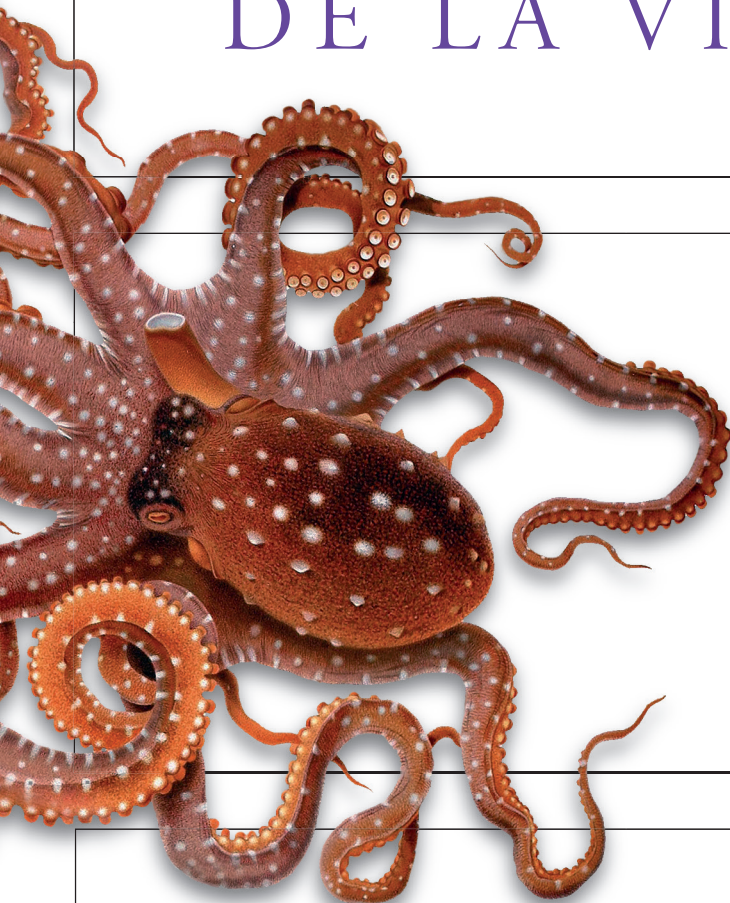


LOS SECRETOS DE LA VIDA



.....

Breve
historia
de la
biología

.....

JUAN FERNÁNDEZ
SANTARÉN



ÁGORA
CIENCIAS

JUAN FERNÁNDEZ SANTARÉN

LOS SECRETOS DE LA VIDA

Breve historia de la biología

CRÍTICA
BARCELONA

Primera edición: mayo de 2015

El secreto de la vida

Juan Fernández Santarén

No se permite la reproducción total o parcial de este libro, ni su incorporación a un sistema informático, ni su transmisión en cualquier forma o por cualquier medio, sea éste electrónico, mecánico, por fotocopia, por grabación u otros métodos, sin el permiso previo y por escrito del editor. La infracción de los derechos mencionados puede ser constitutiva de delito contra la propiedad intelectual (Art. 270 y siguientes del Código Penal)

Diríjase a CEDRO (Centro Español de Derechos Reprográficos) si necesita reproducir algún fragmento de esta obra.
Puede contactar con CEDRO a través de la web www.conlicencia.com o por teléfono en el 91 702 19 70 / 93 272 04 47

© Juan Fernández Santarén, 2015

De los créditos de las fotografías: Archivo del autor y AESA

© Editorial Planeta S. A., 2015
Av. Diagonal, 662-664, 08034 Barcelona (España)
Crítica es un sello editorial de Editorial Planeta, S. A.

editorial@ed-critica.es
www.ed-critica.es

ISBN: 978-84-9892-847-1
Depósito legal: B. 8288 - 2015
2015. Impreso y encuadernado en España por Limpergraf

ÍNDICE

Primera parte

LA APARICIÓN DE LA BIOLOGÍA

1. LOS PRIMEROS CONOCIMIENTOS DE LA NATURALEZA	9
La ciencia griega	10
Helenismo clásico	11
La escuela pitagórica	12
Los físicos pluralistas: Empédocles	13
El atomismo: Leucipo y Demócrito	14
Hipócrates y la doctrina de los cuatro humores	14
Platón	16
Aristóteles.	19
<i>Obras de Aristóteles sobre biología</i>	20
<i>¿Cómo desempeña cada sexo su función?</i>	24
<i>Consideración de la obra aristotélica</i>	25
Teofrasto y la botánica	26
2. DECLINAR Y CAÍDA DE LA CIENCIA ANTIGUA	31
Período helenístico	31
El comienzo de la ilustración científica de las plantas	32
Dioscórides y Plinio	32
Galeno.	33

LOS SECRETOS DE LA VIDA

La Edad Oscura	34
Biología bizantina	36
La ciencia árabe	37
Zoología y botánica	38
El siglo XII	39
Las universidades	39
El siglo XIII	40
Alberto Magno	41
Anatomía medieval	42
 3. EL RENACIMIENTO	 45
El naturalismo en el arte	45
El humanismo	47
La botánica alemana: Brunfels, Bock y Fuchs	48
El inventario del mundo vivo	49
Los comentaristas del naturalismo	51
Los enciclopedistas	52
La nueva anatomía: Andrés Vesalio	53
Los sucesores de Vesalio	54
William Harvey y la circulación de la sangre	55

Segunda parte

BIOLOGÍA MODERNA

4. LA REVOLUCIÓN CIENTÍFICA	61
El cambio del medievo al pensamiento moderno	61
Francis Bacon	62
René Descartes	63
Las primeras colecciones de plantas y animales	64
Los patronos de la ciencia	65
Las sociedades científicas	66

ÍNDICE

La aparición de las revistas científicas	67
Los primeros museos	68
La introducción del microscopio	69
Marcello Malpighi: el camino hacia la anatomía microscópica	71
Las técnicas de preparación	74
Nehemiah Grew	75
Un loco genial: Jan Swammerdam	75
Antony Van Leeuwenhoek: un curioso inteligente	77
El desarrollo de la microscopía	79
Robert Hooke	82
La influencia de los microscopistas clásicos	83
 5. SISTEMAS DE CLASIFICACIÓN	 89
Sistemática y taxonomía	89
Las primeras clasificaciones	89
Ausencia de sistemas en los primeros naturalistas	90
Los primeros intentos de una clasificación formal	92
Los hermanos Bauhin: la nomenclatura binomial	93
Joachim Jung	95
John Ray	96
Joseph Pitton de Tournefort	97
Karl Linneo	98
Los sucesores de Linneo	102
Las familias olvidadas	105
Formalización de las normas: los códigos	105
Sistemas modernos de clasificación	106
Taxonomía numérica: la búsqueda de la objetividad	107
Cladística	108
 6. LA APARICIÓN DE LOS MÉTODOS COMPARADOS	 111
John Hunter	114
La <i>Naturphilosophie</i>	114

Cuvier y la paleontología	116
La doctrina de las catástrofes	119
Richard Owen	119
 7. TEORÍAS EVOLUTIVAS	 121
Teoría geológica preevolucionista	121
Evolución	123
Los transformistas	125
El conde de Buffon	126
El caballero de Lamarck	128
Étienne Geoffroy Saint-Hilaire	131
Georges Cuvier y el fijismo	132
Charles Darwin: la evolución por selección natural	134
Neodarwinismo	143
Principios de la síntesis moderna	144
Teoría del equilibrio puntuado	144
Los relojes de la evolución	145
Duplicación génica	145
 8. LA TEORÍA CELULAR	 149
El siglo XIX: de la historia natural a la biología	149
Los prolegómenos de la teoría celular	150
Los primeros protagonistas: Schleiden, Schwann y Henle	151
Ampliaciones de la teoría celular	156
Los protozoos en relación con la teoría celular	157
El descubrimiento de la división celular	158
Las incógnitas de la célula	160
La entidad biológica de la célula	162
 9. LA ACTIVIDAD VITAL: EL NACIMIENTO DE LA FISIOLÓGÍA.	 167
La fisiología de Descartes	167
Van Helmont y el comienzo de la química fisiológica	168

ÍNDICE

La fisiología vegetal en el siglo XVII	170
Stahl y la disputa entre mecanicismo y vitalismo	171
Stephan Hales	172
Fisiología de la digestión	173
Albrecht von Haller	175
El equilibrio de la vida	177
Johannes Müller.	177
Karl Ludwig	178
Claude Bernard	179
La fisiología vegetal en el siglo XIX	180
El inicio de la bioquímica	181
Bioenergética	185
 10. EL PROBLEMA DE LA GENERACIÓN	 189
Francesco Redi	190
El enfrentamiento entre Needham y Spallanzani	192
Un genio polifacético: Louis Pasteur	195
La generación alternante	198
Generación espontánea y fenómenos morbosos	200
Primeras ideas de la infección	201
El comienzo de la microbiología	202
Inmunidad	206
Antibiosis y antibióticos	207
Virología	210
El virus del mosaico del tabaco	212
Los bacteriófagos	213
Origen de los virus	213
 11. DESARROLLO	 217
Los primeros embriólogos	217
Las cosas se complican	218
También los genios tienen sus límites	219

LOS SECRETOS DE LA VIDA

Un hombre modesto y silencioso: Wolff	220
Von Baer y la teoría de la capa germinal	221
Genética y desarrollo	223
Fisiología genética	224
Genética del desarrollo	225

Tercera parte

BIOLOGÍA MOLECULAR

12. LA TRANSMISIÓN DE LA INFORMACIÓN	229
Gregor Mendel	229
El núcleo y los cromosomas	233
Primeras nociones sobre proteínas: las «albúminas»	235
Los constituyentes de las proteínas: aminoácidos	236
El enlace peptídico	238
La naturaleza de los fermentos	238
El vitalismo	239
Naturaleza proteica de las enzimas	242
Oposición a la teoría enzimática	244
La teoría coloidal de las proteínas	246
Reconocimiento de las proteínas como macromoléculas ...	247
La Fundación Rockefeller y las técnicas	248
La cromatografía	249
La electroforesis	251
Los isótopos	252
La microscopía electrónica	252
La difracción de rayos X	254
Linus Pauling	255
Las fuerzas y los enlaces débiles	256
Astbury y Bernal	257
Max Ferdinand Perutz	258

ÍNDICE

La determinación de la estructura en hélice α y lámina β ..	259
Determinación de las primeras estructuras proteicas	261
Secuenciación de la insulina	263
 13. LA NATURALEZA DEL MATERIAL HEREDITARIO	 265
Miescher y la nucleína	265
Los ácidos nucleicos entran en escena	267
Phoebus Levene	269
La hipótesis del tetranucleótido	270
El redescubrimiento de Mendel	272
Thomas Morgan y la mosca del vinagre	273
Muller y los rayos X	274
La naturaleza del material hereditario	275
Un gen, una enzima	276
El grupo del fago	280
Salvador Luria y la genética bacteriana	282
El experimento de la batidora	284
Las reglas de Chargaff	285
La determinación de la estructura del DNA	286
Cambridge	289
Pasadena	292
La carrera por la estructura del DNA	292
La replicación del DNA	297
 14. EL DOGMA CENTRAL DE LA BIOLOGÍA	 299
George Gamow y el código del diamante	299
Linus Pauling y la anemia falciforme	301
El Club de la Corbata	302
El dogma central de la biología	303
El RNA de transferencia	304
El RNA mensajero	305
Un triplete sin comas	307

El desciframiento del código genético	308
El control genético: la hipótesis del operón	311
Los trasposones	314
15. LA REVOLUCIÓN GENÉTICA	317
El nacimiento de la ingeniería genética	318
El DNA recombinante	319
Primeros contratiempos: la reunión de Asilomar	321
La lectura y modificación del DNA	322
Anticuerpos monoclonales	323
16. LOS ATENTADOS CONTRA EL DOGMA	325
Genes fragmentados: el <i>splicing</i>	325
Los ribozimas y el mundo del RNA	327
El cáncer como motor del desarrollo de la biología molecular	328
El dogma se invierte: el RNA hace DNA	329
Oncogenes	331
Una nueva sorpresa: los priones	334
17. BIOTECNOLOGÍA	337
Ingeniería genética de plantas	337
Cultivos transgénicos	338
Ingeniería genética de animales	339
Secuenciación del DNA	341
<i>El método de Sanger</i>	341
<i>El método de Gilbert</i>	343
Secuenciación automática del DNA	343
El Proyecto Genoma Humano	344
<i>Los antecedentes</i>	344
<i>Los comienzos</i>	345
<i>La carrera</i>	350
<i>Después de la carrera</i>	352

ÍNDICE

El origen de la vida sobre la Tierra	354
Biología sintética	355
Creación de un genoma bacteriano.....	355
Creación de un cromosoma de levadura.....	355
Bacterias que sintetizan artemisinina.....	356
CRONOLOGÍA	359
BIBLIOGRAFÍA	375
ÍNDICE ANALÍTICO.....	379

LOS PRIMEROS CONOCIMIENTOS DE LA NATURALEZA

El desarrollo del pensamiento en las primeras etapas de la humanidad es un misterio, pero es lógico imaginar que desde que el hombre tuvo conciencia de sí mismo trató de atender primeramente sus necesidades materiales y es muy probable que el uso y la aplicación precedieran a cualquier tipo de operación intelectual que tendiera a explicar la realidad que le rodeaba.

Dos hechos fundamentales tuvieron que dirigir los primeros conocimientos biológicos del hombre. Por una parte su dependencia del medio; necesitaba de otros organismos para su nutrición. Por otra parte, sin duda le impresionó un hecho de observación diaria: la muerte que le daba idea de su limitación.

Debido a esa absoluta dependencia del medio, hemos de suponer también que en estas primeras etapas de la humanidad los hombres emplearon y trataron de conocer los distintos organismos vegetales que los rodeaban. De las plantas obtendrían alimentos, abrigo, material de construcción, etc. Para poder aprovecharse de ellos requería unos conocimientos botánicos más o menos rudimentarios y sabemos que, en el Neolítico, el hombre había adquirido la suficiente experiencia como para iniciar la agricultura, cultivando aquellas especies vegetales que le resultaban beneficiosas.

LA CIENCIA GRIEGA

De las primeras culturas que se desarrollaron en Mesopotamia, la más antigua que conocemos es la sumerio-acadia, aunque posiblemente existieran otras anteriores. Y de este mismo tronco procede la vida intelectual de Egipto, una sociedad con mentalidad tradicionalista y conservadora con gran dependencia de la religión.

Si bien los pueblos mencionados recopilaron cierta información biológica, todos ellos vivían en un mundo dominado por espíritus impredecibles en el que el hombre dirigió sus estudios hacia el conocimiento de lo sobrenatural. Los anatomistas, por ejemplo, diseccionaron animales, no para conocer su estructura interna sino para estudiar sus órganos como elementos de predicción del futuro. Con el nacimiento de la civilización griega estas actitudes comenzaron a cambiar. Alrededor de 600 a. C. surgió una escuela de filósofos griegos que pensaban que cada suceso tenía una causa y, contrariamente, que una determinada causa produce un determinado efecto. Estos filósofos asumieron la existencia de una «ley natural» que gobernaba el universo y que podía ser comprendida utilizando su capacidad de observación y de deducción. La mayor contribución de los griegos a la ciencia fue precisamente la idea del «pensamiento racional».

En la ciencia griega es posible diferenciar dos grandes etapas. Un primer período, designado como helenismo clásico, se extiende desde los comienzos del siglo VI a. C. hasta el final del siglo IV a. C. y en él se formaron los conceptos y se discutieron los principios. Esta etapa fue seguida del llamado período helenístico y romano, que cronológicamente ocupa desde comienzos del siglo III a. C. hasta el siglo V de nuestra era.

HELENISMO CLÁSICO

El comienzo de la ciencia griega vino marcado por la fundación de las escuelas jónicas. Sus pensadores fueron fraguando la idea de una nueva mentalidad científica y son normalmente agrupados bajo la denominación de presocráticos. Fueron los primeros en intentar dar una explicación racional del origen de la materia y sus transformaciones a partir de unos elementos primitivos.

Así, para Tales de Mileto (650-580 a. C.) el elemento primordial del cual proceden originalmente todas las cosas y que en su raíz permite el cambio era el agua. La ciencia había conseguido un punto de partida inédito. Era la primera proposición filosófica de la acostumbrada a llamarse civilización occidental.

Para Anaximandro (610-547 a. C.) también existió un solo principio pero este era abstracto, era el *apeiron*, un concepto difícil de definir con el cual identificó la causa material. Anaximandro propuso la primera aproximación al origen de la vida y la evolución con una peculiar teoría sobre la génesis del cosmos.

Para su discípulo Anaxímenes (590-524 a. C.) la sustancia primordial fue un elemento identificable como el aire. Anaxímenes usó la palabra *pneuma*, que además de denotar aire, también denota «aliento», una idea común a todas las civilizaciones del mundo antiguo.

Xenófanes (570-475 a. C) fue discípulo de Anaximandro y la búsqueda de un elemento único primitivo le condujo a la noción del Uno, abstracto, absoluto, que no podía ser conocido por medio de los sentidos, sino únicamente mediante la razón.

Creía en la génesis de los organismos vivos por condensación del barro. Señaló la presencia de fósiles marinos en lugares montañosos, declarando que este hecho constituía una prueba de que las montañas habían permanecido en otros tiempos bajo las aguas.

Finalmente para Heráclito de Éfeso (540-470 a. C.), que no perte-

nece a la escuela jónica, pero se encuentra enlazado a ella por su concepción monista, el elemento primero era el fuego.

LA ESCUELA PITAGÓRICA

A mediados del siglo VI el rey jónico Creso atacó al emperador persa Ciro en Capadocia, pero fue derrotado. Las ciudades griegas fueron cayendo una a una y se produjo una diáspora de pensadores hacia Occidente y la aparición de colonias griegas a lo largo de las costas de Sicilia y del sudeste italiano.

El temple filosófico de estos griegos «occidentales» fue diferente del de sus antecesores jónicos. Mientras estos últimos estaban interesados en lograr una comprensión intelectual de la naturaleza, «de las cosas que existen», los occidentales estuvieron más interesados en «salvar sus almas».

En Crotona, al sur de Italia, surgió la escuela de los pitagóricos que fueron los primeros en esbozar una teoría ajena al esquema monista de un elemento original. Introdujeron la pluralidad en el origen del ser y para ellos los números fueron los elementos constitutivos de la materia.

Filolao (470-380 a. C) afirmó que había cuatro órganos principales en el cuerpo humano correspondientes a las cuatro fases ascendentes de la vida. Común a todos los seres vivientes está la facultad reproductora; en los vegetales existe además la facultad de crecer; en los animales se añade una tercera facultad, la de sentir, y en el hombre una cuarta, la razón. De este modo, el hombre tiene órganos sexuales, sede de su facultad reproductora; ombligo, sede de su vida vegetativa; corazón, sede de la sensación, facultad que comparte con el resto del mundo animal, y cerebro, sede de la vida racional, específicamente humana.

Otro integrante de esta escuela fue Alcmeón de Crotona (500-450 a. C.), que disecó el cerebro, los nervios ópticos y los ojos. Para Alcmeón

la sede de las sensaciones era el cerebro, órgano que contiene la «facultad de gobernar». Esta fisiología cerebrocéntrica sería rebatida años después por la cardiocéntrica de Aristóteles.

LOS FÍSICOS PLURALISTAS: EMPÉDOCLES

Fundamental por la repercusión que tuvieron sus teorías en los conceptos anatómicos y fisiológicos que se sucedieron a lo largo de varios siglos fue la figura de Empédocles (492-435 a. C.), quien presentó los cuatro elementos o «raíces»: el fuego, el aire, el agua y la tierra, como las causas materiales primitivas y fundamentales. Sus combinaciones daban origen a todas las cosas y estaban regidas por dos fuerzas opuestas que Empédocles identificó con el amor (*philia*) y el odio (*neikos*). Nació así la llamada «concepción pluralista», que superaba el monismo de los jonios y de los eleáticos.

Los escritos de Empédocles esbozan uno de los sistemas fisiológicos más antiguos. Para él, tanto el hombre como el resto de organismos habrían surgido de la mezcla de los cuatro elementos; así resultarían la carne y la sangre, en tanto que los nervios estarían compuestos tan solo de tierra y fuego.

Empédocles desarrolló también una teoría de percepción sensorial. El pensamiento era una simple función fisiológica; la sangre, en la que se encontraban mezclados los cuatro elementos, era la residencia de la inteligencia. Cuanto mejor se mezclan los elementos de un individuo, mejor discurre.

Empédocles propuso finalmente un tipo de evolución por selección natural de formas vivas. Sugirió que las diversas partes y órganos del cuerpo se originaban independientemente unos de otros y solamente se unían más tarde mediante la acción de la fuerza de atracción del amor para formar los individuos completos. Estas uniones se realizaban al azar y lo mismo podían surgir seres viables que monstruos.

EL ATOMISMO: LEUCIPO Y DEMÓCRITO

En la segunda mitad del siglo V, Leucipo (c. ¿460?-370 a. C.) y Demócrito (c. 460-370 a. C.) marcan el final del movimiento de especulación física iniciado por Tales. El primero de ellos concibió el universo compuesto por multitud de partículas que se movían en un espacio vacío, mientras que Demócrito desarrolló esta idea postulando que toda materia está formada por unidades discontinuas: los átomos.

Demócrito concebía al cuerpo humano formado por átomos, entre los que se encontraban los átomos espirituales, que eran esféricos, muy pequeños y podían desplazarse con la máxima rapidez. Concentraciones de estos «átomos del alma» formaban la mente.

Sabemos también que Demócrito realizó disecciones y fue el primero en distinguir entre animales con sangre y animales sin sangre.

HIPÓCRATES Y LA DOCTRINA DE LOS CUATRO HUMORES

Alrededor del año 600 a. C. surgió una escuela médica en la isla de Cos. Es la primera institución científica de la que se tiene noticia y de la que han sobrevivido un número considerable de escritos. Es el llamado «corpus hipocrático» y consta de sesenta escritos médicos que datan del año 450 al 350 a. C. El miembro más destacado de la escuela fue Hipócrates (c. 460-370 a. C.), un racionalista que rechazó toda interferencia religiosa, mágica o supersticiosa en el dominio científico.

Existe un campo de la biología en el que trabajaron ampliamente, pero con resultados poco satisfactorios. Hablamos de la botánica. Las plantas fueron estudiadas por Hipócrates y sus contemporáneos, aunque solamente por sus aplicaciones médicas.

En relación con los escritos hipocráticos nos interesa su peculiar visión de la constitución del cuerpo humano.

Los antiguos suponían que toda la materia estaba constituida por los cuatro elementos esenciales: tierra, aire, fuego y agua. El fuego correspondía al corazón, el aire a los pulmones, el agua al hígado y la tierra al bazo. De ellos se pensaba que eran contrarios o aliados entre sí. Así, el agua era opuesta al fuego, pero aliada con la tierra. Esas oposiciones y afinidades estaban asociadas con la creencia de que cada elemento estaba compuesto por una pareja de «cualidades primarias», calor y frío, húmedo y seco.

En los trabajos hipocráticos todos los cuerpos vivos están constituidos por cuatro humores: sangre, bilis amarilla, bilis negra y flema en estrecha relación con los cuatro elementos. La salud dependía de la correcta proporción de la mezcla de los humores. Si alguno de ellos se encontraba en exceso el paciente sufría las consecuencias y las enfermedades se clasificaban como sanguíneas, coléricas, melancólicas o flemáticas.

A partir de esta correspondencia se ubicaba en cada una de las cuatro vísceras los cuatro humores: la sangre con el corazón, la bilis amarilla en el hígado, la bilis negra con el bazo y la flema con los pulmones.

Los hipocráticos describieron algunos de los nervios más importantes, pero en ocasiones los confundían con tendones y venas.

Sus ideas sobre el aparato circulatorio fueron muy vagas y existía el error de creer que la cavidad izquierda del corazón no contenía sangre sino aire que llegaba por las venas pulmonares. Las arterias contenían este aire caliente, o *pneuma*, que poseía una acción vital y lo distribuían por todas las partes del cuerpo.

En cuanto al cerebro, creían que segregaba agua y su función consistía en enfriar la sangre que llegaba a él. No obstante algunos hipocráticos, influidos notablemente por Demócrito, consideraron al cerebro como el centro del pensamiento, del sentimiento y de los movimientos. El cerebro también jugaba para los hipocráticos un gran papel en la fisiología de la reproducción. Cuando existían deseos compulsivos el cerebro producía un semen que bajando por la médula llegaba a los riñones y de allí pasaba a los órganos genitales. Admitían la presencia de semen tanto en el hombre como en la mujer.

Estos autores se ocuparon muy poco de la zoología en su sentido estricto, pues su interés era casi exclusivamente médico. No obstante, en el tratado *De la dieta* se enumeran 52 especies de animales.

El conocimiento de las especies vegetales y sus propiedades medicinales era una necesidad farmacológica. Para los hipocráticos, las plantas se desarrollaban debido a los humores del suelo y cada una necesitaba un tipo de humor distinto.

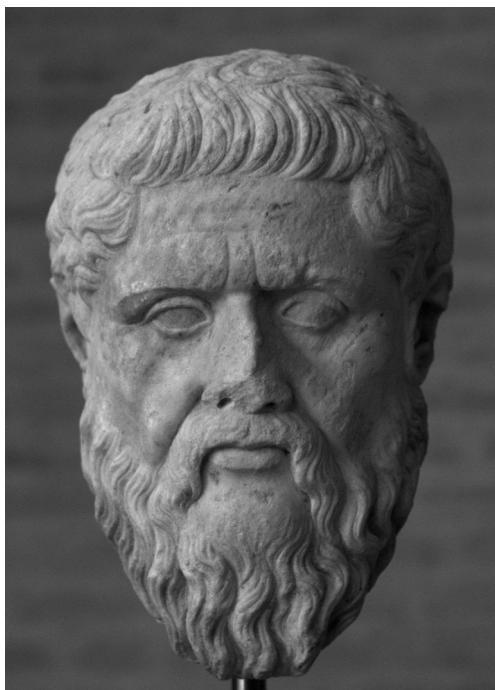
PLATÓN

Platón (c. 428-347 a. C.) fundó en Atenas una escuela de filosofía, la Academia, que dirigió durante cuatro lustros.

A diferencia de los naturalistas jónicos, Platón despreciaba las tareas prácticas y en lugar de considerar la ciencia como un hacer, la consideró como un pensar. De esta idea surgió la filosofía idealista, que constituye la antítesis de la ciencia natural. Y los intelectuales griegos cometieron el error de inspirarse en Platón en lugar de seguir el camino que había trazado Hipócrates.

Respecto a las ciencias de la vida Platón abordó en su obra el *Timeo* la génesis de las cosas. Nos dice que, una vez creado el mundo, la siguiente tarea del creador fue poblarlo de criaturas vivas. Pensó en cuatro grupos correspondientes a las cuatro raíces de antaño. Al ámbito del fuego corresponden los dioses, al del aire las aves, al de la tierra los animales terrícolas y al del agua los peces. Sin embargo, el Demiurgo también creó «el linaje divino de los dioses» a quienes les encargó expresamente la tarea de dar forma al resto de la creación animada, reservándose para sí el privilegio de sembrar la semilla divina en las mentes de los hombres mortales. Siguiendo el mandato, los dioses menores moldearon a la humanidad.

Para empezar construyeron un receptáculo para albergar la chispa divina otorgada por el creador. Decidieron construirlo con forma esfé-



Platón (c. 427 a. C.-347 a. C.).

rica y así fue cómo se diseñó la cabeza. Para evitar que esta se precipitase por «los lugares de la tierra», construyeron el resto del cuerpo.

Una vez incorporada la chispa divina a la cabeza, los dioses menores insuflaron al resto del cuerpo un alma de naturaleza diferente, un alma mortal «sometida a terribles e irresistibles afectos». Sin embargo, al moldear esta alma menor sujeta a las tentaciones tuvieron la precaución de aislarla de la inteligencia divina ya enclavada en la cabeza. Para ello construyeron el cuello que, según sus cálculos, impediría que aquella llegara a la cabeza y subyugara a la mente. Además, el alma inferior era binaria, constaba de una parte mejor y otra peor. Los dioses trazaron por tanto un diafragma en el tronco confinando la parte «más noble» del alma mortal —la «dotada de coraje y pasión»— en el tórax de modo que conservara la posibilidad de entablar cierta comunicación

con la cabeza. La parte del alma menos noble quedó aislada por debajo del diafragma en la cavidad abdominal.

De este modo el corazón y los grandes recipientes sanguíneos quedaron localizados en el tórax bajo las órdenes del alma «guerrera». Cuando el alma cefálica lo ordenaba, el mensaje era transmitido alrededor de todo el cuerpo. Más aún, como los dioses sabían que los males procedentes del exterior provocarían que el corazón latiera con fuerza, lo rodearon con los pulmones.

El alma inferior se encontraba, según *Timeo*, «encerrada como un animal salvaje» en la región que se extiende entre el diafragma y el ombligo. Allí podía alimentarse. Sin embargo, esta alma era ingobernable y no atendía a razones. Así pues, para que las partes superiores del alma pudieran ejercer algún control, los dioses diseñaron el hígado y lo colocaron en esta cámara inferior del cuerpo. El guardián cerebral podía controlar el hígado haciéndole arrugarse en ocasiones, retorciendo sus lóbulos y «produciendo dolor y repugnancia», asustando así al alma inferior y provocando su sometimiento.

Timeo también explica cuál es el punto donde las almas y el cuerpo se unen: la médula. La parte de la médula que iba a recibir el alma inmortal tenía forma esférica y era el cerebro. El resto, destinado a recibir el alma mortal, estaba construido en forma cilíndrica.

La fisiología del *Timeo* atribuyó el poder de iniciación del movimiento a los tendones en detrimento de los músculos. Esta teoría tuvo una larga vida, y hubo que esperar hasta 1660 para que Nicolás Steno (1638-1686) la refutase.

Donde mejor se encuentra expresado el carácter teleológico de la biología de Platón es en su concepción del origen de las especies, en la que habla de unos seres vivos que luchan por llegar a la perfección. Los que fracasan son debidamente castigados.

Los dioses jóvenes se dieron cuenta de que el hombre necesitaría alimento. En consecuencia crearon el reino vegetal. El origen de los diversos animales existentes queda explicado en el contexto de la me-

tempsicosis, doctrina fuertemente defendida por los pitagóricos. Así, pues, leemos que «de los hombres que vienen al mundo, los cobardes o los que se conducen mal durante sus vidas tienen razones para esperar convertirse en mujeres en la segunda generación ...»; y más adelante leemos que «la raza de las aves fue creada a partir de hombres ingenuos». Los cuadrúpedos surgieron de hombres que carecían de filosofía alguna en su pensamiento. Pero el destino peor, reservado para aquellos cuya ignorancia e insensatez era total consistía en convertirse en un animal acuático.

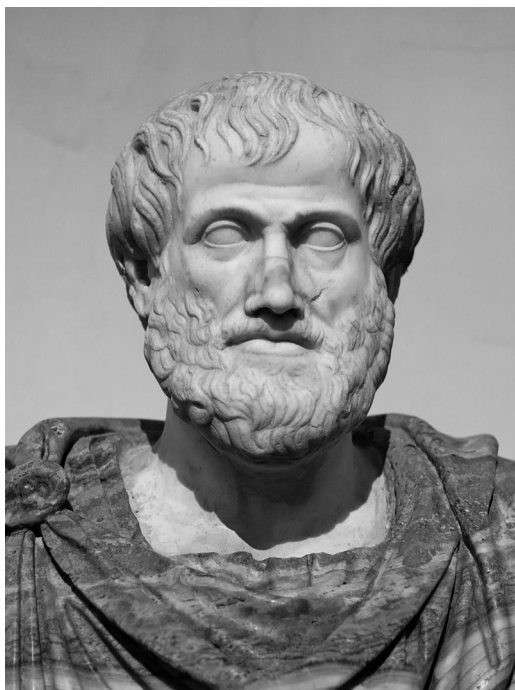
ARISTÓTELES

Aristóteles (c. 384-322 a. C.) nació en la ciudad griega de Estagira. A los diecisiete años ingresó en la Academia de Platón y a la muerte de este abandonó Atenas para residir en el pequeño estado de Mitilene, donde escribió la mayor parte de su obra zoológica. Desde entonces, sin abandonar su sistema lógico, reconoció que en toda investigación científica la base esencial es la observación metódica. Esta concepción, que más tarde fue desarrollada por sus discípulos, cayó luego en el olvido y no volvió a reaparecer hasta el Renacimiento.

En el año 336 Aristóteles regresó a Atenas y fundó su propia escuela: el Liceo.

En la obra de Aristóteles se distinguen tres fases. En el primer período, cuando era todavía miembro de la Academia, escribió diálogos socráticos al estilo de Platón. En la segunda época, tras la muerte de su maestro, se interesó por el problema de cómo la mente llega al conocimiento de la materia. En su tercer y último período se dedicó a la investigación, principalmente en el campo de la biología, donde cosechó unos resultados sin precedentes.

Aristóteles abarcó todo el conocimiento humano con un nivel de éxito que no había tenido parangón antes ni lo tuvo después. Con una



Aristóteles (384 a. C.-322 a. C.).

alta capacidad de observación y gran habilidad de juicio creó un sistema del mundo rigurosamente articulado que nadie pudo romper hasta la revolución científica del siglo XVII. Ningún pensador ha tenido tanta influencia en la historia de la humanidad.

Obras de Aristóteles sobre biología

Sus tratados están escritos a base de preguntas y respuestas. Por primera vez encontramos una terminología fija y un sistema de exposición que podríamos denominar científico, con una sistematización de conocimientos.

El corpus biológico de Aristóteles consta de las siguientes obras:

1) *Historia animalium* o *Investigación sobre los animales*

El objetivo de Aristóteles en esta obra fue exponer las diferencias de estructura del mundo animal para, de esta manera, proponer un cuadro general en el que disponer los seres vivos en una escala que va del ser humano, considerado el más complejo, a los organismos inferiores. Hizo de la anatomía comparada uno de los ejes fundamentales de su análisis aunque no avanzó una taxonomía completa ni universal.

Aristóteles no hizo ninguna clasificación formal del reino animal pero en sus trabajos encontramos muchos términos empleados de una manera que sugiere que debieron de utilizarse con fines clasificatorios. Nombra más de 500 especies de animales, muchas agudamente descritas tras haber sido diseccionadas con destreza. Traza una serie de dicotomías y trabaja con las nociones de *génos* y *eidos*, «género» y «especie» con un valor no demasiado exacto ni preciso siempre. Examinándolos es posible ordenar la disposición de los animales de una manera razonable acorde con lo que debió de ser su esquema:

1. Los animales más perfectos —calientes y húmedos— paren sus crías totalmente acabadas (vivíparos).
2. Los animales fríos y húmedos son externamente vivíparos pero ovíparos en su interior (peces cartilaginosos y víboras).
3. Los animales calientes y secos ya no paren un animal sino que ponen un huevo, pero por lo menos un huevo acabado (aves y reptiles).
4. Los animales fríos y secos ponen un huevo imperfecto (peces, crustáceos, cefalópodos).
5. Los animales más fríos de todos no producen ni siquiera un huevo sino una larva (insectos).

Aristóteles estuvo muy interesado en el problema de cómo surgen las criaturas y en su trabajo existe una magnífica descripción del desarrollo del pulpo y de la sepia, por ejemplo.

Fue capaz de separar los cetáceos, es decir el grupo de animales que incluye a las ballenas, los delfines y las marsopas, de los peces para colocarlos con los otros mamíferos; fue casi el único autor que hizo esto durante unos dos mil años.

Y existen ciertas observaciones que merecen la atención. Aristóteles sabía bien que los peces difieren de los mamíferos por ser *ovíparos*, es decir, que traen sus crías como huevos y no como criaturas con movimiento independiente. Pero también conocía que existe un grupo de peces, en los que algunas de las crías son traídas en estado vivo. A este grupo lo denominó seláceos. Hubo que esperar hasta mediados del siglo XIX, para que el naturalista alemán Johannes Müller (1801-1858) demostrara que Aristóteles tenía razón en su descripción, ya que en efecto existen algunos seláceos que, en cierto sentido, recuerdan a los mamíferos.

Al describir las partes principales del cuerpo humano Aristóteles postuló que el corazón es el órgano del alma y de la inteligencia y que late por causa de la ebullición regular de la sangre. El cerebro sirve únicamente para enfriar la sangre.

2) *Partes de los animales*

La obra es un manual de anatomía comparada que estudia las partes de los animales desde un punto de vista finalista. En este sentido es un tratado complementario del que acabamos de citar.

3) *Sobre el alma*

Este tratado pertenece al campo de la psicología pero Aristóteles no separó esta disciplina de la biología. Alma y cuerpo son los dos aspectos complementarios del ser vivo, que se corresponden con forma y materia, respectivamente.

Buscando un término para el principio que diferencia las sustancias vivas de las que no lo son, Aristóteles eligió la palabra *psyche* (alma, espíritu, mente). Llegó a la conclusión de que existen tres tipos u órde-

nes de *psyches* o almas. La más inferior era el alma vegetativa, que determina la nutrición y la reproducción. Este tipo de alma es propia y exclusiva de las plantas. Los animales tienen un alma sensitiva que además de determinar las funciones vegetativas determina la sensibilidad y la motilidad. Finalmente, el hombre posee un alma racional e intelectual que presenta esta nueva propiedad además de reunir todas las anteriores.

4) *Parva naturalia*

Se trata de una serie de escritos breves, abordando dos de ellos cuestiones puramente biológicas: *Acerca de la longevidad y la brevedad de la vida* y *Acerca de la juventud y la vejez, de la vida y de la muerte y de la respiración*.

5) *Sobre el movimiento de los animales*

En esta obra estudió el movimiento de los animales en un sentido global, que no implica solamente traslación, sino también cambio cualitativo y cuantitativo.

Para Aristóteles, «las cosas naturales» poseen dentro de sí, como característica definitoria, un principio capaz de iniciar movimiento. Y hay seis tipos de movimiento: generación y destrucción, incremento y disminución, alteración y cambio de lugar.

¿Cómo hace el alma que se mueva el cuerpo? Aristóteles en su análisis dice que los lados derecho e izquierdo son simétricos y pueden ser movidos simultáneamente. Es, pues, absurdo suponer que el lado izquierdo active el lado derecho, o viceversa. El motor debe encontrarse en el centro. Algo similar sucede con las mitades superior e inferior del cuerpo: en consecuencia, el motor no solamente debe hallarse en la línea media sino en un punto central del cuerpo. Aquí Aristóteles se pone de parte de Empédocles en la polémica contra Alcmeón y Platón, considerando al corazón como centro psicológico del cuerpo.

6) *Reproducción de los animales*

Es la culminación de la obra biológica de Aristóteles. En ella explicó el origen de los seres vivos mediante las parejas materia-forma y potencia-acto. El mismo análisis de las cuatro causas aristotélicas (material, formal, eficiente y final) que conducen al conocimiento de cualquier estructura se utiliza para explicar la génesis de un animal.

¿Cómo desempeña cada sexo su función?

El macho y la hembra tienen unas secreciones con una finalidad generadora: el esperma y las menstruaciones, respectivamente. Aristóteles consideró que en ambos casos se trata de sobrante del alimento y son definidos como residuos útiles. El alimento que entra en el cuerpo del animal es elaborado por un proceso de «cocción» y convertido en sangre, que se distribuye a todas las partes del cuerpo. El macho, al tener un mayor grado de calor corporal, es capaz de someter a una cocción más perfecta a una parte de la sangre y convertirla en esperma. En cambio la hembra, más fría, no puede llevar a cabo este segundo nivel de cocción, por lo que su residuo se mantiene como sangre.

El problema del origen y la naturaleza del semen, el «debate seminal» del siglo V a. C. condujo a tres explicaciones diferentes: Acmeón lo hizo derivar del cerebro y la médula espinal; para Anaxágoras, Demócrito y algunos hipocráticos el esperma procedía de todas las partes del cuerpo; y Aristóteles consideró que el esperma es sangre.

Aristóteles planteó también claramente el problema de la formación del embrión: o se forman todas las partes al mismo tiempo o se forman unas después de otras. Esta discusión dividiría durante siglos a los científicos en preformacionistas y epigenistas en el intento por dar solución a este problema.

La teoría de la preformación sostiene que el embrión se desarrolla a partir de una semilla que es como un individuo minúsculo, pero total-

mente formado. Estrechamente vinculada a esta encontramos la teoría de la pangénesis que Aristóteles refutó punto por punto, según la cual el semen procede de todo el cuerpo. Estas dos teorías suponen que las partes del futuro ser tienen que hallarse ya presentes desde el principio. Aristóteles se manifestó en contra, y afirmó que las partes del embrión se desarrollan una después de otra gracias al movimiento del esperma y que no existe nada presente en el semen como algo acabado desde el principio. El esperma va dando forma a la materia paulatinamente, y genera una serie de cambios sucesivos. Esta teoría de la formación gradual del embrión es la que cristalizó en el término epigénesis, dado por William Harvey en el siglo XVII.

Para Aristóteles el *pneuma* (un quinto elemento análogo al éter que añadió a los cuatro de Empédocles) era la herramienta indispensable del esperma para transmitir el alma a la materia. En Aristóteles *pneuma* es sinónimo de calor vital y la sede de este calor es el corazón. Este órgano es el primero que se desarrolla en el embrión porque es como un recipiente donde se forma la sangre, portadora del *pneuma*, que se distribuye a todas las partes del cuerpo.

Aristóteles admitió la generación espontánea a partir de materias putrefactas y los animales que se generan de esta forma proceden del lodo, arena y productos en descomposición. La función que en los animales realiza el calor interno aquí la lleva a cabo el calor del sol, que cuece y da forma a la materia.

Consideración de la obra aristotélica

Dos cosas hay que admirar fundamentalmente: la amplitud de su obra y la coherencia de su construcción lógica. Aunque Aristóteles no elaboró una terminología científica propia ni ofreció una exposición sistemática completa, sus obras de biología y zoología abrieron un nuevo camino científico. Sus aportaciones terminológicas, aunque contadas, son fun-

damentales. Como por ejemplo la distinción entre vertebrados e invertebrados, es decir, seres «sanguíneos» frente a «carentes de sangre».

La obra de Aristóteles influyó ampliamente en la tradición posterior y en muchos aspectos no fue superada hasta el siglo XVII —con Harvey— y algunas de sus observaciones fueron confirmadas en pleno siglo XIX gracias al uso del microscopio y unos medios de experimentación que él no había soñado.

Aristóteles rechazó cualquier aproximación a la selección natural y buscó explicaciones teleológicas para cualquier observación. A pesar de todo a él se le deben muchos principios científicos de gran trascendencia: (1) el principio de la adaptación al medio, tanto en la estructura como en la función, lo definió a través de ejemplos tomados de las aves; (2) respecto a la clasificación de los animales, rechazó la idea de dividirlos exclusivamente por sus estructuras externas y en su lugar reconoció un plan básico estructural entre los diversos organismos, lo que representa una idea conceptualmente importante dentro de la biología; (3) Aristóteles instauró los principios que constituyen la base de la anatomía comparada; (4) el conocimiento de los hábitos de una gran cantidad de animales, lo que hoy en día representa la etología, está claramente reflejado en los escritos aristotélicos.

No nos ha llegado hasta nosotros ningún tratado botánico de Aristóteles. Sin embargo disponemos de los de su discípulo y sucesor en la dirección del Liceo, Teofrasto.

TEOFRASTO Y LA BOTÁNICA

Entre los discípulos de Aristóteles destaca Teofrasto de Eraso (c. 371-287 a. C.), quien acudió a la escuela de Platón y posteriormente se trasladó al Liceo.