todas de una misma sustancia; mezclándose, intercambiándose y penetrando en los cuerpos. Existirían torbellinos de éter, donde los planetas, inmóviles, se dejarían llevar; y las cosas en la Tierra, al soltarlas, perderían repentinamente la inercia de su vórtice y se precipitarían al suelo.

Leibniz consideró que, de todos los posibles, nuestro universo era el mejor, de acuerdo a un plan prefijado por Dios, y descartaba la intervención divina en el mundo. Basó sus argumentos en dos principios de carácter lógico: Razón Suficiente y Armonía Preestablecida, y comentó que el espacio estaba tan lleno de materia que todo cuerpo se resiente de lo que se haga en el universo (*Monadología* 61). Se apoyaba en la Ley de la Continuidad para negar el vacío.



Para Newton, Dios es el Ser ubicuo y eterno, omnipotente e infinito que mueve con su voluntad los cuerpos que se hallan en su sensorio uniforme e ilimitado, formando y reformando las partes del universo (*Óptica*, C. 31). Leibniz criticó con dureza estas palabras pues significaban, según él, la corporeidad de Dios y la imperfección de su obra.

Newton, como Galileo, rechazó el conocimiento de las formas sustanciales: lo que en verdad nos interesa, dice, es la interpretación mecánica de los fenómenos naturales; y analizó las cualidades primarias de la materia: magnitud, forma y movimiento; relegando a posteriores análisis el estudio de las cualidades secundarias, como el color, la consistencia, el sabor, etc. Asimismo, admitió el vacío y postuló el componente último de todas las cosas, los átomos, confiriéndoles cinco atributos universales (que no esenciales): extensión, dureza, impenetrabilidad, movilidad e inercia; y la posibilidad de transmutarse unos en otros, pasando por todas las especies, pues la naturaleza parece deleitarse en las transformaciones (*Óptica*, C. 30).

Configuró el universo como un sistema de fuerzas:

- Fuerza ínsita, propia de la materia inerte y proporcional a su masa. Entendida como capacidad de oponer resistencia y, al mismo tiempo, ejercer cierto ímpetu para vencer la resistencia de otros. Se manifiesta exclusivamente en presencia de una acción.
- Fuerzas responsables del cambio de movimiento: a) La fuerza impresa que actúa por contacto: un cuerpo sobre otro cuerpo. b) La fuerza centrípeta que provoca ese impulso hacia la masa central, desviando el cuerpo de su trayectoria rectilínea; actuando continuamente y sin contacto, como la gravedad.
- Fuerzas centrífugas, que surgen del giro y rotación de las cosas.
- Fuerzas elásticas, necesarias para explicar los impactos entre objetos imperfectamente elásticos.
- Fuerzas atractivas y repulsivas que afectan a las partes mínimas de la materia y que actúan a distancias muy cortas y en proporción inversa a éstas.

Pero sometido a una serie de condiciones:

- Movimiento y reposo son estados equivalentes: Los cuerpos permanecen en reposo o en movimiento rectilíneo uniforme.
- No hay materia en el espacio interestelar que interfiera en el desplazamiento de los planetas.

- Se necesitan un espacio y tiempo absolutos; ambos inmutables y eternos, indivisibles e infinitos. El espacio absoluto posibilita el movimiento inercial rectilíneo de los cuerpos, mientras el tiempo es un continuo fluir. Sin embargo, sólo percibimos espacios y tiempos relativos.

De esta manera pudo enunciar sus tres leyes universales (*Principios matemáticos de Filosofía Natural*) en 1687, que afectan a todos los cuerpos.

La gravedad es la atracción que un cuerpo material ejerce sobre otro y es proporcional a su cantidad de materia e inversa al cuadrado de la distancia; por primera vez, se distingue entre peso y masa; entre masa gravitatoria y masa inercial. La fuerza gravitatoria es la causa que impulsa la revolución de los planetas y hace caer los cuerpos al suelo. Sin embargo, la gravedad realiza su acción a distancia, pues no hay ningún elemento intermedio que transfiera el movimiento; esto resultaba incomprensible a la mentalidad de la época. Newton se sentía inseguro respecto al éter: le incomodaba en su modelo del mundo, en su teoría acerca de la propagación corpuscular de la luz en línea recta; en definitiva, impedía el movimiento. Y criticó el plenismo cartesiano y su cosmología, que movía los cuerpos celestes mediante vórtices de sustancia etérea, pues en su opinión, no se ajustaba a la Ley Armónica.

Había otro punto de fricción entre británicos y continentales: el relativo a la cantidad de movimiento existente en el mundo ( $m \cdot v$ ): ¿Se conservaba o se perdía? Descartes creyó que el movimiento pasaba de unos cuerpos a otros, mediante impactos sucesivos, aunque los hizo depender de leyes erróneas (*Principios de Filosofía*, III Ley); el desplazamiento se mediría en relación a determinados lugares u objetos, privilegiándolos sobre los restantes. Para Newton la cantidad de movimiento también se conserva, pero gracias a la gravedad y a otros principios activos, como la elasticidad, el magnetismo, la electricidad, la fermentación, etc. y, en última instancia, a la intervención divina. El universo es para él homogéneo e infinito, y la materia, opaca o luminosa, está uniformemente distribuida.

Leibniz quiso reducir todos los fenómenos naturales al movimiento; el objeto de nuestro análisis se dirige también a las cualidades primarias de las cosas: número, magnitud, figura, movimiento y solidez. Rechazó el atomismo, basándose en su Principio de Identidad de los Indiscernibles: Si existieran los átomos, ¿dónde residiría la individuación de los seres? Aunque tampoco aceptó la reducción cartesiana de la

materia a extensión, pues aquella está dotada de un atributo intrínseco: la fuerza o agente activo. La mónada leibniziana no posee extensión ni masa, pero sí principios ontológicos que informan la materia, dotándola de impenetrabilidad e inercia. Según Leibniz, la inercia es proporcional a su “cantidad de materia o peso”, y actúa en contra del movimiento, sin ser responsable de su conservación. La *fuerza viva* ( $m \cdot v^2$ ) se mantiene en los impactos perfectamente elásticos y sólo se pierde en apariencia en los choques inelásticos: la totalidad de la misma persiste gracias a la *fuerza muerta* o estática, y trasladada ahora a las partículas más pequeñas de los cuerpos. Esto apunta al principio de la conservación de la energía enunciado en el siglo XIX.

El mundo leibniziano se mueve mecánicamente, sumergido en grandes orbes fluidos en continuo rotar. El espacio muestra el orden de coexistencias y el tiempo el de sucesiones; ambos son relativos y aprensibles a nuestros sentidos.

La influencia de Newton se hizo sentir muy pronto en todos los campos de la investigación. No obstante, el principio de economía y sencillez defendido por él se desbarataba ante la exuberancia y derroche exhibido por la naturaleza. La Ley de la Gravitación no es completamente inteligible ni esencial a los cuerpos. ¿Por qué Dios eligió estas leyes y no otras? Sin duda fueron las más adecuadas, afirmó Maupertuis, quien fluctuaba entre Leibniz y Newton. En una memoria publicada en la Academia de las Ciencias de París (1744), el matemático francés explicaba cómo “una mecánica ciega y necesaria sigue los designios de la inteligencia más ilustrada y más libre”, así como “la naturaleza, en la producción de sus efectos, actúa siempre por las vías más simples”; deduciendo para la luz que “el camino que toma es aquel por el cual la acción es menor.” Dos años después, en la Academia de las Ciencias de Berlín, Maupertuis expresaba que la conservación del movimiento sólo es cierta en algunos casos, mientras la fuerza viva se mantiene en determinados cuerpos. Y formulaba por primera vez su Principio de Mínima Acción: “Cuando ocurre algún cambio en la naturaleza, la cantidad de acción necesaria para este cambio es la más pequeña posible”. No es solamente una ley de índole dinámico, es la prueba de la existencia de una sabiduría que hace que los movimientos de la naturaleza no sean ni eternos ni independientes, sino sometidos a la voluntad divina, la cual los mantiene, aumenta y disminuye del modo más económico y más sabio

## BIBLIOGRAFÍA BÁSICA:

HULL, L. W. H.: *Historia y filosofía de la ciencia*. Ariel, Madrid, 1989

GRIBBIN, John: *Historia de la ciencia 1543-2001*. Crítica, Barcelona, 2003

MASON, Stephen F.: *Historia de la ciencias*. Alianza, 2001

SELLÉS, M.; SOLÍS, C.: *Revolución científica*. Síntesis, Madrid, 2001

**TEMA 5:** *Nuevas conjeturas acerca del cosmos: Los postulados relativistas. Universo estacionario y creacionistas. Hipótesis del Big Bang. Modelo inflacionario. El principio antrópico*

Galileo había señalado la equivalencia entre los estados de reposo y movimiento rectilíneo uniforme. Newton perfiló aún más este concepto, mostrando las leyes mecánicas que lo rigen, y añadió la noción física de inercia, sustentada en un espacio y tiempo absolutos. Siglos después, Einstein comprobó experimentalmente que la velocidad de la luz (la máxima hasta ahora conocida) en el espacio vacío respecto a un observador, es indiferente al estado de movimiento de ese observador: sea cual sea la velocidad que éste lleve, o si permanece en reposo, la velocidad de la luz es constante. En esto consistía el segundo postulado de la *Teoría de la Relatividad Especial o Restringida* (el primero hacía referencia a la cualidad ondulatoria del fenómeno luminoso); Einstein pudo enunciarlo (*Sobre la electrodinámica de los cuerpos en movimiento*, 1905) apoyándose en el experimento de Michelson-Morley, mediante el cual se demostraba que el éter no existe. En realidad, el segundo postulado se atribuye, hipotéticamente, a cualquier objeto que viaje en línea recta a velocidades uniformes próximas a la mencionada. El espacio y el tiempo dejan de ser absolutos y se subordinan al sistema inercial de referencia; por esta razón, el primero se dilata y el segundo se contrae dependiendo de las mediciones realizadas y no de las causas físicas que los provocan. Minkowski matematizó esta idea en 1908, acuñando para ella el término espacio-tiempo, marco geométrico de cuatro dimensiones en el que suceden todos estos fenómenos. El cuerpo en movimiento uniforme incrementa su masa cuando su velocidad está muy próxima a la de la luz, obedeciendo así a la ecuación  $E = m \cdot c^2$

En 1915 Einstein intentó describir la dinámica de los movimientos estelares, hasta entonces interpretados mediante la ley de la gravitación universal; buscaba una explicación del fenómeno gravitatorio y su causa, algo que Newton había soslayado en los *Principia*. Einstein formuló la *Teoría de la Relatividad General* para responder a estas cuestiones, observando que la inercia y la gravitación son sucesos indistinguibles; es decir, producen efectos idénticos: la aceleración de un objeto que cae es la misma que la atracción que la gravedad ejerce sobre él; por tanto, ambos efectos se anulan (sólo hasta el momento del impacto en el suelo) creando la sensación de ingravidez. Dedujo así la equivalencia entre masa inercial y masa gravitatoria.

El universo que Einstein descubre se cierra y se curva sobre sí mismo a causa de la atracción gravitatoria; es ilimitado y finito; uniforme, isótropo y estático, aunque las ecuaciones de la relatividad general predicen su constante expansión. La luz tampoco escapa a la acción de esta fuerza que desvía y atrapa la materia.

Las geometrías no euclídeas crearon nuevas formas para el espacio; la curvatura del mismo se abriría en hipérbolas o se doblaría originando parábolas, círculos y elipses; postularon otras estructuras distintas, quizá inverosímiles, para explicar las posibles trayectorias de los cuerpos celestes, ahora inconmensurables en número y en magnitud. Los límites del universo se alejan a velocidades vertiginosas y los astrofísicos se preguntan cómo surgió este mundo nuestro y hacia dónde vamos, porque gracias a Edwin Hubble (1889-1953) y el Efecto Doppler (1803-1853)<sup>12</sup> sabemos que las galaxias se están distanciando progresivamente; el universo evoluciona y sufre cambios. La hipótesis de Georges Édouard Lemaître (1894-1966) cobra fuerza: un átomo inicial, de tamaño 30 veces mayor que el Sol, estallaría fragmentándose en una cantidad indeterminada de partículas; esto motivaría el aumento de volumen y el inevitable crecimiento del espacio. Junto a esta hipótesis, Edward Milne (1896-1950) enunció en 1933 el *Principio Cosmológico* según el cual el universo es completamente homogéneo<sup>13</sup>. Alexander Friedmann postuló en 1922 una teoría similar a la de Lemaître, pero cinco años antes que éste; su punto de partida fueron las ecuaciones de Einstein.

Se han formulado tres clases distintas de modelos cosmológicos, según el final que anunciemos para nuestro universo. El más aceptado es el del *Big Bang* o Gran

---

<sup>12</sup> Formulado por Christian Doppler para el sonido, actúa igualmente para la luz y las ondas electromagnéticas. Hubble lo trasladó a la astronomía: las ondas luminosas emitidas por un objeto luminoso que se aleja poseen mayor longitud de onda y su espectro se desplaza hacia el rojo.

<sup>13</sup> Hoy día se ha demostrado que no es así, debido a la abundancia de cuántares y radio-fuentes.

Explosión, propuesto por George Gamow (1904-1968); derivado de este estadio inicial, el universo abierto sería aquél que se expande ilimitadamente; el universo cerrado es el que detiene su dispersión e invierte el sentido de su movimiento hasta llegar a colapsar (*Big Crunch*); y el universo plano es el que alcanza un estado de equilibrio, debido a que la velocidad de expansión disminuye lentamente. La imagen que el hombre de hoy tiene del universo es completamente distinta a la concebida en el período clásico. Ilya Prigogine nos habla del *fin de las certidumbres* o período evolucionista de la ciencia, mientras muchos de los mayores científicos actuales se preguntan acerca de su futuro: ¿poseemos todos los conocimientos esenciales del mundo físico y material? ¿Es únicamente la tecnología la que seguirá progresando apoyándose en las leyes científicas descubiertas? ¿Qué clase de máquinas seremos capaces de construir?

No todos los astrofísicos defendieron la hipótesis del *Big Bang*. En 1946 Fred Hoyle, Hermann Bondi y Thomas Gold aplicaron el *Principio Cosmológico* al tiempo, creando la *Teoría del Estado Estacionario*; el universo no sufriría cambios importantes, sería idéntico desde la eternidad; aunque si se está expandiendo, necesita aportar (crear) materia periódicamente; aproximadamente 1 átomo de hidrógeno por litro cada  $5 \cdot 10^{11}$  años. ¡Casi nada! En realidad, esta tesis contradice el *Principio de la Conservación de la Energía*.

La conjetura del *Big Bang* entraña la existencia de radiación de fondo, efecto provocado por esa explosión inicial y vestigio de la misma; en 1965 Penzias y Wilson la descubrieron, constatando que se distribuía de modo uniforme por el cosmos. Weinberg ha conseguido explicar el origen del universo y su posterior desarrollo pero sólo en el primer centésimo de segundo (*Los tres primeros minutos del universo*). Por otra parte, Roger Penrose dedujo (que no verificó) en 1965 la existencia de los llamados *agujeros negros*, masas de fuerza gravitatoria tan potente que lograrían absorber toda la luz emitida por ellas mismas. La teoría del *Big Bang* reclama un instante inicial de masa puntual y energía infinita; a partir, de ahí sucedería una expansión rapidísima. ¿Hasta dónde y hasta cuándo? ¿Se invertiría el proceso cuando las fuerzas atractivas debilitaran a las que provocan el distanciamiento progresivo de la materia? ¿Ocurriría entonces el llamado *Big Crunch* o fenómeno simétrico de la explosión primigenia? El *Punto Omega* señala el fin del tiempo: el universo se encoge; las galaxias comienzan a solaparse (los científicos calculan que un año antes, aproximadamente, del gran colapso); la radiación de fondo aumenta tanto su temperatura que las estrellas se disuelven y entremezclan con

ella. Cuando sólo falta una hora para alcanzar dicho instante, los agujeros negros también se fusionan; pero la fuerza gravitatoria emitida por estos precipita el proceso vertiginosamente; quizá, una vez concentrado todo el universo en ese Punto Omega de infinita densidad, estalle de nuevo y evolucione hacia otro Big Bang como el que dio origen a nuestro universo. Y quizá ese proceso se desarrolle indefinidamente, oscilando entre explosiones y colapsos. La hipótesis del Punto Omega es de momento una construcción científica sobre el futuro del universo físico que aún no se ha confirmado con los hechos.

La *Tesis inflacionaria* de Alan Guth, Andrei Linde y Paul Steinhardt aclara un poco por qué la densidad del universo se aproxima a su valor crítico, capaz de detener la expansión<sup>14</sup>, y por qué el mundo es homogéneo a gran escala y no lo es si tomamos un entorno pequeño.

Todas estas especulaciones conducen a otras mucho más difíciles de abordar:

¿Es nuestro universo la consecuencia necesaria de un momento inicial específico? O, por el contrario, ¿es el resultado del azar? ¿Es un ente creado? ¿Existen más universos como el nuestro? ¿Por qué ha aparecido el hombre? Frank Tipler y John Barrow han respondido de modo singular a estas cuestiones, enunciando el *Principio Antrópico*: Todo en el universo se ha configurado de manera única para dar lugar a la aparición del género humano. Se han necesitado miles de millones de años para que este proceso concluyera, y miles de millones de años luz ha sido el tamaño adquirido por nuestro universo en ese tiempo. Brandon Carter distinguió, a partir de 1974, entre *Principio Antrópico Fuerte* y *Principio Antrópico Débil*. El primero postula que el universo debe contener las propiedades que generan la vida en un momento o en otro, abriéndose camino, en última instancia, hacia la racionalidad. El segundo, advierte que las leyes físicas no son las mismas para todos los universos posibles; surgiendo entonces la vida como un suceso condicionado por selecciones precedentes. Lee Smolin argumenta que nuestro mundo es el resultado de la evolución de universos anteriores; en esta interpretación, el azar toma una posición privilegiada. La hipótesis fuerte, por el contrario, se aproxima al discurso creacionista que defiende la existencia de Dios: todo en el universo está diseñado conforme a un plan.

En última instancia, Tipler afirma que el universo tiende a transformarse en un único ordenador todopoderoso y omnisciente. En su opinión, el Punto Omega podría

---

<sup>14</sup> Este concepto se llama *planitud*.

emular a seres humanos mediante la simulación de todos los estados cuánticos que corresponden a una persona; pero antes, es necesario conocer la estructura del genoma humano. Las tesis de Tipler son profundamente cautivadoras.

### BIBLIOGRAFÍA BÁSICA:

ARANA; Juan: *Materia, Universo, Vida*. Tecnos, Madrid, 2001

GRIBBIN, John D.:

- *Historia de la ciencia, 1543-2001*. Crítica, Barcelona, 2003
- *Diccionario del cosmos*. Crítica, Barcelona, 1997
- *El punto omega*. Alianza, Madrid

HORGAN, John: *El fin de la ciencia*. Paidós, Barcelona, 1998

STIOPIN, V. S. : *El saber teórico* (cap. VII). UNED, Madrid, 2004

TIPLER, Frank J.: *La física de la inmortalidad*. Alianza, Madrid, 1996

### **TEMA 6:** *La composición interna de la materia: Químicos y alquimistas. El corpuscularismo de Robert Boyle*

Los hombres aprendieron a manejar el fuego y observaron también su efecto devastador. Extrajeron el metal de la piedra tras introducirla en el horno y fabricaron hermosos utensilios de arcilla. De alfareros y fundidores aprendieron los alquimistas el drama de la materia: su destrucción, muerte y resurgimiento en otra cosa. Conocimientos accesibles a unos pocos y ocultos celosamente tras un lenguaje críptico y simbólico. Para los egipcios, hábiles en el arte de la Khemeia o del embalsamado de los cuerpos, son siete los metales conocidos y siete también las estrellas errantes. Les gustó relacionarlos: a la Luna le correspondió la plata y el oro al Sol; mercurio para el planeta que lleva su nombre; cobre unido a Venus; Marte, el dios de la guerra, con el hierro, naturalmente; el estaño se lo llevó Júpiter y el plomo fue para Saturno. La manipulación de la materia se une y confunde con el mito.

Bolos de Mendes o el falso Demócrito inició, en el siglo II antes de nuestra era, la etapa filosófica de la khemeia. Escribió la *Physika kai Mystika*, de la cual tenemos referencia por Zosimo (s. III d. C.) y en la que se indica una aleación de cobre y zinc (latón) de un magnífico brillo semejante al oro. Las cualidades de este metal le



confirieron cierto carácter mágico y apetecible, de ahí la multitud de charlatanes y embaucadores que se autoproclamaban depositarios del secreto y estafaban sin ningún remordimiento a acomodados personajes rurales. Zosimo recopiló en 28 volúmenes la casi totalidad de los conocimientos acumulados hasta entonces acerca del manejo de las sustancias. Sin embargo, el emperador Diocleciano mandó destruirlos temiendo que algunos lectores sagaces pudieran aprender cómo transformar la piedra en oro.

Misterio e iniciación se confunden con el lento aprendizaje que se obtiene de la materia. Los árabes pretendieron transmutarla y denominaron al-kimiya a ese arte primitivo cuya práctica había decaído notablemente en la Baja Edad Media. El fuego actúa sobre la sustancia y logra que supere cuatro grados: Melangis, Leukosis, Xanthosis e Iosis. La primera fase o nigredo simboliza la muerte al adquirir el cuerpo un intenso color negro. Los nuevos alquimistas proyectan sobre la materia su propia iniciación al sufrimiento; éste parece indispensable en la consecución de su estadio final místico. La búsqueda del oro simboliza su ferviente deseo de trascender la muerte; el *Opus Magnus* persigue la obtención de la Piedra Filosofal y el ritual se manifiesta complejo y doloroso: la purificación del cuerpo a partir de la inmolación de la materia. Julius Ruska describe en su *Turba Philosophorum* la "tortura" a que son sometidos los metales. Y leemos en las *Allegoriae super Librum Turbae* frases cargadas de simbolismo: Toma a un hombre y lánzale sobre la piedra hasta que muera su cuerpo. Asimismo, el testamento de Ga'far Sadiq se expresa en términos escalofriantes: Los cuerpos muertos deben ser torturados por el fuego y por todas las Artes del Sufrimiento para que puedan resucitar, porque sin sufrimiento y muerte no puede obtenerse la vida eterna.

El experto nigromante intenta reducir las sustancias a su materia primera, a la masa confusa o fluida: "No efectúes ninguna operación antes de que todo haya sido reducido al Agua". La calcinación o nigredo supone el caos y la muerte de la cual es preciso escapar. El lenguaje utilizado es difícilmente comprensible. Quizá se alude al agua regia, único producto capaz de disolver el oro. La oscuridad envuelve los textos alquímicos. Se persigue la prolongación de la juventud y se transfiere a la materia el proceso que el hombre debe continuar. Kirchwerger (Catena Homeri, 1723), personaje que modeló a Fausto, habla de cómo todo se reduce al agua, en el comienzo y en el fin. Los metales deben licuarse a su primera materia mercurial, mediante disolución o calcinación. Otros autores identifican la sustancia primera con el azufre o el mercurio, plomo, sal, incluso sangre, tierra, luna, etc.

De la Piedra Filosofal escriben los alquimistas prolijamente: se encuentra en todos los sitios y sin embargo nadie la aprecia, aun cuando sea, después del alma humana, la cosa más maravillosa de la Tierra. Zosimo nos relata cómo hay una Piedra que no es tal, preciosa aunque sin valor, multiforme y amorfa al mismo tiempo y desconocida siendo conocida. Dan a entender que más que un objeto es una disposición intelectual, una dimensión nueva de aprehender y comprender. Los alquimistas se impregnan de misticismo: el iniciado posee una perspectiva diferente y profunda de la realidad; su sabiduría abarca todas las cosas y las trasciende. No obstante, se pretendía que la Piedra facilitara la conversión de los metales en oro. Así lo expresó Arnaldo de Villanova, quien la creyó además capaz de curar cualquier enfermedad, y Frate Simone da Colonia, el cual habló de un remedio que limpia las imperfecciones del metal (*Speculum Minus Alchimiae*). Los alquimistas árabes atribuyeron a la Piedra Filosofal virtudes terapéuticas y extendieron hasta Occidente el concepto de Elixir Vitae. Roger Bacon se refirió a las cualidades magníficas de cierta medicina, capaz de corregir las impurezas de los metales tanto como de aliviar la enfermedad (*Opus Majus*). El licor de los alquimistas pronto gozó de los atributos que la magia y la imaginación popular quisieron otorgarle. Jabir ibn-Hayyan (760-815), llamado Geber por los cristianos, describió en *El Libro de la Balanza* que el azufre y el mercurio son componentes de todas las sustancias, a modo de principios hipostáticos que entran a formar parte de los cuerpos, siendo el primero el elemento terroso y el segundo, el ingrediente combustible. Geber expuso la necesidad de hallar una tercera sustancia que distribuya las anteriores en proporciones adecuadas para obtener oro. Esta sería el polvo seco llamado por los griegos xerion, o por él mismo al-kisir. Poco después, Al-Razi (o Rhazes) añadió a las anteriores sustancias la sal, como tercer principio indispensable en la composición de los cuerpos sólidos. Si el mercurio es el elemento combustible y el azufre el volátil, la sal no es ni lo uno ni lo otro, sino lo que permanece fijo y estable.

En 1317 el papa Juan XXII prohibió el estudio y experimentación en esta disciplina, quedando interrumpido su avance. Georg Bauer, mejor conocido como Agrícola (1494-1555), abandonó la búsqueda del oro y encaminó sus esfuerzos a la preparación de fármacos que aliviaran las dolencias y enfermedades de sus conciudadanos (*De Re Metallica*, 1556). Dedicado asimismo a la práctica de la medicina, T. B. von Hohenheim, se hizo llamar *Para Celsius* (1493-1591); tampoco le interesó la transmutación de los metales, aunque su actividad mística interfirió en la posible objetividad de sus experiencias y descubrimientos. Consideró los tres principios

hipostáticos o "tria prima": sal, azufre y mercurio, distribuidos en proporciones diversas entre los cuatro elementos peripatéticos (postulados anteriormente por Empédocles de Agrigento): tierra, aire, fuego y agua. La doctrina espagírica<sup>15</sup> paracelsiana revitalizó la teoría de las formas sustanciales (*Paragranum*, 1530), aunque se enfrentaba a un problema crucial: cómo explicar la variación de las cualidades de un producto por la mera adición de sustancias distintas. De Andreas Libau o Libavius (1540-1616) sabemos que buscó remedios útiles al arte de curar (*Alquimia*, 1597), identificando como agua regia a la unión de los ácidos clorhídrico y nítrico. Como era de esperar, una vez conocido este compuesto, su actividad hacia la búsqueda del metal amarillo se intensificó. Encontramos en Van Helmont (1577-1644) un atisbo de espíritu científico entre la maraña de misticismo e irracionalidad. Descubrió el dióxido de carbono producido por la combustión de la madera y lo llamó "gas (chaos) silvestre" (*Ortus medicinae*, ed. 1648). Con Torricelli (1608-1647) se intensificó el estudio de los gases, pues había demostrado que el aire ejerce una determinada presión, variable según la altura. Los reiterados diseños de Otto von Guericke (1608-1686) concluyeron al fin la posibilidad del vacío o ausencia de aire, en contra de las tesis cartesianas que afirmaban cómo las paredes de una vasija colapsarían si en su interior se lograra hacer el vacío. Johann Joachim Becher (1632-1682) desarrolló una cautivadora teoría acerca de la composición térrea de los sólidos: tres tipos diferentes de tierra, una de ellas, la denominada "terra pinguis", sería inflamable.

Robert Boyle (1627-1691), restaurador de la filosofía epicureísta y opuesto a los químicos peripatéticos y paracelsianos, fue contrario también a los principios hipostáticos de la materia y a la idea de elemento químico que ellos propugnaban. Aunque, en ese momento, el avance científico se sitúa partidario del renovado pensamiento mecanicista, es de la mano de los atomistas estáticos donde encontramos el germen de la nueva química. La teoría corpuscularista desarrollada por Newton favoreció el análisis físico del movimiento e intuyó magníficamente la dinámica del microcosmos, mas no fue este el camino más adecuado para escrutar el comportamiento químico de las sustancias: afinidades, composición, disolución, combustión, etc. Reducir la Naturaleza a materia y movimiento y explicar las cualidades de los cuerpos en función de principios atractivos fue estéril en este campo.

---

<sup>15</sup> Paracelso denominó *spagyria* a la alquimia

Boyle dejó obsoleto el concepto de alquimia y, gracias a un juego lingüístico, acuñó el vocablo que ahora poseemos. Definió los elementos químicos como "ciertos cuerpos primitivos y simples o perfectamente sin mezcla, ingredientes de los que se componen todos los cuerpos mixtos y en los que últimamente se resuelven." (*El Químico Escéptico*). Sin embargo, añadió que dudaba de ellos y de su capacidad de formar parte de todas las sustancias en mayor o menor medida. Como veremos, la química moderna tomará la vieja noción de elemento en tanto sustancia simple, indestructible y hallada exclusivamente en el laboratorio. Los principios químicos de los cuerpos dependerían de la naturaleza de sus partículas y de la configuración adoptada, así como de sus respectivas magnitudes y figuras. Sir Robert habló de la composición interna de la materia: una sustancia única distribuida en minúsculos átomos extensos, de tamaños y formas diversos, siendo el movimiento la afección o modo primero de la materia. Estos átomos serían los *Mínima* o *Prima Naturalia* y la agrupación de los mismos, a modo de racimos, permanecería íntegra en los cuerpos e imperceptible a los sentidos. La teoría boyleana es favorable a la transmutación de la materia y, en última instancia, a la obtención de oro, lo cual defendió secretamente Newton.

En la campana de vacío diseñada por el propio Boyle, se estudió la elasticidad del aire, su peso y su carencia (*The New Experiments Physico-Mechanical, touching the Spring of the Air and its Effects*, 1660), así como la imposibilidad de la propagación del sonido en el vacío. La famosa ley, que relaciona inversamente presión y volumen de un gas, apareció en *A Defense of the Doctrine touching the Spring and Weight of the Air* (1662). Mariotte se expresó de un modo más analítico acerca de idéntica cuestión en su *Discours de la Nature de l'air*, en 1676, donde especificaba que la presión atmosférica era la causante del efecto de succión.

Daniel Sennert (1572-1637) fundó la Escuela atomista alemana, influida por los principios alquímicos de Junguis: los cuatro elementos tradicionales repartidos en partículas homogéneas e indivisibles, con cualidades propias. La forma y magnitud de aquellas no determinan las propiedades de las sustancias. Su actividad científica se decantó hacia la iatroquímica, como anteriormente Paracelso o Bauer. El mecanicismo de Gassendi (1592-1655), por el contrario, se inscribió en la línea epicureísta, negando cualquier proximidad con Aristóteles. Tanto el frío, como el calor o la luz, se determinan por la figura, nunca por el movimiento de los átomos: el frío es provocado por átomos puntiagudos, el calor por otros pequeños y redondos, y la luz está constituida de partículas sutiles en rápido movimiento. La especificidad de los estados

sólido, líquido o gaseoso, son expresados por Descartes (1596-1650) en función de la agitación de sus partículas, mientras Gassendi fue partidario de los átomos sueltos en medios fluidos.

### BIBLIOGRAFÍA BÁSICA

ASIMOV, Isaac: *Historia de la química*. Alianza, Madrid, 1988

ELIADE, Mircea: *Herreros y alquimistas*. Alianza, Madrid, 1990

ESTEBAN SANTOS, Soledad: *Introducción a la historia de la química*. Cuadernos de la UNED, Madrid, 2001

**TEMA 7:** *El fenómeno de la combustión. La teoría del flogisto. Lavoisier y el calórico. La naturaleza de los gases. El elemento químico*

Los primeros filósofos griegos ya debatieron acerca de la naturaleza del fuego: ¿Existen átomos de fuego, pequeños y redondos que penetran en el interior de los cuerpos a través de sus poros cuando estos se calientan? ¿O es el calor la sustancia y esencia del fuego y de este modo se transmite a las cosas?

Galileo creyó que los corpúsculos de fuego se introducían en los intersticios de la materia, rompiendo así la fuerza cohesiva que únicamente el vacío interno entre sus partes provocaba (*Discorsi*, 1638); dichos corpúsculos se moverían con gran agitación, siendo esta la causa del calor. Beeckman vio los átomos de fuego compuestos de una sustancia más sutil y etérea que el resto; el frío consistiría en la ausencia de los mismos y el calor, el resultado de su movilidad en el interior de las cosas. Francis Bacon (1561-1626) rechazó los átomos y el vacío (Af. VIII, Libro II del *Novum Organum*): No hay partículas de fuego, afirmó, sino agitación y movimiento; es fácil comprobarlo al accionar un martillo o frotar una superficie cualquiera. La putrefacción también fue interpretada en esos términos. Para Descartes, el fuego es un fluido elástico; difiere del aire por su mayor fluidez, es decir, sus partículas son más rápidas y sutiles. El calor, por tanto, es el resultado de un aumento de la agitación de las partículas de un cuerpo, causado por rozamiento, por ejemplo. También la luz es fuente de calor y movimiento.

Georg Ernest Sthal (1660-1734) describió su peculiar idea acerca del calor. Los cuerpos inflamables poseerían un componente - el "flogisto" - el cual desprendían

durante la combustión. La cantidad de flogisto variaba de unas sustancias a otras y al liberarse saturaba a las que estaban próximas e incluso al aire, el cual actuaba como vehículo transmisor. No explicaba de este modo el aumento de peso de los metales calcinados o enmohecidos, pero sí daba cuenta de su extracción a partir del mineral.

Una nueva generación de empiristas se dedicó a investigar los diversos tipos de gases formados en los procesos de combustión, putrefacción, evaporación, etc., de las distintas sustancias. Creyeron que los gases eran sustancias compuestas de partículas pequeñísimas en movimiento desordenado e incesante. La principal dificultad residía en el modo de obtenerlos. Respecto al aire, Boyle ya había señalado cómo su elasticidad aumentaba bajo la influencia del calor: al igual que Descartes y Newton, achacó el fenómeno al incremento de la agitación de las partículas aéreas y también al posible cambio de textura experimentado por ellas. En *New Experiments to Make Fire and Flame Stable and Ponderable*, advirtió del aumento de peso adquirido por algunos metales en el proceso de la calcinación, lo cual estaba en flagrante oposición a la teoría del flogisto. Sin embargo, no consideró que el aire pudiera añadirse al metal en la reacción: se hallaba fatalmente influido por su idea de la naturaleza corpórea del fuego, creyendo que diminutas partículas de esta sustancia atravesaban el vidrio del matraz para unirse así al metal calcinado. Boyle consideró la atmósfera compuesta de varias sustancias: un fluido elástico y gases procedentes de la evaporación y combustión de los sólidos y líquidos terrestres, y de los efluvios emanados de la respiración de animales y vegetales. Posteriormente aludió a la existencia de "otros" gases, cuyas características dependerían de la calidad de sus componentes, no identificando ningún gas en concreto, pues la variedad de estos podría ser infinita.

Stephen Hales (1667-1761), los obtuvo sobre agua. Joseph Black (1728-1799) intentó descomponer la piedra caliza, o carbonato cálcico, al calentarla, logrando la liberación de cierto gas y un residuo de cal (óxido de calcio). Consiguió unir de nuevo este gas a la cal, obteniendo la materia inicial. A Black le pareció que el gas en cuestión era idéntico al denominado "silvestre", pero él lo identificó como "aire fijado". Demostró así que el dióxido de carbono (en la nomenclatura actual) se produce al calentar un mineral o al quemar madera, sustancias procedentes del mundo inerte y orgánico, respectivamente. Del mismo modo, dedujo la posibilidad de liberar gases de los sólidos y de los líquidos, y el que aquellos se combinen con estos. Comprendió que el aire es compuesto, pues contiene pequeñas cantidades de gas fijado. Analizó

cuidadosamente la pérdida de peso ocasionada en la piedra caliza al sufrir dicha reacción y midió la cantidad de ácido que neutralizaría al carbonato cálcico.

Rutherford (1749-1819) descubrió el nitrógeno, al cual llamó "aire flogisticado", pues nada arde en él: estaría tan saturado de flogisto que no admitiría nada más. Y Henry Cavendish advirtió la existencia de un gas distinto a los restantes cuando experimentaba la reacción causada por los ácidos en los metales. De él hablaron ya Boyle y Hales, pero Cavendish sistematizó los datos conseguidos: este gas sería muy ligero, constituyendo 1/14 del peso total del aire, y altamente inflamable, tanto que muchos lo identificaron con el flogisto aislado. Nosotros lo llamamos hidrógeno.

Joseph Priestley (1733-1804), estudió el gas silvestre ( $\text{CO}_2$ ) que una destilería de cerveza próxima a su domicilio producía en grandes cantidades. Logró disolver una pequeña cantidad de esta sustancia en agua, comprobando lo agradable de su sabor. Intentó, además, recoger sobre mercurio otros gases diferentes; por ejemplo, calentó en un recipiente abierto una muestra de este metal, hasta obtener su calcinación (óxido de mercurio); después, calentó de nuevo el residuo y se desprendió un gas desconocido hasta el momento, cuyas cualidades consistían en lo revitalizante que resultaba su inspiración y en su alto grado de combustibilidad. Priestley lo denominó "aire desflogisticado", pues era susceptible de aceptar todo el flogisto circundante y, por tanto, los cuerpos ardían en su presencia con gran intensidad. Nosotros lo conocemos ahora como oxígeno.

Según Antoine de Lavoisier (1743–1794), la cohesión entre las partes internas de la materia, o moléculas, se debe a una fuerza atractiva inherente y esencial a las mismas; opuesta a cierta tendencia repulsiva que las separa y la cual proviene del calor. El equilibrio se logra en el estado sólido de los cuerpos. Así, al aumentar el calor, penetra en su interior una fuerza que obliga a sus partículas a retroceder y separarse, pasando, a través del estado líquido, al gaseoso. Existe un fluido sutil, elástico y material que se introduce entre las partes mínimas de las sustancias y actúa distanciándolas; es el *calórico* o fluido ígneo, responsable del calor y por tanto, del cambio de estado de la materia. Lavoisier es consciente de lo impreciso de su definición, quizá sólo sea una hipótesis, una modificación de la luz, algo no real del todo..., pero le basta calificarlo como fuerza repulsiva y conocer sus efectos. Las cualidades atribuidas a este fluido nos recuerdan el espíritu eléctrico de Newton (*Principia*, Escolio General), transformado después en el éter de enorme sutileza y elasticidad extendido a todos los espacios y albergado en todos los cuerpos (*Optica*,

Cuestiones de 1717), aunque sin las funciones que el físico británico le otorgó. Asimismo, en su capacidad de transmitir calor se halla muy próximo al concepto cartesiano ya comentado. El calórico parece ser el cuerpo más elástico de la naturaleza y causa, a su vez, la elasticidad de otros; su acción se ejerce a distancia. Nunca se encuentra libre absolutamente y casi siempre está combinado, pues es el que añade solidez a las cosas. El calórico pasa de unos cuerpos a otros, como el flogisto de Sthal, equilibrando sus temperaturas. Lavoisier introdujo un concepto nuevo: *Calórico* (o calor) *específico*, es la cantidad de calórico necesaria para elevar el mismo número de grados la temperatura de sustancias de idéntico peso (peso absoluto/ volumen).

Del aire nos dice Lavoisier que es un fluido sumamente elástico, formado de un elemento respirable y de otro que no lo es. Lo ha comprobado experimentalmente mediante la calcinación del mercurio. Invirtiendo el proceso, es decir, calentando de nuevo los granos rojos del mercurio calcinado, obtiene unas gotas del metal y además, un fluido elástico, excelente para la combustión y la respiración: es el aire desflogisticado de Priestley y al cual denomina empireal o aire vital. El mercurio, al calcinarse, absorbe la parte de aire respirable, lo cual explica el aumento de peso del metal y la disminución de aire en esa misma cantidad. Ya no se necesitaba el flogisto. El gas restante parecía ser una especie de "mofeta", en palabras de Lavoisier (*Tratado Elemental de Química*); es el gas *zoe* de Rutherford, o nuestro nitrógeno; no apto para la vida ni respirable ni combustible.

Respecto al agua, considerada de naturaleza simple desde los tiempos más remotos, Lavoisier comprobó que se trata en realidad de una sustancia compuesta de dos elementos, oxígeno e hidrógeno, en la proporción 1 : 2. Debemos también al malogrado científico francés la *Ley de la Conservación de la Materia*, porque demostró que nada se pierde ni se gana en las reacciones químicas; asimismo observó la posibilidad de plantear una ecuación matemática que expresara el fundamento de las reacciones. La dificultad residía ahora en medir sus respectivas masas. Primeramente lo hicieron en forma de "partes": tantas partes de esto por tantas de lo otro, lo cual dio lugar a la *Ley de las proporciones equivalentes*, propuesta por Jeremiah Richter en 1791. William Prout formularía poco después (1797) la llamada *Ley de las proporciones definidas*: las masas de los reactivos guardan una relación fija. Más adelante, Dalton estableció que dicha relación se adecua a los números enteros.

La nomenclatura ideada por Lavoisier para la formalización de los compuestos es muy útil y manejable. Distinguió hasta 23 sustancias simples no calificadas por él



como *elementos químicos*, pues estos no sólo deben ser simples e indivisibles, sino además formar parte esencial de un gran número de cuerpos. Así, aunque el oro es una sustancia simple, no se dice que es un elemento; parece como si los únicos elementos fueran el calórico y la luz.

#### BIBLIOGRAFÍA BÁSICA:

ASIMOV, Isaac: *Historia de la química*. Alianza, Madrid, 1988

ESTEBAN SANTOS, Soledad: *Introducción a la historia de la química*. Cuadernos de la UNED, Madrid, 2001

HULL, L. W. H.: *Historia y filosofía de la ciencia*. Ariel

MASON, Stephen: *Historia de las ciencias*, Alianza

**TEMA 8:** *La actividad de la materia: El modelo atómico de Dalton. Electricidad y magnetismo. La teoría de los cuantos. Las cuatro fuerzas*

Dalton (1766-1844) estuvo interesado en la neumática, inicialmente; y del estudio de ésta pasó directamente a la investigación química. Recuperó el corpuscularismo newtoniano y su noción de las fuerzas atractivas y repulsivas que afectan a las partículas. Asimismo, tomó de Priestley la ley que establece que la atracción entre cargas eléctricas es inversa al cuadrado de la distancia. Fue pues partidario del corpuscularismo dinámico, frente al estático que defendió Boyle.

Dalton explicó que los átomos no se crean ni se destruyen y que la separación o unión entre ellos fundamenta el cambio químico. La diferencia entre unos elementos y otros reside en la naturaleza de sus átomos y estos se distinguen por su peso. En su opinión, las propiedades de un cuerpo dependerán de su configuración atómica. Dalton, lógicamente, no supo que se llegarían a descubrir isótopos de un mismo elemento, los cuales poseerían idénticas cualidades. En realidad, desconocía la noción de número atómico: la existencia de partículas como componentes últimos de la materia es algo que sólo se pudo comprobar mucho tiempo después, con el uso de microscopios electrónicos muy sofisticados. Las sustancias compuestas estarían formadas por *átomos compuestos* (moléculas) o agrupaciones de átomos: tantos de un elemento, más tantos

de otro, etc. Todo esto se podía expresar mediante ecuaciones matemáticas y en función de los números enteros.

En 1808 publicó su *Nuevo sistema de Filosofía Química*, en el cual expuso que las fuerzas repulsivas son las responsables del alejamiento de los átomos entre sí, a velocidades inversas a sus distancias. El calor estaría detrás de la actuación de estas fuerzas. En condiciones normales, de presión y temperatura, los átomos no se repelen. Respecto al aire dedujo que, en un entorno estable, sus moléculas no se disocian debido a que la presión total de las mismas es igual a la suma de las presiones parciales, y formuló su *Ley de la Presiones Parciales de los Gases*.

Amedeo Avogadro (1776-1856) en 1811 y André-Marie Ampère (1775-1836) en 1814 afirmaron que a volúmenes iguales de distintos gases, en condiciones idénticas de presión y temperatura, su número de partículas era la misma. Esta ley estaba en contradicción con la hipótesis de Dalton, según el cual, los átomos de distintas sustancias diferían en tamaño, forma y peso, por lo cual el número de ellos variaba en relación al volumen considerado; es más, creía que el número de átomos que componía un gas estaba en relación inversa al volumen tomado de ese gas.

En 1808 se comenzó a confeccionar una lista con los pesos atómicos de todos los elementos conocidos, en relación al hidrógeno y tomando el de éste como unidad: Aún se creía que la sustancia de la que estaban hechos era la misma. Así, William Prout (1785-1850) pensó en 1815 si no estarían todos compuestos de átomos de este gas. Thomson, Berzelius y Stas se dedicaron a ello y demostraron que la relación conseguida no se correspondía exactamente con los números enteros; por tanto, desde entonces, los químicos prefirieron realizar cálculos a partir de los pesos reales de las sustancias.

La hipótesis de Dalton a favor de las fuerzas atractivas y repulsivas se consolidó cuando en 1808 Nicholson y Carlisle lograron descomponer el agua por medio de electrolisis. Este fenómeno fue descubierto gracias a los experimentos realizados en la pila de Alessandro Volta (1745-1827). Poco después, Humphry Davy (1778-1829) afirmó que la atracción química de los elementos era la responsable de la formación de los compuestos, pues había aislado los metales alcalinos, sodio y potasio, aplicando este procedimiento. Jöns Jacob Berzelius (1779-1848) perfeccionó esta tesis al declarar que la composición química se debía a la atracción existente entre sustancias con cargas eléctricas opuestas, distinguiendo los elementos electronegativos de los electropositivos. Si esto era así, ¿cómo explicar la cohesión entre partículas homólogas? En 1828, Friedrich Wöhler (1800-1882) descubrió que los compuestos orgánicos se podían

formar a partir de sustancias minerales; por tanto, su existencia no se debía exclusivamente a procesos biológicos. Visto lo cual, él y Justus von Liebig (1803-1873) intentaron trasladar las tesis de Berzelius a la química orgánica. Pero Dumas descubrió algo sorprendente: en algunos radicales orgánicos se podía sustituir el hidrógeno electropositivo por el cloro electronegativo, ¡y no cambiaban las propiedades fundamentales de esas sustancias! ¿Estarían equivocados Berzelius, Wöhler y Liebig? La hipótesis dualista fue entonces desplazada por una nueva que diera sentido a estos sucesos; por ejemplo, la que se apoyó en la configuración interna de los cuerpos. Liebig habló ahora de *Teoría de los tipos estructurales* y Dumas afirmó que las propiedades de los compuestos orgánicos eran consecuencia de la disposición de sus elementos. Esta conjetura fue aceptada en el ámbito de la química orgánica, pero no en el que se dedicaba al estudio de las sustancias inertes.

Según la concepción estructural, los cuerpos que presentaran una configuración semejante poseerían idénticas propiedades. Esta perspectiva propició nuevas investigaciones acerca de la constitución atómica de los elementos; a ello se dedicaron, principalmente, August Kekule (1829-1896) y Edward Frankland (1825-1899), el cual definió el concepto de valencia. Se ordenaron los elementos por familias; en ello trabajaron Meyer y Mendeleev, los creadores de la tabla periódica en 1869.

La electricidad estática producida por fricción era un fenómeno observado ya en la naturaleza desde la época de los griegos. Según parece, Tales de Mileto solía frotar un objeto de ámbar sobre un tejido para atraer con él ciertos objetos. Franklin observó que los rayos y relámpagos eran de origen eléctrico. Los cuerpos se podían cargar eléctricamente, y atraerse o repelerse con una intensidad inversamente proporcional a los cuadrados de sus distancias. Así lo verificaron Priestley, Cavendish y Coulomb, que realizaron las primeras mediciones con un electrómetro. Este último definió la fuerza electrostática mediante una ecuación análoga a la propuesta por Newton para la gravedad, aunque ésta resultaba ser 40 veces menor que aquella. Galvani logró mover el músculo de la pata de una rana al conectarlo a dos láminas metálicas; inspirado en estos experimentos, Volta intentó crear una corriente eléctrica estable en su laboratorio; verificó que con la unión de dos metales distintos (cobre y cinc) se producían efectos eléctricos, y si sumergía esos metales en una solución ácida, las consecuencias parecían ser aún mayores; de esta manera construyó su pila en 1799 y a esa extraña fuerza que los causaba se la denominó *galvanismo*. Gracias al procedimiento de electrolisis se

detectaron muchos elementos químicos hasta entonces desconocidos. Michael Faraday (1791-1867) enunció las leyes de la electroquímica.

En 1820 Hans Christian Oersted (1777-1851) demostró que la electricidad provoca efectos magnéticos, como el movimiento de una aguja imantada. A este suceso lo denominó *electromagnetismo*. Poco después, André Marie Ampère comprobó que dos hilos paralelos por los que circula corriente eléctrica, se atraen si ésta discurre en el mismo sentido, y se repelen si lo hace en sentido contrario. Faraday definió los conceptos de *líneas de fuerza* y de *campo electromagnético*. En 1821 consiguió que un hilo conductor de corriente eléctrica girara alrededor de un imán; es decir, logró que la electricidad produjera efectos mecánicos. Y en 1831, Faraday pudo constatar el fenómeno inverso del electromagnetismo: la *inducción electromagnética*, la cual consiste en producir electricidad por medios magnéticos. De esta manera se advirtió la relación existente entre mecánica, electricidad y magnetismo; se fabricó entonces la primera dinamo: la máquina que mueve continuamente espirales de alambres en presencia de imanes, transformando el trabajo mecánico en electricidad.

James Clerk Maxwell (1831-1878) matizó las nociones de líneas de fuerza y campo electromagnético en *Una teoría dinámica del campo electromagnético* (1865) y en su *Tratado sobre electricidad y magnetismo* (1873). Desde 1861 sabía que la luz también era un fenómeno electromagnético: óptica, electricidad y magnetismo obedecían a las mismas leyes. Pero la teoría electromagnética no consiguió explicar la gravitación ni ésta los procesos internos de la materia. En 1888, Heinrich Hertz (1857-1894) comprobó la existencia de radiaciones electromagnéticas.

Otra de las consecuencias de la corriente eléctrica reside en el calor que ésta produce. J. P. Joule (1818-1889) determinó que el calor es una forma de energía, como la cinética, la potencial y la mecánica. Estudió la electricidad y dedujo que la energía se puede manifestar de formas muy diversas: gravitatoria, elástica, térmica, cinética, eléctrica, química, ... Junto a Helmholtz (1821-1894) definió la primera ley de la termodinámica o Ley de la Conservación de la Energía, pues cualquier tipo de energía se transforma en otro distinto o en calor, pero nunca se pierde. No obstante, aunque la cantidad de energía existente en el universo sea constante, su grado de desorganización o *entropía* aumenta sin cesar.

El descubrimiento de la radiactividad por Henri Becquerel (1852-1908) en 1896, desveló la posibilidad de que los átomos no fueran las partes mínimas de la materia; Rutherford (1875-1937) y Niels Bohr (1885-1962) investigaron qué fuerzas eran

responsables de la cohesión existente entre las partículas subatómicas: fuerzas que mantenían la estabilidad del núcleo y evitaban al mismo tiempo que los electrones se precipitaran hacia él; fuerzas, además, que favorecían la desintegración de los neutrones. La teoría que expresara el comportamiento de esas partículas sería desde entonces la electrodinámica cuántica. Así pues, el conjunto de fuerzas que definían las incidencias de la materia podía reducirse a cuatro: gravitación, electromagnetismo, nuclear fuerte y electrodinámica débil; las dos últimas analizadas mediante dos teorías: la cromodinámica cuántica y la electrodébil, respectivamente.

*El Principio de Incertidumbre* enunciado por Werner Heisenberg destacaba la imposibilidad de medir simultáneamente la posición y el movimiento de las partículas subatómicas. Estas actuaban a veces como corpúsculos, a veces como ondas, y esto las sumergía en un abismo de indeterminación.

Einstein creyó poder eliminar el aparente antagonismo entre electromagnetismo y gravitación cuando advirtió que masa y energía eran conceptos equivalentes, e intentó formular una teoría que abarcara a ambas: la *Teoría del Campo Unificado*. En el siglo XX se ha buscado una teoría que englobe la totalidad de los fenómenos descritos en la naturaleza; que relacione la mecánica cuántica con la relatividad general y que explique el comportamiento tanto de los corpúsculos más pequeños como de los más grandes e inmensos. Esta sería la *Teoría de Supercuerdas* (Sheldon Glashow): microscópicas partículas retorcidas evolucionando en un hiperespacio decadimensional y responsables de la totalidad de la energía y materia existente en el universo. Edward Witten postula que no sólo esta teoría explica la gravedad sino que exige la existencia de ésta. Los científicos esperan que la hipótesis de la supercuerda se confirme algún día gracias a un artilugio inmensamente caro y casi imposible de construir: el supercolisionador superconductor, un mega-acelerador de partículas con alcance de mil años luz.

John Barrow ha enfriado los deseos unitarios de muchos científicos, lanzándoles un jarro de agua fría; basándose en el *Teorema de Incompletitud* demostrado por Gödel sostiene la imposibilidad de lograr una teoría que abarque la totalidad de los fenómenos que se producen en nuestro universo. Máxime cuando muchos de ellos son de naturaleza imprevisible y caótica; porque, en palabras de James Yorke, se desarrollan de un modo *predicablemente impredecible*. Las teorías acerca del caos se diseñan mediante complicados programas informáticos y simulaciones con ordenador; con la ayuda de estas máquinas se han investigado asuntos tan dispares como las fluctuaciones bursátiles, la frecuencia e intensidad de los terremotos o el comportamiento de algunas

especies animales. Las conjeturas más atractivas han surgido de la mano y de la mente de Benoit Mandelbrot, el creador de los fractales: trémulos relieves que se repiten ad infinitum; aguda observación de los copos de nieve, de la forma de las nubes y del contorno de las costas.

#### BIBLIOGRAFÍA BÁSICA:

GRIBBIN, John: *Historia de la ciencia 1543-2001*. Crítica, Barcelona, 2003

HULL, L. W. H.: *Historia y filosofía de la ciencia*. Ariel, Madrid, 1989

MASON, Stephen F.: *Historia de la ciencias*. Alianza, 2001

#### BIBLIOGRAFÍA COMPLEMENTARIA:

ARANA: *Materia, Universo, Vida*. Tecnos, Madrid, 2001

HORGAN, John: *El fin de la ciencia*. Paidós, Barcelona, 1998

BERKSON, William: *La teoría de los campos de fuerza. Desde Faraday a Einstein*. Alianza, Madrid, 1997

DELIGEORGES, Stéphane (dir.): *El mundo cuántico*. Alianza, Madrid, 2001

SÁNCHEZ RON, J. M.: *El jardín de Newton*. Crítica, Barcelona, 2001

**TEMA 9:** *El cuerpo humano y sus afecciones: Médicos y sanadores en las culturas arcaicas. Los transgresores*

Las civilizaciones más antiguas contemplaron la enfermedad como algo ajeno al hombre; como un castigo impuesto a los que infringían un tabú o contravenían las reglas establecidas. El sentimiento de culpa iba siempre ligado a la enfermedad y su curación pasaba, antes de nada, por el arrepentimiento. Los sacerdotes y hechiceros buscaban el origen de la dolencia en la infracción cometida y no en el cuerpo del infractor; recurrían a rituales apotropaicos y a la magia para intentar mitigar esa falta: había que sosegar a los dioses y a ellos iban dirigidas las plegarias y sacrificios, las ofrendas y los halagos.

Obviamente, en la mayoría de los casos, esas prácticas no lograban mejorar al enfermo, a no ser que la naturaleza de su dolencia fuera más bien psíquica o mental. Era

entonces necesario realizar un examen más atento de su cuerpo para encontrar en los síntomas aparentes la causa del mal. El sanador solía administrar brebajes a base de plantas medicinales, mientras el exorcista recurría al uso de amuletos y oraciones. Lo observamos en Mesopotamia: los llamados *asû* eran los terapeutas encargados de suministrar las pócimas y bebedizos, mientras los *ašipu* se dedicaban al ejercicio de la magia. No obstante, la medicina precientífica procede de la actividad de estos últimos y de las exhaustivas inspecciones realizadas al enfermo. Se han encontrado en lo que fue la Biblioteca de Asurbanipal tablillas que describen una gran variedad de rasgos fisiognómicos de las personas, como el color del cabello, tamaño del cuerpo y de sus extremidades, marcas y señales en la piel, coloración de la misma, peculiaridades en el habla o en la forma de caminar, cualidades morales, etc. Se analizaban también sus secreciones, el pulso y los olores desprendidos por el enfermo. En el período paleobabilonio, los *ašipu* diagnosticaban la enfermedad y su probable desenlace; acusaban a los demonios de su aparición y practicaban algún rito mágico o *namburbi* para neutralizar la acción de aquellos. En algunos documentos se registraban también los sucesos relevantes que el brujo encontraba a su paso; todos ellos eran consignados como presagios del resultado final de la enfermedad.

Con el paso del tiempo, los *asû* desaparecieron al fundirse con los *ašipu*. Pero en épocas mucho más antiguas los enfermos eran sacados a la calle para que los viandantes dieran su opinión acerca del mal que les aquejaba y de los remedios necesarios para su restablecimiento.

La práctica de la adivinación se diversificaba en diferentes rutinas y aplicaciones: astrología, libanomancia (examen del humo formado al quemar incienso), lecanomancia (forma que adquieren las gotas de aceite vertidas en agua), augurios, etc. La aruspicina trataba de predecir el futuro mediante la observación de las vísceras de los animales; fue una técnica común en las poblaciones de China, Sureste Asiático y Oriente Medio, desde donde se extendió al Asia Menor y de ahí, a los enclaves del Mar Mediterráneo. La más antigua de todas esas prácticas, la hepatoscopia, analizaba la forma del hígado y sus peculiaridades. El chamán asirio o *bârû* pregunta a los dioses del oráculo acerca de algún suceso venidero y estos responden marcando los órganos del animal. Una vez formulado el ritual, el adivino se dispone a inspeccionar minuciosamente las entrañas del animal sacrificado: busca malformaciones, señales de cualquier tipo, coloraciones inusuales, formas extrañas, disposiciones raras de las vísceras. Para detectar estos signos se necesitaba un conocimiento previo del interior de

los organismos. Se han encontrado numerosas tablillas de arcilla con figuras de hígados y de otras vísceras animales, en su estado normal y sano y cuando están afectadas por alguna clase de anomalía. También se prestaba atención a la aparición de seres deformes o monstruosos, pues esto presagiaba desastres para el país.

Los egipcios fueron unos médicos experimentados, aunque no por ello hay que desligar su actividad de la religión y la magia. El aprendizaje de esta sabiduría se realizaba en la *Casa de la Vida* y a él se dedicaban magos, sacerdotes y médicos o terapeutas. Los papiros destinados a la medicina comienzan siempre con invocaciones a los dioses sanadores, Toth y Anubis, y fórmulas mágicas, e incluyen entre sus recomendaciones todo tipo de hechizos y conjuros. Se pretendía así neutralizar el poder de los demonios, de los muertos y de los dioses agraviados. Los documentos que conservamos fueron escritos seguramente hace 4000 años, pero se cree que estos son copias de textos más arcaicos. Todos ellos nombran la enfermedad por su síntoma más significativo y detallan a continuación los posibles remedios y curas; en algunos casos, incluso se dicta el fármaco específico para vencer la dolencia y las dosis pertinentes. Las enfermedades se atribuían también a agentes externos: malos vientos, gusanos o insectos; origen interno: desnutrición, obesidad, embriaguez; causa moral: mal de amores, nostalgia o tristeza. El cuerpo humano se conocía, principalmente, debido a la práctica habitual de embalsamar cadáveres y a la cura de lesiones y heridas.

El Ramesseum es el papiro más antiguo. Data de la XII Dinastía (c. 1900 a. C.), en el Imperio Medio y es de carácter mágico-religioso; trata asuntos de obstetricia (IV), como por ejemplo, recetas anticonceptivas, y contiene sugerencias para remediar atrofas musculares y óseas (V). El Papiro Kahun, de la misma época, está dedicado a temas de veterinaria; también apunta varios métodos para descubrir una posible esterilidad femenina o detectar el embarazo; además comenta qué rasgos de la mujer gestante prueban el sexo que tendrá el hijo. Este documento contiene 34 recetas relacionadas con la ginecología. El Papiro Smith, algo posterior a los anteriores, es un texto quirúrgico y describe diversas afecciones del corazón y traumatismos; sus indicaciones sugieren la posibilidad de que se hubieran practicado disecciones. El Papiro Ebers procede del Imperio Nuevo; comenta diversas afecciones del aparato digestivo, pulmones, oídos y ojos. Describe los procesos de angina de pecho, aneurismas y hernias. El Papiro Hearst es de la misma época que el anterior. En realidad es un compendio de recetas prácticas para sanar fracturas y mordeduras. El Papiro Erman (c. 1550 a. C.) es de naturaleza mágica; contiene exorcismos y encantamientos



para lograr un buen parto. El Papiro London (1350 a. C.) registra 61 recetas e invocaciones mágicas. El Papiro Berlín, realiza una excelente descripción de algunas dolencias cardíacas. El Papiro Beatty examina un único caso clínico y añade 41 remedios para sanar enfermedades de pecho, vías urinarias y ano. El Papiro Carlsberg, de la XX Dinastía, comenta diversas afecciones de los ojos. El Papiro Leiden repite el contenido de otros textos.

#### BIBLIOGRAFÍA BÁSICA:

GUERRA, Francisco: *Historia de la medicina*. Norma, Madrid, 2001

OPPENHEIM, A. L.: *La Antigua Mesopotamia*. Gredos, Madrid, 2003

#### BIBLIOGRAFÍA COMPLEMENTARIA:

ROMÁN LÓPEZ, M<sup>a</sup> Teresa: *Sabidurías orientales de la Antigüedad*. Alianza, Madrid, 2004

**TEMA 10:** *La medicina de Hipócrates y Galeno. Las doctrinas de los humores. El saber curativo en el mundo grecorromano*

Asclepio era el dios griego responsable de la salud de los seres humanos. En sus templos concurrían enfermos y sanadores; los primeros buscaban el favor del dios y la curación de sus males, depositando exvotos si conseguían recuperar la salud; los segundos acudían a interesarse por las dolencias de los enfermos, les preguntaban acerca de sus males y por el modo en que habían sanado. La medicina griega pudo tener este origen.

Hipócrates de Cos (n. 460 a. C.) fue contemporáneo de Sócrates y Platón, y seguramente estuvo influido por la autoridad de Empédocles, el cual fundó en Sicilia la primera escuela médica ateniense. La hipótesis de los cuatro elementos: tierra, agua, aire y fuego, inspiraría su doctrina de los humores.

Hipócrates creyó que la enfermedad se debía a causas naturales; por tanto, los remedios debían ser también naturales. Rechazó interpretaciones de otra índole, como las mágico-religiosas que habían respaldado las culturas primitivas. Según el médico de

Cos, existen cuatro humores que fluyen en el interior del cuerpo humano: la sangre, la flema, la bilis amarilla y la bilis negra; el equilibrio entre ellos condiciona el estado de salud. No practicó demasiadas disecciones en animales, por lo que sus conocimientos de anatomía fueron algo escasos. Hipócrates prefería realizar estudios clínicos del enfermo y ordenar tratamientos a base de medicamentos, dieta suave y descanso; para prevenir males futuros, solía recomendar alimentos sanos, ejercicio moderado y masajes.

La Colección Hipocrática consta de 60 tratados muy diversos; desde los dietéticos y deontológicos, hasta los de patología general y especial, como los dedicados a oftalmología, obstetricia y pediatría; aunque desconocemos cuáles de ellos fueron escritos por el mismo Hipócrates y cuáles se deben a su Escuela. El repertorio de *Aforismos* hipocrático contiene 400 preceptos agrupados en ocho libros; todos derivados de su experiencia y aguda observación.

La Escuela de Cos siguió las directrices del maestro, frente a la establecida en Cnido, en la cual se prestaba más atención a la enfermedad que al enfermo. En ambas escuelas, como en la instituida por Empédocles en Sicilia, se pensaba que un desequilibrio humoral era el causante de las enfermedades. Todas ellas practicaban una medicina natural y una terapéutica suave. Se escribió un tratado de embriología: *La naturaleza del niño*, apoyándose también en las observaciones realizadas en huevos de gallina. Se dijo que las arterias contenían aire y las venas sangre; se estudió la influencia del clima en el desarrollo de las enfermedades; se analizaron los procesos epidemiales, etc.

A este período ateniense le sucedió el helenístico, centralizado en Alejandría. En esta época, los médicos practicaban disecciones de animales y cadáveres humanos con bastante frecuencia; por tanto, aumentaron notablemente los conocimientos en anatomía y fisiología. Herófilo (fl. 325 a. C.) estudió en Cos y siguió esta línea de investigación. Examinó los vasos sanguíneos, distinguiendo entre venas y arterias; él creyó que todas estaban llenas de sangre. Llamó vena arterial a lo que hoy denominamos arteria pulmonar y arteria venosa a la vena pulmonar. Diferenció asimismo entre cerebro y cerebelo y habló de la existencia de cuatro fuerzas responsables de la actividad orgánica y cuyos centros los situaba en el hígado, corazón, nervios y cerebro. Escribió 11 tratados relacionados con asuntos de anatomía, obstetricia (inventó el embriótomo), oftalmología, terapéutica, dietética y pulso, el cual midió con una clepsidra que él mismo construyó.

Erasístrato (aprox. 304 – 250 a. C.) fue un gran fisiólogo y anatomista. Se inspiró en el atomismo democriteano para sustituir la doctrina de los humores por otra que combinaba la acción de los corpúsculos con el pneuma. Para él, la enfermedad residía en el exceso de sangre o *plétora* que inunda las arterias y provoca alteraciones en el movimiento del pneuma. Estudió las fases de la respiración, el cerebro, los vasos sanguíneos; distinguió entre venas, arterias y nervios: los primeros llevan sangre, los segundos aire y los terceros el pneuma psíquico procedente del cerebro. Afirmó que el corazón actuaba como una bomba, impulsando el pneuma hacia el cerebro por la arteria aorta. Escribió 62 tratados que no conservamos.

En el siglo II a. C. se fundó en Alejandría la Escuela Empírica, en la cual se prestaba más atención a la cura del enfermo que a descubrir el origen y naturaleza de la enfermedad. Glaucias escribió un tratado sobre hierbas medicinales y enunció los tres principios en los que se apoyaba la investigación médica: autopsia, historia y analogía; los tres relacionados con la observación directa de sintomatologías semejantes. Hubo otra escuela, la Metódica, inspirada en las enseñanzas de Asclepíades de Bithynia (s. I a. C.). Este aplicó el corpuscularismo democriteano al cuerpo humano y rechazó el punto de vista de las escuelas naturalistas y el de los empíricos. No le gustaba recomendar medicamentos, pero sí comentó las propiedades beneficiosas del vino, del ejercicio pausado, de la dieta equilibrada y de los ayunos.

Cuando Roma desplegó su ejército sobre los pueblos del Mediterráneo necesitaba personas capaces de curar las heridas y lesiones de sus soldados. La cirugía progresó espectacularmente en este período y por esta causa. No obstante, los romanos se preocuparon también de la salud de sus ciudadanos y crearon los primeros hospitales y enfermerías, así como escuelas en las que aprender las artes de la medicina. De este período fueron Celso, quien escribió una *Enciclopedia* de la que sólo conservamos los libros dedicados a dietética, terapéutica, cirugía y enfermedades óseas; y Dioscórides, un médico militar que redactó *Materia Médica*, obra cuyo contenido abarca temas tan dispares como farmacología, botánica y química. Describió productos de origen orgánico y mineral con sus respectivas cualidades curativas.

En el siglo I, la Escuela Pneumática recogió la antigua teoría de los humores, adaptándola a sus hipótesis acerca del pneuma ; este controlaba la actividad y el buen funcionamiento corporal; se introducía en el organismo mediante la respiración y era la fuente de calor que recorría todo el cuerpo conducido por las arterias y mezclado con la sangre. El fundador de esta escuela fue Ateneo de Attalia (fl. 41-54).

La Escuela Ecléctica se constituyó alrededor de Claudio Agathinos (fl. 50), seguidor de la doctrina de Hipócrates, aunque con una visión más empírica de sus enseñanzas. De esta escuela fue Areteo de Capadocia, autor de excelentes tratados acerca de enfermedades mentales y otras de origen infeccioso, como la lepra, el tétanos, difteria, pleuresía, etc.

Galeno de Pérgamo (129-200) no perteneció a esta escuela pero su pensamiento fue fundamentalmente ecléctico: intentó acomodar la teoría hipocrática de los humores y su terapéutica naturista con las hipótesis defendidas por los empiristas y pneumáticos; todo ello, además, impregnado de la filosofía aristotélica. La naturaleza, afirmó, es el principio creador que fija y regula las funciones del cuerpo, y el pneuma es el espíritu vital que penetra en el cuerpo a través de la respiración. Distinguió tres tipos de pneuma: natural, vital y animal; y tres centros en los que estos se desarrollan: el hígado, el corazón y el cerebro. Creyó que la sangre traspasaba el tabique interventricular a través de poros imperceptibles, para mezclarse con el pneuma procedente de los pulmones.

Trabajó junto a los gladiadores y esto le permitió realizar progresos en anatomía, fisiología y cirugía. Practicó disecciones en animales y defendió la conveniencia de realizar también vivisecciones. Fueron muy fructíferas las experiencias llevadas a cabo en cadáveres de monos, tan morfológicamente próximos a los humanos, pues con ello pudo describir perfectamente sus sistemas óseo y muscular.

La hipótesis de los cuatro humores inspiró su doctrina acerca de los temperamentos humanos: sanguíneo, flemático, colérico y melancólico. En cada uno de ellos existiría el predominio particular de uno de los humores. Galeno fue un versátil y prolífico autor; no sólo escribió sobre asuntos relacionados con la medicina, como anatomía, fisiología, dietética, higiene, patología, etc, sino también temas específicos de filosofía, retórica y filología.

La medicina galénica influyó en las escuelas europeas hasta el siglo XVII.

#### BIBLIOGRAFÍA BÁSICA:

BABINI, José: *Historia de la medicina*. Gedisa, Barcelona, 2000

GUERRA, Francisco: *Historia de la medicina*. Norma, Madrid, 2001

RADA, E.; BURGUETE, R.: *Ciencia y Tecnología y su papel en la sociedad*. UNED, Madrid, 2004

**TEMA 11:** *Médicos renacentistas: La Escuela de Padua. El desarrollo de la anatomía en Leonardo y Vesalio. El problema de la circulación de la sangre: Miguel Servet y Harvey La noción iatroquímica de Paracelso. El avance de la cirugía*

A partir del siglo XV la medicina en Europa pasó a ser una disciplina impartida en las universidades. La Edad Media había supuesto el estancamiento de esta ciencia en Occidente, aunque no ocurrió lo mismo en el mundo musulmán, donde se realizaron numerosas traducciones y se redactaron obras originales. Bagdad fue el centro neurálgico del saber en este período. Las tres grandes religiones rechazaban practicar disecciones, y tanto los musulmanes como los judíos se mostraron remisos ante la cirugía. La anatomía y la fisiología no prosperaron mucho en esta época. No obstante, a partir del siglo XIII ambas especialidades comenzaron a progresar; por ejemplo, de la mano de los estudios jurídicos en Bolonia, donde se permitía realizar autopsias a los cadáveres. Aún así, en los centros médicos de enseñanza las disecciones las efectuaban los auxiliares y nunca los profesores.

Los médicos del Renacimiento fueron además científicos y humanistas; y muchos de estos últimos se sintieron inclinados a estudiar temas relacionados con la medicina. Como Marsilio Ficino, quien fundó en Florencia la Academia platónica y se ocupó de la vejez y del modo de llegar a ella saludablemente; o el controvertido algebrista Cardano, y Rabelais, Cornaro, etc. La disección dejó de ser una experiencia vetada y, por esta razón, la anatomía y fisiología fueron las disciplinas que más avanzaron, frente a la clínica y terapéutica, que extrajeron sus conocimientos de las obras clásicas de Hipócrates y Galeno. Los médicos eran personas con una sólida formación académica, no así los cirujanos, cuyo saber se basaba exclusivamente en la experiencia, propiciada por las continuas y sangrientas campañas militares. El uso de la pólvora cambió el cuadro de afecciones, heridas y lesiones provocadas por ella. Muchos médicos iniciaron su aprendizaje en este campo, como Ambroise Paré (1510-1590), quien fue maestro barbero en sus orígenes y cirujano militar posteriormente; descubrió cómo tratar las heridas de guerra con ungüentos y no mediante cauterización o aceite hirviendo; logró evitar muchas amputaciones. También se le ocurrió ligar las arterias para cortar las hemorragias. En 1545 escribió *Sobre el método para tratar las heridas que hacen los arcabuces*.

Tradicionalmente, todos los asuntos relacionados con la gestación y el nacimiento de un niño habían sido encargados a las parteras. Ahora los médicos comenzarán a interesarse por esta especialidad totalmente y no sólo cuando el parto se pronostica difícil. En 1554 se inventó el fórceps y Della Croce escribió un tratado describiendo los instrumentos quirúrgicos utilizados en la época.

Leonardo da Vinci fue uno de los creadores de la anatomía y fisiología comparadas. Trabajó en Padua y él mismo efectuaba disecciones y disecaciones, representando el resultado de sus estudios en hermosas láminas y dibujos. Leonardo fue un hombre del Renacimiento: humanista, filósofo, científico, médico, inventor y artista; reunió en su persona todos los conocimientos de la época. Su espíritu inquisitivo le impulsó a investigar en todas estas especialidades. No obstante, a pesar de los minuciosos exámenes realizados en el cuerpo humano, siguió defendiendo la existencia de poros en el tabique interventricular.

La anatomía progresó espectacularmente: los propios profesores en medicina llevaban a cabo las disecciones. Fueron anatomistas famosos Antonio Benivieni, quien realizó numerosas autopsias; Berengario da Carpi, el cual preparó un excelente tratado con ilustraciones; Canano, prestigioso médico que publicó en 1541 una obra dedicada a esta disciplina.

También André Vesalio practicó disecciones y vivisecciones en animales. Aunque belga de nacimiento, estudió en Lovaina y París, y fue eminente maestro en la Escuela de Padua. Describió con todo detalle las vísceras, los huesos, los músculos, arterias, venas y nervios; para ello contó con la ayuda y colaboración de Van Calcar, quien ilustró maravillosamente sus libros: *Seis láminas anatómicas* (1538), *De humani corporis fabrica* (1543), vulgarmente conocido como *La fábrica*. En fisiología, estuvo muy influido por Galeno; analizó el aparato digestivo y sus funciones, el reproductivo, los órganos sensoriales y el corazón. Comprobó que en el cerebro humano no existía una *rete mirabile*, como creía Galeno; pero de acuerdo con el sabio de Pérgamo, defendió que en el tabique interventricular debía haber poros, a pesar de la observada solidez y consistencia del mismo.

La Escuela de Padua pasó a ser el centro más prestigioso de estudios anatómicos. En ella trabajaron y se instruyeron Eustachio, famoso por sus descubrimientos en el aparato auditivo (*Opuscula anatomica*, 1564); Matteo Colombo, se ocupó de investigar el sistema circulatorio; Gabriello Falloppia (*Observaciones anatómicas*, 1561), quien además de médico fue un excelente farmacólogo; Julio

Cassero, famoso por su trabajo en anatomía comparada; Gerolamo Fabrizi D'Acquapendente, experto en embriología y medicina vascular: descubrió las válvulas de las venas; en embriología, siguió las enseñanzas de Galeno; estudió las diferentes etapas de la gestación humana y el proceso embrionario del pollo; pensó, al igual que Aristóteles, que el macho ocupaba una posición dominante respecto a la hembra en la reproducción.

También en la Escuela de Padua trabajó William Harvey. Además de anatomista con él se inicia la ciencia de la fisiología o *anatomía animada*, pues no tuvo reparo en practicar vivisecciones. Descubrió la circulación de la sangre en 1618, aunque no publicó los resultados de sus investigaciones hasta 1628: *De motu cordis* o *Estudio anatómico del movimiento del corazón y de la sangre de los animales*; en esta obra, Harvey hace un análisis anatómico comparado de 40 especies distintas de animales. En pleno período musulmán (s. XI), Ibn Al-Nafis describió lo que él denominó la *pequeña circulación*, destacando la inexistencia de poros en la membrana interventricular; la sangre pasaría del ventrículo derecho al izquierdo por los vasos pulmonares. Miguel Servet, defendió esta misma idea: la sangre no se mezcla con el aire al atravesar los poros del tabique interventricular, sino que es impelida a los pulmones por el corazón (*Christianismi restitutio*, 1553); pero su cuerpo y su obra fueron a parar a la hoguera.

Harvey también estudió embriología (*Sobre la generación de los animales*, 1561) y creyó que los órganos del embrión se formaban a partir de la sustancia del huevo (epigénesis).

Fuera de Padua encontramos a Paracelso; además de químico fue un excelente cirujano: había practicado esta especialidad en el campo de batalla (*Gran Cirugía*, 1536). Hombre de personalidad singular, místico y científico al mismo tiempo, confió más en los conocimientos aportados por su propia experiencia que en los que le proporcionaba la autoridad de los clásicos. Creyó que la salud y la enfermedad eran estados físicos gobernados por cinco esferas, la última de las cuales era Dios (*Paramirum*, 1530); las afecciones se deben al desequilibrio surgido entre las tres sustancias primigenias: sal, azufre y mercurio. Paralelamente, en *Paragranum* se ocupa de los médicos y de la medicina; ésta se sustenta sobre cuatro pilares: filosofía natural, astronomía, alquimia y virtud o rectitud de conducta.

Paracelso inauguró el período de los iatroquímicos. Pensó que determinadas sustancias químicas, administradas de modo conveniente, lograrían efectos beneficiosos para recuperar la salud. Aunque también sostuvo que las enfermedades mentales podían

curarse aplicando otros medios: persuasión, autoconvencimiento de una posible mejoría, ... y fe, siempre que el enfermo fuera cristiano. Los remedios prescritos por los iatroquímicos no siempre tuvieron éxito; es más, muy pocos pacientes pudieron sobrevivir a la ingesta de metales y sustancias que hoy día sabemos que son venenosas.

Van Helmont fue otro iatroquímico. Afirmó que los procesos vitales se reducían a reacciones químicas; así, suministraba preparados minerales a los enfermos. En cada órgano existe un principio inmaterial o *archaeus* que actúa sobre el fermento ahí producido y estimula su funcionamiento. Por encima de todos estos *archaei* hay uno primordial responsable del alma sensitiva, que dirige la actividad psíquica y muere cuando lo hace el hombre; no obstante, los seres humanos poseemos un espíritu inmortal. La inestabilidad de los *archaei* provoca la enfermedad.

Franz Le Bœe, también llamado Sylvius, estudió los fenómenos y transformaciones químicas ocurridas en los organismos; para él, la enfermedad aparece cuando se altera la proporción adecuada entre los elementos contrarios - ácidos y álcalis - existentes en los jugos y secreciones orgánicas; por tanto, su terapia consistía en añadir las sustancias químicas que estabilizaran esas reacciones desajustadas.

En 1630 se inventó el microscopio; Pierre Borel fue el primer biólogo que lo utilizó en sus observaciones. Después, los llamados microscopistas clásicos: Malpighi, Grew, Hooke, Swammerdam y Leeuwenhoek. Todos ellos hicieron importantes descubrimientos en medicina y biología.

#### BIBLIOGRAFÍA BÁSICA:

BABINI, José: *Historia de la medicina*. Gedisa, Barcelona, 2000

GUERRA, Francisco: *Historia de la medicina*. Norma, Madrid, 2001

**TEMA 12:** *Teorías acerca de la Tierra: Las tesis de Maillet, Buffon y Hutton. El tradicionalismo de Werner y Ray. Catastrofistas como Cuvier y Whewell. El uniformismo de Lyell.*

Veintitrés de octubre, a las nueve en punto de la mañana: ¡Magnífica hora para ser creado! Pero, ¿de qué año? John Lighfoot (1602-1675), de la Universidad de Cambridge, calculó que ese día del año 4004 a. C. era un buen momento para que el



hombre apareciera en escena. La Tierra tendría su origen poco antes; según el Génesis, unos días nada más. No fueron estos los únicos cálculos que se realizaron para hallar la edad de nuestro planeta, sin embargo, esta nunca superaba los 6000 años de antigüedad, contados antes del nacimiento de Cristo. En el transcurso de ese tiempo, las especies creadas no habrían sufrido ningún tipo de transformación, según John Ray (1627-1705), ni disminuido ni aumentado su variedad. Ante los fósiles de seres desaparecidos, Ray comentaría que lo eran de criaturas no halladas hasta el momento, pues quizá vivieran en lugares ocultos. Encabezó la corriente Tradicionalista, la cual conservaba absoluta fidelidad a los textos bíblicos. John Ray fue el precursor de las modernas botánica y zoología, aunque su ciencia fue enfocada hacia un finalismo que halla en la multiplicidad de las especies existentes una continua alabanza a su creador (*La sabiduría de Dios en la Creación*). Recurrió a una Naturaleza Plástica para justificar la inmutabilidad de aquellas, su preservación y cualesquiera movimientos vitales. A Ray no se le escaparon los errores y malformaciones que, de vez en cuando, mostraban determinados seres vivos, pero rechazando con firmeza el azar, pensó que la omnipotencia y sabiduría divinas garantizaban suficientemente los sucesos de la Tierra. A él le debemos una anticipación de las tesis de selección natural o supervivencia de los mejor dotados: la naturaleza favorecería la extinción de los restantes, fortaleciendo la rama de los individuos con cualidades superiores

Abraham G. Werner (1749-1817), un alemán experto en mineralogía, continuó en esta línea, afirmando cómo la Tierra, en un principio, estaba envuelta por una capa de agua en la que flotaban los gérmenes de todas las sustancias. Las aguas retrocedieron y la corteza se distribuyó en estratos. Cincuenta años después, el geólogo británico Charles Lyell (1797-1875) criticaría esta teoría: en capas de similar composición se han encontrado restos orgánicos muy diversos. Georges Cuvier (1769-1832) y William Buckland (1784-1856) pensaron además que el origen de esos fósiles se debía a cataclismos o catástrofes acaecidas en nuestro planeta, como el Diluvio, por ejemplo.

Con Buffon (1707-1788) los naturalistas se atrevieron a preguntarse acerca de la creación: demasiados fósiles de especies desconocidas e inexistentes; distribución de los mismos en líneas paralelas a la superficie del suelo; restos marinos donde únicamente había tierra y piedras. Sin embargo, el mito diluviano encajaba bastante con los últimos hallazgos; en esta línea, John Woodward (1665-1728) escribió su *Ensayo sobre la historia natural de la Tierra* (1695): el peso sería la causa del orden dispuesto entre los

distintos materiales. Así lo creyeron también Bourquet y A. de Jussien, quien en 1718 descubrió restos de plantas exóticas impresos en las piedras de Le Lyonnais.

Contra estos argumentos, la lógica aplastante de René-Antoine Réaumur (1682-1757): las conchas marinas, dada su gravedad, ¿no deberían hallarse en lo más profundo de la tierra en lugar de estar distribuidas en estratos? Boulanger adelantó una teoría de capas geológicas, aunque bajo la perspectiva del carácter cíclico de las mismas. Y Fontenelle desechó la tesis del cataclismo, considerando que las constantes revoluciones de nuestro planeta habrían provocado que los mares de la India se abalanzaran sobre Europa, para después retirarse, dejando tras de sí una profusa variedad de restos marinos, vegetales de inusitada procedencia y otros de origen desconocido.

Desde las páginas de las *Mémoires de Trévoux*, los jesuitas imaginaron las explicaciones más peregrinas: La Tierra como alimento de extraños seres, los cuales encontrarían la muerte entre sus entrañas. Relatos de rasgos telúricos, muy próximos a los que ven en la Tierra una inmensa matriz donde se generan los minerales; pequeños embriones que se desarrollan y crecen en el cálido y oscuro recinto.

La hipótesis de un desastre generalizado no da cuenta de los huesos y esqueletos de mamíferos encontrados en lugares insospechados, muy distantes a los habituales de sus parientes y homólogos. En opinión de Maillet (*Telliamet*, 1748), la fisonomía de nuestro planeta variaría lenta y continuamente; sería un proceso evolutivo debido a la acción directa del mar, a su arranque y posterior depósito de materiales, al avance y retroceso de las aguas. Sin embargo, nuestro sistema sufriría periódicas fases de destrucción y generación, a partir de una materia eterna que lleva impresos por Dios el movimiento y la vida. También el geólogo británico James Hutton (1726-1797) respaldó las tesis evolucionistas (*Teoría de la Tierra*).

Buffon aboga por una naturaleza obediente a leyes inteligibles que el hombre puede desvelar. El físico prescinde de milagros y cataclismos, niega el azar y busca exclusivamente las causas de los fenómenos. Se decanta hacia una hipótesis evolutiva de la Tierra, una ley racional que estructura y vertebra los sucesos naturales: la acción constante y progresiva de los océanos (corrientes marinas, flujos y reflujos); los efectos producidos por los vientos y las lluvias y también por el fuego interno que provoca temblores en la corteza de la Tierra.

Desde el Uniformismo, Lyell (*Principios de geología*, 1830-1833) formalizará este pensamiento mucho después, señalando la variación lenta pero continua de la superficie terrestre; la acción del viento, el agua y las perturbaciones surgidas en su

interior. Ni diluvios ni catástrofes que purguen nuestras faltas. Pero ¿qué edad tendría entonces nuestro planeta para haber cambiado tanto en tan poco tiempo?

Hoy día se piensa que la Tierra tiene una antigüedad de 4500 millones de años y los fósiles más arcaicos (semejantes a las bacterias y algas) tienen unos 3000 millones de años.

Por último, dentro de la más estricta ortodoxia, Thomas Burnet (c.1635-1715) y Joseph Butler atribuyeron al mito adánico el comienzo de nuestros problemas y de la imperfección circundante, pues, en opinión de Burnet, aunque la economía de la naturaleza evidencia la existencia de Dios, esta, incidentalmente, poseía unas condiciones paradisíacas e inmejorables. La caída de nuestros ancestros desencadenó el actual y caótico estado del planeta, antes liso, sin mares ni montañas, orientado fijamente al Sol, sin sucesión de estaciones. Dios castigó al hombre mediante el Diluvio y su acción transformó el Paraíso en su apariencia actual (*Teoría sagrada de la Tierra*).

#### BIBLIOGRAFÍA BÁSICA:

BOWLER, P. J.: *Historia Fontana de la ciencias ambientales*. Fondo de Cultura Económica, México, 1998

HULL, L.W. H.: *Historia y Filosofía de la Ciencia*. Ariel, Madrid, 1998

MASON, Stephen F.: *Historia de las ciencias*, vols. 3 y 4. Alianza Editorial, Madrid, 2001

#### BIBLIOGRAFÍA COMPLEMENTARIA:

ELLENBERGER: *Historia de la geología*. Labor, Barcelona, 1989

PELAYO, Francisco: *Las teorías geológicas y paleontológicas durante el siglo XIX*. Historia Akal de la ciencia y la tecnología, vol. 40

**TEMA 13:** *Evolución: La gran cadena del ser. Los primeros pasos de Buffon y Maupertuis. La aportación de Linneo a la taxonomía. Malthus y la selección natural. Los descubrimientos de Lamarck, Wallace y Darwin. La gran cadena del ser. Hipótesis postdarwinianas*

Las primeras referencias acerca de la transformación de los organismos la encontramos ya en los filósofos presocráticos. Anaximandro pensó que los seres vivos proceden del fango, pues había observado fósiles marinos y residuos orgánicos petrificados donde ya no había agua. Jenófanes, muy próximo a él, afirmó que todos los seres humanos son destruidos en el instante en que la tierra es deglutida por el mar y se convierte en barro; después, se repite otro comienzo del ciclo y este cambio sucede para todos los mundos. “Todo procede de la tierra y todo vuelve a ella finalmente”, pues “tierra y agua es todo lo que nace y deviene”. Empédocles habló de partes orgánicas que se reúnen y ordenan, formando los cuerpos de los seres vivos. La Biblia, siguiendo al *Génesis*, predicaba la creación inmutable de las especies y esta fue la opinión aceptada de los cristianos. Sin embargo, en pleno siglo XIII, San Alberto Magno y Santo Tomás de Aquino admitieron cierta posibilidad de cambio y concepción de nuevas especies, como las originadas a partir de la llamada generación espontánea; algo que mucho después sostendrían algunos científicos franceses del siglo XVIII, como Maupertuis (1698-1759) y Buffon. Como hemos visto, este último aprobó la evolución de los fenómenos terrestres, pero no hizo lo mismo respecto de los seres vivos, los cuales se formarían gracias a las combinaciones surgidas entre la multitud de moléculas orgánicas.

Por aquel entonces, los individuos pertenecientes a los géneros animal y vegetal se analizaban desglosándolos en una larga cadena, a veces incompleta, y donde encontramos eslabones intermedios entre especies y géneros, por ejemplo, los llamados zoophytes, esos seres que parecen plantas y son insectos, o viceversa. Linneo (1707-1778) nunca fue partidario de mezclar unas y otros; para él las especies son fijas e inmutables, tal como defiende la ortodoxia cristiana (*Sistema naturae*). Mas, ¿cómo se producen unos seres a partir de otros? Y ¿han aparecido especies nuevas? Respondió a la primera cuestión mediante la vieja teoría del huevo: lista interminable de seres que se contienen unos en otros; semillas creadas en un principio y que aguardan tiempos mejores para germinar; teoría Preformacionista que tuvo su precedente en San Agustín y San Gregorio Nacianceno (s. IV) y que fue defendida mucho después por Cudworth, Leibniz y Malebranche; tesis conciliadora con los postulados creacionistas. Y opuestos a ellos, los que observaron al microscopio la legión de pequeñísimos peces encerrados en el licor espermático: los llamados animaculistas.

Maupertuis trató estos asuntos en su *Venus Física* (1745): “No os molestéis si os digo que habéis sido un gusano, un huevo o una especie de lodo”. Y trató la analogía

entre todos los seres vivos. El nacimiento sorprendente de un niño blanco de padres negros le sugirió la idea de un color común y único a todo el género humano y su transformación progresiva en los actuales. Pensó que ciertos caracteres adquiridos podían transmitirse a generaciones sucesivas, anticipándose a Lamarck, y especuló acerca de la variedad de las razas humanas, preguntándose cómo de una sola pareja habrían aparecido tantos y tan distintos rasgos.

Linneo contestó negativamente a aquella segunda cuestión: realmente, no se advertía la aparición de seres distintos a los ya existentes. Su clasificación taxonómica se ordenaba jerárquicamente, contemplando las diferencias y semejanzas entre individuos: reino, tipo, clase, orden, familia, género y especie. Cada espécimen sería denominado mediante su género y especie: había acuñado los términos de *descendencia común* y *divergencia gradual*.

Jean Baptiste de Monet, caballero de Lamarck (1744-1829) sí admitió la evolución de los seres orgánicos, distribuyéndolos y ordenándolos en una larga cadena, desde los más simples e insignificantes hasta los más complejos e inteligentes; el último eslabón correspondería a la especie humana. No obstante, estuvo equivocado en una cosa: pensar que los caracteres adquiridos en la lucha por la supervivencia y adaptación al medio se transmitían de padres a hijos.

La Teoría de la Evolución de Charles Darwin (1809-1882), como la de su homólogo Alfred Russel Wallace (1823-1913) supone una síntesis entre el concepto de *selección natural*, proporcionado por Malthus (*Ensayo sobre la población*), y los *Principios* de Lyell. En 1859 apareció *El origen de las especies*, fruto de la cantidad ingente de datos recogidos y analizados por Darwin a lo largo de muchos años de intenso trabajo, especialmente los transcurridos a bordo del Beagle, y de las aportaciones cedidas por el botánico Joseph Hooker y el zoólogo Thomas Huxley.

Darwin fue consciente de la diversidad de las especies y de las variaciones que estas mostraban, dependiendo de su hábitat. Comprobó los progresos conseguidos en la selección de animales y plantas en cautividad y los comparó con los cambios sufridos por especies sometidas a distintas condiciones y medios salvajes. Dedujo entonces que la evolución se produce muy rápida en el primer caso y lenta y difícil en el segundo. Las técnicas empleadas por los criadores y cuidadores de aquellos eran determinantes en la obtención de individuos con ciertas características, pero ¿qué ocurría en la naturaleza? ¿Qué factor motivaba el surgimiento de especies nuevas y la desaparición de otras? Aquí introdujo el concepto de selección natural, consecuencia de la lucha por el

alimento y el derecho a la procreación: la naturaleza permite la subsistencia de los más fuertes y mejor adaptados; estos, a su vez, consiguen reproducirse en mayor proporción y transmitir esas características propias a sus vástagos. Darwin no conocía las investigaciones de Mendel, por tanto todas sus hipótesis se apoyaron en la noción de selección natural.

En 1871 creyó que sus tesis podrían ser trasladadas al hombre (*La descendencia humana y la selección en relación al sexo*), lo cual originó furibundos ataques de sus adversarios y detractores. La Iglesia se vio tocada en su punto más delicado: ¿El hombre no había sido creado a imagen y semejanza de Dios? Cuando Darwin escribió acerca de estos temas no se habían descubierto aún fósiles de animales intermedios entre los simios y los humanos; hoy día conocemos a Lucy, el eslabón que nos faltaba.

Los cambios evolutivos pueden ser lineales (anagénesis), cuando nos referimos a las transformaciones sufridas por individuos de la misma especie. O divergentes (cladogénesis), si hablamos de las variaciones a las que da lugar un organismo primigenio. También debemos distinguir las *homologías* o rasgos semejantes que exhiben especies diferentes, en el caso de que posean un ancestro común. Y las *analogías*, parecidos surgidos al realizar actividades similares. Sin embargo, los paleontólogos han observado cierta discontinuidad en los fósiles hallados. ¿Se debe a la pérdida de estratos? ¿Cómo puede ser que la evolución transcurra a saltos? Respecto a esta cuestión, Theodosius Dobzhansky (*La genética y el origen de las especies*, 1937), Ernst Mayr y George Gaylord Simpson concibieron la *Teoría Sintética Moderna*, la cual relaciona el fenómeno evolutivo con la carga genética de los individuos: el cambio observado no sólo es externo, sino también interno: las especies cambian genéticamente; la selección natural es el término nuclear de su teoría. Tras ellos, y en contra del ultradarwinismo desarrollado por Richard Dawkins, encontramos a Niles Eldredge y Stephen Jay Gould, quienes han enunciado el *Principio del Equilibrio Pautado*: Los cambios morfológicos de los individuos aparecen únicamente en los momentos de especiación, ésta motivada por una situación de estrés ambiental o una catástrofe, las cuales amenazan la supervivencia de la especie. La evolución lineal filética, comentan estos autores, se da en dos niveles: 1) Genético: variaciones y sustituciones del material celular; aquí se sucede un cambio gradual. 2) Especiación: se producen alteraciones morfológicas. Y para que aquella ocurra es necesario el aislamiento reproductivo.

Eldredge y Gould han introducido el azar y la discontinuidad en el progresivismo de Darwin; la hipótesis del *Equilibrio Pautado* se enfrenta a conceptos como determinismo genético y evolución inevitable y coherente.

También, opuesta al ultradarwinismo de Dawkins, Lynn Margulis ha propuesto una teoría basada en el fenómeno de la *simbiosis*: cuando una célula procariota absorbe a otra de estas características; el resultado es la formación de un organismo eucariota; es decir, una célula con núcleo; ambas cargas genéticas se unen, como sucede cuando un virus infecta a una bacteria. La aparición de especies nuevas surgiría de esta manera. Bajo esta perspectiva, Margulis defiende las tesis que en su día propuso Lamarck: los rasgos adquiridos podrían formar parte del acervo genético y ser transmitidos a la prole.

En contra del papel predominante que el darwinismo ha otorgado al concepto de selección natural, Stuart Kauffman lo sustituye por las nociones de *anticaos o complejidad* y defiende la inevitabilidad de la formación de nuevas especies: hay series de genes interrelacionados que, a pesar de estar sujetos a mutaciones fortuitas, no evolucionan aleatoriamente, sino que tienden a converger hacia un número muy pequeño de patrones o atractores.

Asimismo, las hipótesis de Darwin han dado lugar a lo que Gerald Edelman denomina *Darwinismo neural*: la selección neuronal en el ámbito del cerebro.

#### BIBLIOGRAFÍA BÁSICA:

AYALA, Francisco J.: *La teoría de la evolución. De Darwin a los últimos avances de la genética*. Ed. Temas de Hoy, Madrid, 2001

BOWLER, P. J.: *Historia Fontana de la ciencias ambientales*. Fondo de Cultura Económica, México, 1998

HORGAN, John: *El fin de la ciencia*. Paidós, Barcelona, 1998

HULL, L.W. H.: *Historia y Filosofía de la Ciencia*. Ariel, Madrid, 1998

MASON, Stephen: *Historia de las ciencias*, vols. 3 y 4. Alianza Editorial, Madrid, 2001

#### BIBLIOGRAFÍA COMPLEMENTARIA:

GOMIS, Alberto: *La biología en el siglo XIX*. Historia Akal de la ciencia y la tecnología, vol. 43

PUIG–SAMPER, Miguel A.: *Darwinismo y antropología en el siglo XIX*. Historia Akal de la ciencia y la tecnología, vol. 49 (2001)

RUSE, Michael: *La revolución darwinista*. Alianza, Madrid, 1983

SÁNCHEZ RON, José M. : *El jardín de Newton*. Crítica, Barcelona, 2001

**TEMA 14:** *El desarrollo de la genética: Embriogénesis. Los experimentos de Mendel. Biología molecular e ingeniería genética. El genoma humano.*

A finales del siglo XVIII las cosas no parecían muy simples: la naturaleza era espléndida y no sabía nada de economías. Derrochaba en pruebas, ensayos y tanteos. Se le escapaba de vez en cuando algún individuo monstruoso o deforme, incluso mejor dotado que el resto de los de su especie. Precisaba miles de “gusanos espermáticos” para crear un sólo embrión. Los errores desaparecían, al igual que los infradotados o los inadaptados. El más fuerte se habría camino con violencia y sin compasión hacia los que dejaba atrás; la lucha por la vida y la supervivencia se hizo patente. Los científicos querían saber el mecanismo de la herencia, cómo se efectuaba la transmisión de los caracteres y rasgos peculiares, y qué motivaba la diversificación de las especies; aunque este último aspecto, en principio, quizá no tuviera nada que ver con los anteriores.

Desde tiempos muy remotos se habían propuesto varias hipótesis para explicar los fenómenos acerca de la procreación y descendencia. Aristóteles hablaba de *pangenesia* cuando intentaba responder al parecido entre padres e hijos; los medievales interpretaron de modo diverso la reproducción sexual: ovismo, animaculismo y de doble semilla; y muchos defendieron la generación espontánea.

La formación de nuevas especies de plantas y animales en invernaderos o granjas estaba relacionada directamente con la transmisión de los rasgos propios de los progenitores. Gregor Mendel, monje agustino nacido en Brno, trabajó en este sentido con distintas clases de guisantes; los escogió según su aspecto (fenotipo): semillas lisas o rugosas; tallos largos o cortos; flores amarillas o verdes, etc. Y anotó el resultado de los cruces: *Experimentos sobre la hibridación de las plantas* (1856-1866). Comprobó que existían factores que se mezclaban y otros que prevalecían sobre sus homólogos; experimentó con generaciones sucesivas de híbridos, concluyendo que los organismos contenían en sus células reproductoras caracteres o genotipos con diversos alelos, los



cuales se manifestaban o no, según el grado de predominancia de los mismos, pero que podían combinarse como si se trataran de unidades independientes y autónomas. Esto nos llevaría a introducirnos en el interior de las células reproductivas o gametos, para intentar descubrir el origen y fundamento de esos alelos.

No obstante, los descubrimientos de Mendel pasaron inadvertidos durante muchos años -entre otras cosas por la dificultad de resolver su origen embriológico - hasta que Hugo De Vries (gracias a la precisión de los microscopios) los utilizó para apoyar su *Teoría de las mutaciones*” (1901): sucesos mediante los que pretendía explicar el proceso evolutivo, relegando un poco la importancia de la selección natural. Afín a él encontramos a William Bateson; ambos se posicionaron en contra de los llamados *Biometristas*, como Karl Pearson, los cuales establecían que la causa desencadenante de la evolución se debía a una acumulación de factores y no a fenómenos singulares o *anormalidades*. En realidad, como se ha demostrado después, todos ellos tenían razón: la acumulación de pequeños cambios en la estructura del ADN puede provocar variaciones muy acusadas, así como las mutaciones surgidas en momentos de peligro o estrés ambiental, en los que la especie se ve amenazada.

A August Weismann (1834-1914) podemos considerarle el padre de la genética moderna. Distinguió dentro del huevo dos tipos de células: las que dan origen a los gametos (germoplasma) y son responsables de la herencia, y las que engendran el resto del cuerpo o soma; de este modo contradecía la hipótesis de Lamarck sobre la transmisión de los caracteres adquiridos. A partir de 1870 especularía acerca de si la fase reproductiva se efectuaba en el núcleo de la célula. Walter Flemming (1843-1905) distinguió en ésta una parte capaz de teñirse: la cromatina, y otra no: la acromatina. Durante la división celular los granos de cromatina se disponían en filamentos: los cromosomas. Así los llamó Wilhelm von Waldeger-Hartz en 1888. En 1902, W. S. Sutton y Theodor Boveri (1862-1915) descubrieron que los agentes encargados de transportar los rasgos hereditarios se hallaban en los cromosomas. Poco después, Carl Rabl (1853-1917) observó que los cromosomas persisten durante la división celular y Theodor Boveri puntualizó que la mitad de los cromosomas proceden del padre y la otra mitad de la madre. T. Montgomery averiguó el proceso completo de la meiosis y Wilhelm Johannsen (1857-1927) denominó Gen a esas partículas que supuestamente contienen los cromosomas y son responsables de la herencia, estableciendo la diferencia entre genotipo y fenotipo . Los experimentos llevados a cabo por el grupo de biólogos dirigidos por Thomas H. Morgan (1866-1945), en cepas de mosca *Drosophila*

Melanogaster, demostraron que los genes se encuentran alineados en los cromosomas, sufriendo con frecuencia mutaciones que ocasionan diversos cambios morfológicos. En 1922 fueron capaces de elaborar un mapa cromosómico en el que se indicaban las posiciones relativas de más de dos mil genes pertenecientes a esta mosca. Morgan pensó que los genes deberían ser grandes moléculas orgánicas, relacionadas por vínculos químicos u otras fuerzas organizadoras.

Pero todavía se desconocía la composición y estructura de los genes. En 1944, un grupo de genetistas, conjuntamente, observó que estos se encuentran sumergidos en ácido desoxirribonucleico (ADN); fueron Oswald Avery, Colin MacLeod y Maclyn McCarty. Por fin, en 1953 James Watson y Francis Crick desvelaron la secuencia del ADN (“Estructura molecular de los ácidos nucleicos: Una estructura para el ADN”); Rosalind Franklin, su densidad y dimensiones. Se trataba de una doble cadena de nucleótidos, cuya disposición determina las posibles combinaciones con veinte tipos distintos de aminoácidos. El ADN, por tanto, codifica la secuencia de todas las proteínas de las células; esto da lugar a las respectivas funciones y especialización de las mismas. Y los genes son segmentos de ese ADN. Al conjunto de genes lo llamamos genoma.

Todas las células de un mismo organismo contienen el mismo número de genes y todas las formas de vida poseen el mismo código genético, así se explican las semejanzas embriológicas entre distintas especies (filogenia). Los genes Hox, (descubiertos en la década de 1980), por ejemplo, controlan el desarrollo embrionario de todas las especies animales con simetría bilateral y actúan ordenadamente; aunque su número varía de unos organismos a otros. El ser humano tiene unos 30000 genes en el núcleo de cada célula, repartido entre los 23 pares de cromosomas; sus células son, por tanto, eucariotas. Los científicos han comprobado que no todo el ADN contiene genes; existe un porcentaje que, aparentemente no tiene ninguna utilidad y, lo que es más extraordinario, el hombre posee el mayor índice de ese ADN inservible: el 95% ¿Procede de intentos fallidos y mutaciones deletéreas? Estas surgirían de cambios producidos en la secuencia de nucleótidos, especialmente en el momento de la duplicación del ADN, en la fase reproductiva.

Compartir con otras especies el lenguaje genético permite, al menos teóricamente, su manipulación. Así, Rollin D. Hotchkiss, en 1965, fue el primer biólogo que habló de ingeniería genética al conseguir sustituir un segmento de ADN por otro perteneciente a un individuo diferente. Esto ha dado lugar a la formación de organismos

transgénicos. Médicos, genetistas y bioquímicos han advertido enseguida las oportunidades que se ofrecen a la ciencia: Sustitución de genes patógenos por otros sanos; introducción de segmentos de ADN en organismos diversos para lograr sintetizar determinadas proteínas, útiles al género humano; clonación de individuos; creación in vitro de tejidos y células madre; elección de sexo; etc.

La lectura íntegra del genoma humano (y el de otras especies) nos abre todo un mundo de posibilidades.

#### BIBLIOGRAFÍA BÁSICA:

CARDONA Lluís: *Genética. De Darwin al genoma humano*. Océano, Barcelona, 2002

AYALA, Francisco: *La teoría de la evolución. De Darwin a los últimos avances de la genética*. Temas de hoy, Madrid, 1991

SÁNCHEZ RON, José M.: *El jardín de Newton*. Crítica, Barcelona, 2001

#### BIBLIOGRAFÍA COMPLEMENTARIA:

KELLER, Evelyn Fox: *El siglo del gen*. Península. Barcelona, 2002

## **VII. EVALUACIÓN**

Esta asignatura es cuatrimestral, por tanto se evaluará mediante un examen realizado en una de las pruebas presenciales correspondientes. Constará de cuatro cuestiones relacionadas con el temario propuesto, cada una de las cuales será calificada con dos puntos y medio, sobre un total de diez puntos. Conviene que la exposición de los temas sea concisa y ordenada, sin caer en la mera enumeración de acontecimientos o líneas de pensamiento. Es muy importante que el alumno o alumna sepa elaborar un trabajo de síntesis, destacando el cambio progresivo de conceptos y teorías, así como las semejanzas y diferencias existentes entre las diversas tendencias y corrientes científicas.

## **VIII. HORARIO DE CONSULTA**

Dr. Eloy RADA GARCÍA

Dra. Piedad YUSTE LECIÑENA (pyuste@bec.uned.es)

Martes, de 10 a 14 y de 16 a 20 horas

Jueves, de 10 a 14 horas

Facultad de Filosofía. Edificio de Humanidades,

Tercera planta. Despacho 330

Paseo Senda del Rey, 7

Madrid 28040

Teléfono 91 398 6942

