

carrera docente

Del Big Bang al Homo sapiens

Una aproximación al proceso evolutivo

María Cristina Di Sarli

Colección dirigida por *Susana Pironio*


AIQUE

Índice general

Capítulo 1: Presentación: "Y en el principio fue..."	13
Antes de Darwin, después de Darwin	16
El hombre y su evolución.....	18
Notas	22
Capítulo 2: El <i>Big Bang</i> o la gran explosión inicial.....	25
La explosión en síntesis.....	25
El efecto Doppler y la ayuda del ferrocarril.....	28
Algunas aclaraciones acerca de las teorías.....	31
El <i>Big Crunch</i> o un final posible para la expansión indefinida.....	33
Notas	35
Capítulo 3: El origen de la vida: principales teorías	39
La Tierra y sus comienzos.....	40
El problema del origen de la vida	42
La vida y sus comienzos	44
El "caldo primitivo" y una primera forma de selección natural	47
Notas	50
Capítulo 4: Las teorías de la evolución antes de Darwin	51
Las primeras clasificaciones	51
Fijismo y transformismo	52
El "Lamarckismo"	55
El pensamiento evolucionista	57
Notas	61
Capítulo 5: La selección natural según Darwin.....	65
El viaje del <i>Beagle</i>	65
La teoría de la selección natural.....	69

Herencia y evolución.....	73
El neo-darwinismo y los avances de la genética.....	75
¿Azar o necesidad?.....	78
Notas	80
Capítulo 6: La evolución de la vida sobre la Tierra.....	83
Selección y aislamiento reproductivo.....	83
La "biodiversidad" y su evolución.....	86
La historia evolutiva de la vida.....	91
Las pruebas de la evolución.....	95
Algunas hipótesis alternativas.....	98
Notas	101
Capítulo 7: El lugar del hombre en el proceso evolutivo.....	105
El "eslabón perdido".....	105
Darwin y el origen del hombre.....	107
Más eslabones perdidos.....	110
Entender, fabricar, caminar.....	111
Identidad bioquímica del hombre.....	113
Notas	116
Capítulo 8: Primates en general, homínidos en particular	119
¿Qué significa ser un primate?	119
¿Qué significa ser un homínido?	123
Nuestros parientes más cercanos: los australopitécinos.....	128
Hacia el linaje humano.....	130
Notas	132
Capítulo 9: Aparición y difusión del género <i>Homo</i>.....	135
Los adelantos de <i>Homo erectus</i>	136
En camino hacia los hombres sabios.....	139
Nuevas evidencias para nuevos árboles.....	143
Notas	146
Capítulo 10: Del <i>Big Bang</i> al <i>Homo sapiens</i>: ¿un camino inevitable? ..	149
Origen de los humanos modernos:	
dos visiones contrapuestas	149
El poblamiento de América y Oceanía.....	151
Genes y cultura: distintos códigos para nuestra herencia ..	153
Palabras finales.....	156
Notas	158
Bibliografía	161
Índice temático alfabético.....	165

Capítulo 1

Presentación: "Y en el principio fue..."

"Al principio creó Dios el Cielo y la Tierra..La Tierra era un caos informe: sobre la faz del abismo, la tiniebla. Y el aliento de Dios se cernía sobre la faz de las aguas... Dijo Dios: 'Que exista la luz'. Y la luz existió". (*Génesis 1,1-3*)

Quizás las palabras bíblicas resulten familiares, pero existen muchos otros relatos, más o menos similares a este, que muestran la constante preocupación de la humanidad por indagar acerca de sus orígenes y elaborar historias explicativas en las cuales creer y que pudiesen ser transmitidas a sus descendientes. Así encontramos multitud de culturas, pueblos y lenguas, con sus particulares relatos cosmogónicos, es decir, del origen del mundo y de sí mismos.

Alrededor de 3000 años antes de Cristo, un pueblo de origen desconocido: los súmeros, se instaló en la Baja Mesopotamia, una región comprendida entre los ríos Eufrates y Tigris, a orillas del Golfo Pérsico. Escribían en unas tablillas de barro con unas especies de cuñas o clavos; es por eso que su escritura se llamó *cuneiforme*. La ciudad de Babilonia fue su centro hacia el 2000 a.C. Para ese entonces otro pueblo semita se había instalado en la región: los acadios, y con ellos su lengua. De Babilonia llegan entonces esas tablillas escritas con bellos poemas, textos rituales y hazñas de guerra, en sumero o en acádico.

Siempre están presentes en estos relatos, grandes batallas de dioses del mal y del bien que generalmente terminan con la creación del Universo. En el llamado "Poema babilónico de la Creación" o Enuma elish, se narra primero la creación de los dioses:

"Cuando arriba el cielo no tenía nombre, cuando abajo la Tierra no había recibido nombre, fue el inicial el que los engendró, la original Tiamat quien los dio a luz a todos... Cuando

ninguno de los dioses había aparecido, los dioses fueron entonces creados en su seno".¹

Luego de formar todas las divinidades, otro dios, Marduk, vence a Tiamat y con su cuerpo forma el Universo. Pero Marduk no se conforma con eso, y decide crear la humanidad:

Según se lee en el poema, siente ganas de hacer algo ingenioso, y dice:

"Quiero coagular la sangre y hacer que sea hueso; quiero formar a los hombres, que ellos se encarguen de la tarea de los dioses, y que estos descansen".²

Existen versiones americanas de relatos cosmogónicos, como la del texto llamado *Popol Vuh*, en el que se recogen las historias del pueblo maya quiché. Según éste, los dioses se reunieron y conferenciaron, disponiendo que la Tierra fuese creada:

"Esta es la relación de cómo todo estaba en suspenso, todo en calma, en silencio; todo inmóvil, callado, y vacía la extensión del cielo. (...) No había todavía un hombre, ni un animal, pájaros, peces, cangrejos, árboles, piedras, cuevas, barrancas, hierbas ni bosques: sólo el cielo existía. No se manifestaba la faz de la tierra. Sólo estaban el mar en calma y el cielo en toda su extensión." Pero los dioses decidieron completar este vacío, y dijeron: ¡Hágase así! ¡Que se llene el vacío! (...) ¡Que surja la tierra y que se afirmen!"⁴

Y de esta manera crearon la tierra, aunque decidieron que no habría gloria ni grandeza completa mientras no fuese creado el hombre. Se suceden sin embargo, varios intentos frustrados por crearlo. En el primero se da vida a los animales, pero se comprende enseguida que no poseen la palabra para poder agradecer a sus creadores el hecho de haberles dado la vida; se prueba entonces con el barro y con la madera. Finalmente se llega a la creación definitiva y exitosa, de maíz blanco y maíz amarillo. Pero tan excelentes y tan sabios fueron estos primeros hombres, que los dioses pronto los empezaron a ver con recelo, de modo que decidieron empañarles los ojos para que sólo pudieran ver lo que estaba cerca. En todos los casos, las mujeres son creadas después, en general, durante el sueño de los hombres.

Es interesante señalar que en todos estos mitos o relatos, el hombre aparece casi como una necesidad del universo, para trabajar por los dioses, o para alabarlos. Cuando esto no sucede, o cuando la perfección es excesiva, se pierde la situación original de privilegio, y como en la expulsión del paraíso bíblico, el hombre se ve obligado a llevar una vida de trabajo, esfuerzo y sufrimiento. Es así como además de proporcionar una explicación del origen del mundo, ofrecen un marco de contención a las angustias cotidianas que han sentido los hombres en todo tiempo y lugar.

La ciencia también ofrece una explicación de los orígenes del mundo y quizás sirva igualmente para calmar las angustias cotidianas. En este caso la llamamos *teoría*, y es aceptada por la mayoría de los científicos de este siglo: el universo en su conjunto, era en un comienzo sólo una esfera, un punto, extraordinariamente pequeño, denso y caliente. Esa esfera estalló en una violentísima explosión llamada *Big Bang*. La teoría explica que el universo continúa su expansión a causa de ese estallido originario, de modo tal que todas las galaxias surgidas de la explosión se van alejando entre sí. Ahora bien; en ese primer momento la materia sólo existía en forma de partículas subatómicas, que luego fueron agrupándose en átomos y moléculas. Otras teorías, como las de Oparin-Haldane, explican estos sucesos, en los cuales, partiendo de sustancias inorgánicas y después de miles de millones de años, y de un adecuado enfriamiento paulatino de la Tierra, se llega a las condiciones propicias para la aparición de la vida.⁵

Pero a esta altura de la explicación científica podríamos preguntarnos cuáles fueron los procesos que condujeron al universo desde ese *Big Bang* inicial, a través de distintas formas de vida, vegetales y animales, sobrevivientes o extinguidas, hasta el *Homo sapiens* de nuestro tiempo. La ciencia también tiene respuestas actuales para estos interrogantes, y son las teorías de la evolución de las especies, enunciadas por naturalistas y pensadores de siglos anteriores, uno de cuyos exponentes más conspicuos fue, sin duda, Charles Darwin, y modificadas en el siglo XX a la luz de los conocimientos aportados por la genética y la biología molecular.

La evolución es uno de los problemas fundamentales, y hasta podríamos decir que es el gran tema de la biología. Es aquello por lo cual los seres vivos no permanecen inalterables de generación en generación, sino que modifican en mayor o menor medida sus características hasta hacerse diferentes de sus antepasados. Es el resultado de dos tendencias que podríamos ver como opuestas; por una de ellas, los organismos tienden a permanecer más o menos invariables manifestando una cierta continuidad de padres a hijos. Por la otra, los mismos organismos tienden también a modificar ciertas estructuras y crear otras nuevas; así, hay una diversidad de

plantas y animales que no aparecieron simultáneamente en nuestro planeta sino a través de millones de años. Se extinguieron algunos y aparecieron otros nuevos, pero siempre mostrando esa doble tendencia: permanecer inalterado o cambiar.

Para explicar la existencia de estas fuerzas necesitamos de los aportes de muchas ciencias. Un biólogo⁶ dijo una vez que la evolución es algo así como una obra teatral, como un drama que se desarrolla en ese gran teatro ecológico que es la Tierra; porque ese interjuego de fuerzas de las que hablábamos se despliega en el marco de la complicada interacción de los organismos entre sí y con su ambiente. Podemos adelantar desde ya, que el libreto de ese drama evolutivo está escrito en el código de una molécula fundamental para la vida: el ADN, que se encuentra principalmente en el núcleo de cada una de las células de cada uno de los seres vivos que pueblan nuestro planeta. Es por eso que la ecología, la genética y la biología molecular son puntos de partida diferentes que convergen en el mismo tema.

Ahora bien, retomando la comparación, ¿puede el código leerse siempre de igual manera y sin variantes? ¿Puede decodificarse el texto de manera diferente y hacer progresar el drama hacia un final inesperado? ¿Pueden cambiar las condiciones del teatro obligando a los actores a cambiar el texto? Hubo muchas hipótesis para responder a estas preguntas a lo largo de la historia de la biología y también las hay hoy en día. Lo que no admite dudas es que el fenómeno evolutivo existe, y que la paradigmática figura de Charles Darwin se destaca entre aquellos que intentaron explicar los fenómenos aparentemente inexplicables de la vida.

Antes de Darwin, después de Darwin

Mucho antes de que Darwin escribiera su obra y la diera a conocer, incluso mucho antes de su nacimiento, ya se hablaba de evolución. Como veremos más adelante, Buffon y el mismo abuelo de Charles Darwin, Erasmus, ya hablaban de cambios en las especies representando la tendencia conocida como *transformismo* o *progresionismo*. En los siglos XVIII y XIX ya se impone la idea de una sucesión de formas vivientes agrupadas según series progresivas. Según los progresionistas, en el transcurso de la historia de la Tierra, fueron apareciendo organismos cada vez más complejos. El reverendo Adam Sedgwick, quien enseñaba ciencias naturales a Darwin, admitía que había existido una progresión orgánica que incluía a los invertebrados, los peces, los reptiles, los mamíferos, y finalmente, al hombre. Pero agregaba que el desarrollo de estas distintas formas de vida manifestaba

una evolución del poder creador, hasta lograr un tipo más elevado del ser. La noción de progreso, tan cara a los iluministas del siglo XVIII, había llegado nada menos que hasta la Creación.

La gran diferencia de estas ideas con el evolucionismo moderno es que, si bien se acepta un desarrollo en el tiempo, las nuevas formas aparecerían gracias a "creaciones especiales" que sólo podían explicarse por el poder divino. La principal tarea de Darwin consistió en destruir la teoría de las creaciones especiales a la que adhería todavía cuando partió para su famoso viaje alrededor del mundo. Porque es entonces cuando comienza a elaborar sus hipótesis evolucionistas y a tratar de descubrir los mecanismos por los cuales una especie podía dar lugar a otra.

Es notable la influencia que ejercieron sobre las ideas de Darwin, los trabajos que desde la economía, la geología o la demografía publicaron autores como Thomas Robert Malthus, Charles Lyell, Adam Smith y Herbert Spencer. Desde la geología, Lyell avanzó en el campo de la estratigrafía, descubriendo que la edad de la Tierra era mucho mayor de lo que se creía hasta entonces. Por su parte Malthus, había anunciado en sus escritos que la población humana crecía en una progresión geométrica, es decir, duplicando la cantidad de habitantes en iguales periodos. Obvio es señalar que como el hombre tiende a aumentar su población, el límite de este crecimiento estaría constituido por el alimento disponible.⁷

Quizás no se haya destacado suficientemente la importancia, que tuvieron las ideas de Smith y Spencer en el desarrollo del pensamiento de Darwin. Expresiones como "competencia", "lucha por la vida" o "supervivencia del más apto" no tienen su origen en las ciencias naturales sino en el marco de las teorías económicas liberales del siglo XIX.

Inspirado entonces en todas estas lecturas y teniendo en cuenta las innumerables observaciones realizadas a bordo del *Beagle*⁸, en su viaje de juventud, Darwin comienza a elaborar sus hipótesis. De la misma manera que Malthus, observa que la mayoría de las especies de plantas o animales se reproducen muy rápidamente, mucho más que el hombre; también dejan mucha más descendencia. Por otro lado, señala que los individuos que constituyen las poblaciones no son todos iguales, sino que presentan características distintas, que él llama "variaciones". Observa también que estas variaciones se heredan. Darwin desconoce a esta altura los mecanismos genéticos involucrados, en un claro ejemplo de "desencuentro" científico: los trabajos de Gregor Mendel, padre de la genética, fueron publicados pero permanecieron inexplicablemente desconocidos hasta comienzos del siglo XX.

Aunque más adelante desarrollaremos extensamente este tema, podemos adelantar que si bien Darwin desconocía el mecanismo por el cual aparecían y se heredaban las variaciones, se le hacía evidente que la presencia de cambios en el entorno (aumento o disminución de la temperatura, aparición de un nuevo depredador, etc.) haría que algunas de estas variaciones resultaran beneficiosas para quienes las poseyeran. En este caso, los organismos demostrarían su éxito dejando mayor número de descendientes que seguramente habrían heredado esa misma característica exitosa; por su parte, los menos favorecidos, dejarían menor descendencia. Entre los organismos beneficiados por las variaciones y los más perjudicados, se establece una suerte de competencia que deriva en una feroz lucha por la vida. Esta lucha juega el rol de "filtro": deja sobrevivir a los individuos que presentan caracteres ventajosos y elimina a los otros. Al cabo de varias generaciones se habrá producido una selección de organismos, los "más aptos", o sea los que lograron sobrevivir; así se constituyen nuevas variedades que lentamente adquieren el rango de especies nuevas. Esto es lo que Darwin llamó "teoría de la selección natural".

En el siglo XX, la teoría de Darwin fue enriquecida y mejorada con el aporte de nuevas ciencias, constituyendo lo que se llamó "teoría sintética" de la evolución o neo-darwinismo. La teoría neo-darwinista también reconoce el proceso de selección natural como causa de la evolución de las especies, pero nace sobre todo de la síntesis de los conocimientos adquiridos en el marco de tres disciplinas diferentes: la genética, la sistemática y la paleontología.

El hombre y su evolución

La ciencia, y por qué no, el sentido común, nos han mostrado a los simios como nuestros parientes más próximos. Esto trajo aparejado bajar al hombre del pedestal de rey de la creación y ubicarlo entre los demás animales, con características notables y singulares por cierto, pero como un animal más. Una vez que los trabajos de Darwin tuvieron suficiente aceptación, fue lógico plantearse la teoría de la evolución también para el caso del hombre. Estaban presentes los dos puntos clave de su teoría: variación entre los individuos de una población, y selección natural de las características exitosas. El mismo Darwin lo señala:

"Estas diferencias o variaciones parecen provocadas por las mismas causas generales y obedecen a idénticas leyes que los animales inferiores. En ambos casos dominan semejantes leyes

de la herencia. Tiende el hombre a multiplicarse en proporción mayor que sus medios de subsistencia, y por lo tanto, hállase expuesto en ocasiones a una dura lucha por la existencia, con lo que la selección natural habrá obrado sobre cuanto cae bajo su férula."⁹

Los organismos, desde los seres unicelulares hasta los mamíferos, incluidos los hombres, constituyen una serie progresiva. No debemos pensar, sin embargo, que esa serie avanza hacia mayores grados de perfección: el concepto clave en estos casos, es *adaptación*.

Los individuos de una población pueden seguir presentando diferencias notables entre ellos, mientras no existan cambios en el medio o en las condiciones de vida que vuelvan más exitosas y frecuentes ciertas modificaciones. Es por eso que no debemos considerar las nuevas poblaciones así constituidas como más perfectas o más avanzadas, sino simplemente, mejor adaptadas.

Es difícil predecir una línea evolutiva con cierta certeza. Sin embargo es posible; desde el presente, observar una dirección global en la evolución que evidentemente consistió en la ocupación de todos los ambientes que pudieran ofrecer condiciones favorables para la vida; en principio los acuáticos y, más lentamente, los terrestres. Esta tendencia general también incluyó a nuestra especie, ya que todos los mecanismos de variación, selección y adaptación que señalaremos a lo largo de este libro, también estuvieron presentes en el caso del *Homo sapiens*.

En ayuda de estas hipótesis fueron acumulándose, ya desde la época de Darwin, diferentes pruebas provenientes de varios ámbitos de la ciencia. La anatomía comparada, por ejemplo, ha brindado innumerable cantidad de estudios que muestran las diferencias y las semejanzas de órganos o partes del cuerpo de distintos grupos, pudiendo así emparentarlos morfológica y fisiológicamente entre sí, constituyendo lo que los sistemáticos llaman *taxones*. Gracias a la taxonomía¹⁰ podemos ubicar los organismos en grupos cada vez más exclusivos como reinos, "fila", clases, órdenes, familias, géneros y especies.

Como sintetiza M. Harris¹¹, los seres humanos somos animales que poseemos una cuerda nerviosa dorsal hueca que se ensancha en un cerebro hacia la parte anterior del cuerpo. Esa cuerda nerviosa está rodeada por una columna vertebral ósea, y el cerebro, ubicado dentro de un cráneo también óseo. Estas características nos hacen pertenecer al grupo de los vertebrados. Dentro de este grupo, somos mamíferos ya que presentamos pelo y glándulas mamarias. Las manos prensiles y el pulgar oponible, jun-

to con la visión de frente y estereoscópica, sumadas a un conjunto de características propias de la vida en grupo y una conducta social más compleja, nos ubican junto a los primates; dentro de éstos, pertenecemos a la familia de los homínidos, principalmente por nuestra forma de andar bípeda (bipedestación), la mayor terrenalidad (en oposición a la vida arborícola), el desarrollo más importante del cerebro (encefalización) y el advenimiento de la civilización, en el caso del *Homo sapiens*.¹²

Otras pruebas de la evolución general de las formas de vida, más convincentes a esta altura de la historia, vienen del campo de la paleontología y del estudio de los fósiles, restos mineralizados de huesos y tejidos, que permiten estudiar un organismo o parte de él, muchos miles y hasta millones de años después de su extinción, e indagar su antigüedad por medio de avanzados métodos de datación. Así fue posible saber que los representantes más antiguos de nuestra familia, la de los homínidos, aparecieron en la era Cenozoica, en el período llamado Plioceno y los *Homo sapiens*, hacia fines del Pleistoceno.

Los primeros homínidos fueron encontrados en África y ubicados en el género *Australopithecus*. Pequeños de talla y de reducido cerebro, vivieron hace 3 o 4 millones de años hasta su extinción, que ocurrió hace un millón de años. Pero hace unos 2 millones, ya convivían con otro grupo de homínidos que por su mayor volumen cerebral y otras características físicas y culturales fue designado como *Homo*.

Para desentrañar la historia evolutiva del hombre, la paleontología se une a la arqueología que investiga los instrumentos, en general toscos artefactos de piedra, hallados junto a los restos de alguno de nuestros antecesores. En el caso del género *Homo*, los restos de los primeros representantes fueron hallados junto a estos utensilios, lo que permitió suponer que fueron fabricados por ellos, aunque no con certeza absoluta ya que hace 2,5 millones de años convivían al menos tres especies de homínidos. De todos modos esta especie extinguida hace 1,8 millones de años fue bautizada, por esta causa, como *Homo habilis*.

Otros *Homo* completan la lista; entre ellos el *H. erectus* aparecido hace 1,5 millones de años. Poseía un cerebro mucho mayor, y coincide con la aparición de una serie de restos de utensilios líticos mucho más perfeccionados que evidencian distintas técnicas de caza, y muchas pruebas que indican que *H. erectus* utilizaba el fuego. Los fósiles fueron encontrados en el norte de África, en Asia y en Europa lo que demostraría que esta especie emigró hacia otros continentes, y allí, o en el África, según distintas teorías, tuvo lugar un proceso que llamamos de sapientización, o

transición de *H. erectus* a las formas arcaicas de *H. sapiens*. Durante este proceso, se modificaron el esqueleto y los dientes, y aumentó el volumen cerebral. Las herramientas se perfeccionaron y aparecieron indicios de expresión artística.

Hay muchas hipótesis en torno de esta transición, enriquecidas en parte por los últimos descubrimientos de la biología molecular. Es el caso de uno de los *sapiens* arcaicos, el llamado hombre de Neandertal, descubierto en el valle de Neander, Alemania, hacia 1856, y posteriormente en otros lugares de Europa. Vivió en un lapso que va de los 75 a los 40 mil años atrás, aproximadamente, y se discute sobre las causas de su extinción. Para algunos, estos hombres fueron sustituidos gradualmente por los humanos modernos, mientras que para otros se trató de un cruzamiento entre poblaciones que fue seleccionando las ventajas de los nuevos especímenes.

Como se ve, hay todavía mucho por decir al respecto. De cualquier manera, el *Homo sapiens* se expandió por toda Europa, Asia, África y Oceanía, y como veremos más adelante, llegó a América.

Notas

1. Seux, Briend y Gitton, Cunchillos: *La creación del mundo y del hombre*. Estella (Navarra), Verbo Divino, 1982.
2. Seux, Briend y otros: *op. cit.*
3. Según el historiador Hubert Bancroft, "de todos los pueblos americanos, los quichés de Guatemala son los que nos han dejado el más rico legado mitológico. Su descripción de la creación, según aparece en el *Popol Vuh*; que puede llamarse el libro nacional de los quichés, es, en su ruda y extraña elocuencia y poética originalidad, una de las más raras reliquias del pensamiento aborigen". Los mayas desarrollaron una brillante cultura en el sur de México y en el actual territorio de Guatemala, e inventaron una escritura jeroglífica que se ha descifrado en parte. En el caso de los mayas quichés, se realizaron transcripciones de estos signos a la lengua quiché con ayuda del alfabeto castellano y el apoyo de los misioneros que se interesaron por recoger las tradiciones indígenas. En *Popol Vuh. Las antiguas historias del Quiché*. México, Fondo de Cultura Económica, 1975.
4. *Popol Vuh*, ed. cit.
5. Oparin, A. I.: *El origen de la vida*. México, Grijalbo, 1968.
6. Hutchinson, G. E.: *El teatro ecológico y el drama evolutivo*. Barcelona, Blume, 1979.
7. Malthus, T. R.: *Primer ensayo sobre la población*. Barcelona, Altaya, 1997.
8. En 1831, cuando sólo contaba 22 años, Charles Darwin emprendió un viaje que lo llevaría alrededor del mundo, y que de alguna manera inspiraría su obra posterior. Se embarcó en el barco *Beagle*, de la marina inglesa, bajo el mando del capitán Fitz Roy, amigo de su padre. Sus funciones a bordo fueron las de todo naturalista: la recolección de ejemplares de animales y plantas, y la elaboración de un detallado informe sobre sus observaciones. También realizó excavaciones y recogió fósiles

de varias especies extinguidas, sobre todo en Sudamérica, ya que allí pasó gran parte de su tiempo.

9. Darwin, Ch.: *El origen del hombre*. Madrid, EDAF, 1989.
10. La taxonomía es una ciencia que se ocupa de la clasificación en general, de sus métodos y sus principios. En especial se aplica a la biología, para poder realizar un ordenamiento jerárquico de los grupos de animales y vegetales.
11. Harris, M.: *Introducción a la Antropología General*. Madrid, Alianza Universidad, 1986.
12. Lewin, R.: *Evolución humana*. Barcelona, Salvat, 1993.

Capítulo 2

El *Big Bang* o la gran explosión inicial

Todo a nuestro alrededor parece cambiar. Se suceden estaciones frías y cálidas, secas o lluviosas. La Luna describe una trayectoria en el cielo y parece aumentar y disminuir su tamaño. La Tierra gira alrededor del Sol, y otros planetas que vemos como estrellas, también se mueven. Estos cambios, relativamente cercanos, son evidentes; sin embargo, cuando miramos la inmensidad del cielo estrellado, parecería que el Universo entero es inmutable. Por el contrario: según la teoría del *Big Bang*, nació de una explosión que aún continúa, y las galaxias que lo constituyen siguen expandiéndose y alejándose a gran velocidad. Esto afirma en esencia la teoría. Pero analicémosla con más detalle.

La explosión en síntesis

Mientras el universo se expande, todo lo que existe en él se enfría. En el momento en que ocurrió el *Big Bang*, tenía un tamaño sumamente pequeño, por lo tanto estaba infinitamente caliente. ¿En qué consistía ese punto infinitamente caliente y denso? Es posible deducirlo analizando la constitución actual de la Tierra: todo lo que se encuentra hoy en ella se reduce a distintas combinaciones de sustancias simples llamadas elementos químicos.¹ Los elementos a su vez, están compuestos por átomos, y éstos por partículas subatómicas. Las partículas subatómicas más importantes son los *protones*, de carga eléctrica positiva, y los *neutrones*, sin carga, que ocupan el centro o núcleo del átomo; a su alrededor giran otras de carga negativa llamadas *electrones*.²

Para explicar los comienzos, es necesario postular un Universo de energía pura, que dio lugar a la materia: en primer lugar, partículas elementales llamadas *quarks*, y luego, una "bola" de neutrones, con suficiente energía como para chocar entre sí creando protones y electrones. Un segundo después de la gran explosión, la temperatura había bajado y ya era

de 10.000 millones de grados; los protones y los neutrones chocaban y se combinaban continuamente. Después de unos minutos, con 1.000 millones de grados, protones y neutrones estaban bastante fríos como para empezar a unirse y formar núcleos mayores; cada protón se acompañó de un neutrón formando *deuterio*, isótopo pesado del hidrógeno³. Los protones, que eran más numerosos que los neutrones, se convirtieron en los núcleos de hidrógeno, que es el elemento más liviano; más tarde se juntaron dos protones y dos neutrones formando los núcleos de *helio*. Este proceso se conoce como *nucleosíntesis*.

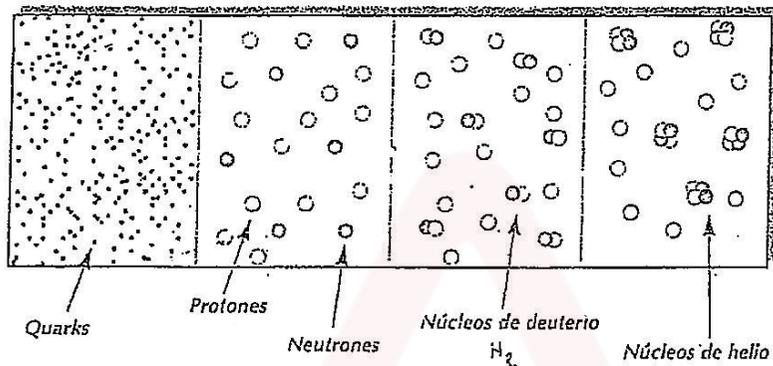


Figura 2.1
La nucleosíntesis comenzó segundos después de la gran explosión.

De esta manera, y por sucesivos choques, se fueron formando todos los elementos químicos que encontramos ordenados en la *tabla periódica*, diseñada en el siglo XIX por el químico ruso Dimitri Mendeleiev.

Durante la formación del helio, y por sucesivos choques y combinaciones, también se habrían formado átomos más pesados como el litio y el berilio. Los elementos que nos resultan más familiares y que son fundamentales para la vida, como el carbono y el oxígeno, se produjeron mucho más tarde⁴.

Unas horas después del *Big Bang*, la producción de helio se había detenido. Las partículas subatómicas ya no tenían energía suficiente como para vencer la fuerza que las atraía, se unieron y formaron varios tipos de átomos. El universo continuó expandiéndose y enfriándose aunque en las regiones más densas la expansión se retrasó por esta mayor atracción gravitatoria. Esto posiblemente motivó que esas regiones comenzaran a girar un poco

en un comienzo y luego cada vez más rápidamente, hasta transformarse en galaxias en forma de disco. El hidrógeno y el helio de las galaxias formaron una especie de nube giratoria que por su propia gravedad se contrajo aumentando su temperatura; comenzó así otra serie de explosiones que convirtieron hidrógeno en helio irradiando luz y calor. Nuestro Sol se formó hace unos 5.000 millones de años, a partir de una de esas nubes.

Hoy se sabe que las estrellas pueden experimentar un aumento extraordinario de brillo, y luego morir, agotando el proceso de conversión del hidrógeno en helio. Estas estrellas de magnitud luminosa fuera de lo común, se llaman "novas" o "supernovas", y cuando mueren *implosionan*⁵ arrojando sus restos al espacio. Con estos restos se forman nuevas estrellas, planetas, y los elementos más pesados. Estos últimos indican que nuestro sistema solar es de segunda o tercera generación, es decir, que su materia pasó al menos por un proceso de muerte e implosión, y de esta manera testimonian su historia y evolución⁶.

La Tierra en sus comienzos poseía una elevada temperatura, pero con el tiempo se fue enfriando y adquiriendo una atmósfera en la que hoy no podríamos sobrevivir, ya que contenía una cantidad de gases tóxicos para el ser humano. Más adelante veremos cómo se sucedieron las etapas de la evolución de la vida sobre la Tierra. Por ahora sigamos con la explosión inicial.

Este modelo explicativo llamado también *Big Bang caliente* o de *alta temperatura*, fue propuesto en 1948 por George Gamow, un físico nacido en Rusia y radicado en los EEUU. Su teoría entonces, presenta un modelo de universo que evolucionó desde condiciones iniciales de calor y densidad extremas; más tarde se expandió y se enfrió, formándose por condensación las estrellas y las galaxias.

Pero existe otro modelo, otra cosmología, otra explicación acerca del origen del universo; y es precisamente la que sostiene que no hubo tal comienzo: simplemente existió desde siempre, aunque su expansión se compensa por la continua creación de materia. Fred Hoyle, de la Universidad de Cambridge, sostuvo en 1946 este modelo, que se conoce como *teoría del estado estacionario*. Además, ridiculizando la postura opuesta, la llamó *teoría de la gran explosión*, sin imaginar que en realidad acababa de bautizarla para la posteridad.⁷ Hoyle abandonó su hipótesis original veinte años más tarde.

Los científicos dicen que todo lo que saben acerca de las galaxias lo conocen por la radiación que ellas emiten. Efectivamente, Gamow había predicho que la radiación originada en los primeros segundos después del *Big Bang* debía permanecer aún hoy. Arno A. Penzias y Robert

Wilson, de los laboratorios Bell, descubren en 1965 ese residuo de radiación cósmica al intentar disminuir el ruido en una antena de radio. Por este descubrimiento revolucionario obtuvieron el Premio Nobel en 1978. También de esta manera, se abandonó definitivamente la teoría del estado estacionario.

El efecto Doppler y la ayuda del ferrocarril

A esta altura uno podría preguntarse cómo hacen los científicos para llegar a estas conclusiones, y lo que es más curioso, convencernos de su factibilidad. El científico Steven Weinberg⁹, Premio Nobel de Física en 1979, expone un magnífico ejemplo ilustrativo.

Supongamos que un viajero envía una carta a su casa, una vez por semana. Conforme se va alejando, cada carta tendrá que recorrer un espacio mayor, de modo que sus cartas llegarán también a intervalos mayores. Del mismo modo, al regresar, cada carta atravesará una distancia cada vez menor, por lo que la frecuencia de cartas aumentará. Esto puede ser aplicado a una fuente sonora o luminosa, que realiza un movimiento de tipo ondulatorio. Si consideramos una onda sonora⁹, es fácil comprobar que si un automóvil se desplaza por una ruta, a medida que se aproxima, el sonido de su motor se escucha más agudo mientras que cuando se aleja se percibe un sonido más grave.

La luz visible consiste también en fluctuaciones u ondas. La frecuencia de la luz (número de ondas por segundo) es altísima y barre un espectro¹⁰ que va desde los 380 a los 750 millones de ondas por segundo.

Imaginemos una fuente de luz a una distancia fija del observador, que emite ondas con una frecuencia constante. Ahora supongamos que la fuente de luz se acerca. Cada vez que emita una onda, estará más cerca, por lo cual el tiempo entre cada nueva onda, será menor. La frecuencia de recepción será mayor (corresponderá al extremo azul del espectro). Inversamente, si la fuente luminosa se aleja de nosotros, el tiempo entre dos ondas será mayor y la frecuencia de recepción, menor (corresponderá al extremo rojo del espectro). Esta propiedad de las ondas sonoras y luminosas se conoce como *efecto Doppler* en honor a Christian Doppler, físico y matemático austríaco nacido en Salzburgo en 1803. El efecto Doppler en ondas sonoras fue experimentado en Holanda, utilizando una orquesta de trompetas ubicada en un vagón descubierto de ferrocarril, como fuente sonora en movimiento.

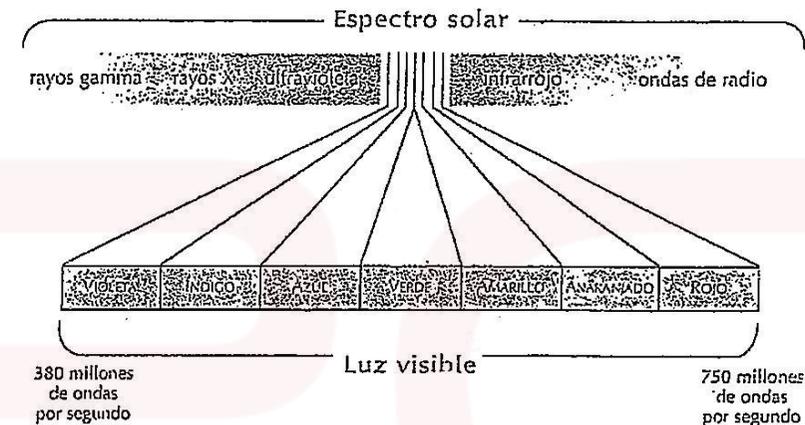
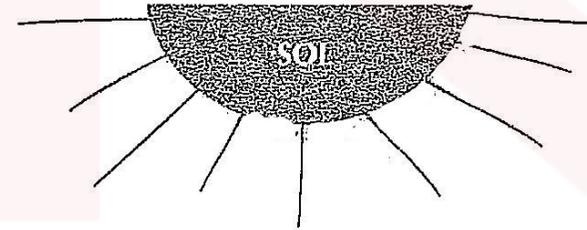


Figura 2.2

La luz blanca o luz visible consiste en una radiación electromagnética que puede ser descompuesta en un espectro que va desde el violeta al rojo. La longitud de onda se acorta hacia el extremo violeta del espectro y se alarga hacia el extremo rojo.

Doppler pensó que este efecto podría explicar la variación de colores de las estrellas, y lo describió en un trabajo titulado *Sobre la luz colorada de las estrellas dobles*. Una estrella que parece más roja que las demás, sin duda se está alejando, y una que se acerca a la Tierra, parecerá mucho más azul. Basándose en este efecto y sus implicancias, Edwin Hubble, astrónomo estadounidense, demostró en 1923 que las galaxias presentaban un corrimiento hacia el rojo del espectro, por lo que se supone que están separándose unas de otras. Además, el corrimiento hacia el rojo aumenta en relación directa con su distancia de la Tierra. De modo que, a medida

que se alejan, su velocidad de alejamiento es mayor. Esta observación se conoce como *principio cosmológico*.

Hubble encontró varias consecuencias de este principio. Entre ellas, la relación matemática de proporcionalidad entre la distancia existente entre dos galaxias y su velocidad relativa. El incremento de la velocidad con la distancia se conoce como *constante de Hubble* (aunque en realidad se ha descubierto que varía con el tiempo) y se estima que es de 15 kilómetros por segundo, por millón de años-luz¹¹, lo que permite estimar la edad del universo en 20.000 millones de años; sin embargo, como las galaxias pueden haber variado su velocidad por efecto de la mutua atracción, se considera que esta cifra puede ser menor.

De modo que, gracias a los descubrimientos de Doppler para las ondas sónicas y luminosas, Hubble pudo relacionar el corrimiento hacia el rojo del espectro de algunas galaxias, con la expansión creciente del Universo. Y sobre la base de estos conocimientos, Gamow postuló que toda esa materia que explotó y continúa expandiéndose, estuvo condensada en un punto infinitamente pequeño, denso y caliente.

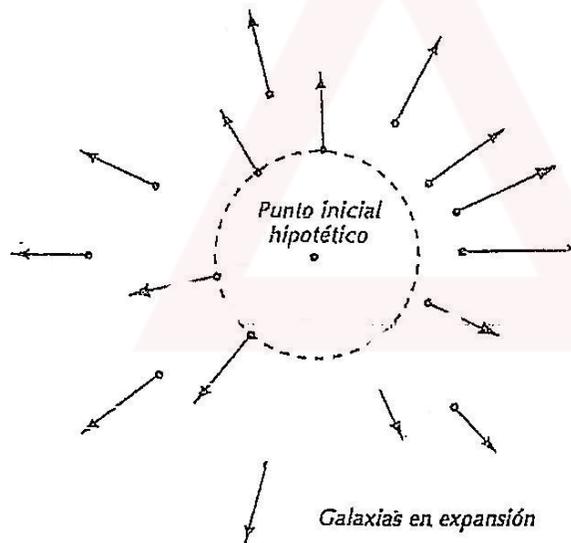


Figura 2.3
El Big Bang en un esquema idealizado.

Algunas aclaraciones acerca de las teorías

Según Gregorio Klimovsky, las disciplinas científicas se ocupan de las propiedades y las características de ciertos tipos de objetos. Podemos acceder directamente a algunos de ellos a través de la experiencia: son los objetos *empíricos*¹². A otros sólo podemos llegar de manera indirecta a través de deducciones, inferencias o conjeturas: son los objetos *teóricos*. Estos objetos teóricos no ofrecen el mismo tipo de seguridad que los empíricos, y pueden terminar por desaparecer o ser sustituidos por otros.

El científico Max Planck¹³ expresa de manera risueña esta situación en su obra *Autobiografía científica y otros trabajos*. Allí dice: "Una nueva verdad científica no triunfa porque haya convencido a sus oponentes y les haya hecho ver la luz, sino más bien porque ellos terminan muriendo, y crece una nueva generación que se ha familiarizado con ella."¹⁴ Pero podemos avanzar en este tema con un poco menos de ironía.

Cuando se construye una teoría, generalmente se utilizan afirmaciones o enunciados. Si se refieren a objetos empíricos, se trata de *afirmaciones empíricas básicas*. Su verdad o falsedad podría establecerse a partir de observaciones adecuadas. Un primer paso podría ser afirmar "una propiedad para un gran número de casos (por ejemplo, "muchas ballenas amamantan a sus crías"); otro paso consistiría en afirmarla para todos los casos posibles ("todas las ballenas amamantan a sus crías"). Estaríamos en presencia de una *generalización empírica*. Pero este no es el fin de la ciencia, sino que los científicos tratan principalmente de enunciar leyes teóricas acerca de los fenómenos. Además, los seres humanos sólo podemos efectuar un número finito de observaciones, y esto no basta para aceptar o rechazar afirmaciones de carácter universal. Cuando los enunciados científicos pasan de lo singular a lo universal, es decir, de un nivel de generalización empírica a otro de enunciados teóricos, surge este inconveniente y es preciso aceptar que se trabaja con afirmaciones cuya verdad no se ha establecido definitivamente y que en cualquier momento esas afirmaciones pueden ser reemplazadas por otras mejores.¹⁵

Las leyes y los enunciados teóricos pueden ser verificados en uno o varios casos, pero muchas veces pueden no ser verificables en *todos*. ¿Esto significa que no eran verdaderos? La respuesta a esta pregunta nos lleva a plantearnos si realmente las teorías con las cuales los científicos desarrollan sus trabajos y que muchas veces son el punto de partida para sus investigaciones, están comprobadas definitivamente y universalmente.

El eminente epistemólogo austríaco Karl Popper, aporta claridad en estas cuestiones considerando que es más importante determinar la

falsedad de algunas teorías que su verdad. Por eso su postura se conoce como *falsacionismo*. Él define la ciencia como una disciplina basada en la formulación de hipótesis que predican fenómenos susceptibles de comprobación. Si la predicción falla, la hipótesis es abandonada. Si se cumple, el científico no pretende haberla demostrado definitivamente sino solamente haberla establecido como base para próximas investigaciones¹⁶. Es posible comprobar la falsedad de algunas teorías científicas con una sola observación que las refute, pero no así su verdad definitiva, por más numerosos que sean los casos en los cuales se cumpla. Por eso, para Popper, lo que hace válida una teoría científica no es su verificabilidad sino su capacidad para ser refutada, es decir, su refutabilidad.

Por su parte, en la obra ya clásica *La estructura de las revoluciones científicas*¹⁷, Thomas Kuhn desarrolla el concepto de *paradigma*. Para Kuhn, un paradigma de una disciplina científica "es la fuente de los métodos, el campo de los problemas y de los cánones para su solución, que son aceptados por cualquier comunidad científica madura en cualquier tiempo dado". Un paradigma es *aceptado* en la medida en que es recibido por un grupo cuyos miembros ya no tratarán más de competir con él o elaborar alternativas. Es una formulación colectiva de la comunidad científica que lo crea y lo sustenta. Una vez establecido, todas las investigaciones se desarrollan tomándolo como supuesto aceptado. Este período es para Kuhn, el de la *ciencia normal*. Ahora bien, muchas veces se presentan fenómenos que no pueden ser comprendidos cabalmente a la luz del paradigma dominante y son considerados como excepciones que serán explicadas más adelante cuando el estado de los conocimientos lo permita. Cuando el número de excepciones o *anomalías* aumenta, comienzan a ensayarse modificaciones, reinterpretaciones o alternativas al paradigma, que permitan su explicación. Pero cuando este número llega a ser crítico, surgen paradigmas alternativos, o rivales, y la comunidad científica suele estar dividida entre estas posturas opuestas. Finalmente un nuevo paradigma recibe la mayor aceptación y se abandona definitivamente el anterior. Se ha producido una *revolución científica* y comienza un nuevo período de ciencia normal.¹⁸

La astronomía de Ptolomeo, por ejemplo, tuvo gran éxito en la predicción de la posición de algunas estrellas y planetas; pero como dice el mismo Kuhn, tener un gran éxito no es lo mismo que tener un éxito completo, y su modelo cada vez más cargado de excepciones, anomalías y reinterpretaciones, fue sustituido por el de Copérnico¹⁹. Ambas eran teorías científicas y presentaban condiciones de refutabilidad; por ese mismo motivo, una pudo ser suplantada por la otra.²⁰

El *Big Crunch* o un final posible para la expansión indefinida

Entre las teorías en conflicto acerca del origen y la evolución del Universo, encontramos entonces la *teoría del estado estacionario*, y la *teoría del universo en expansión*. Con respecto a la primera, una vez sometida a prueba, había resultado insatisfactoria; sin embargo Hoyle, su principal portavoz, intentó rescatarla varias veces. La última, a comienzos de la última década, llevó el nombre de *teoría de la mini-gran explosión*; en ella sostiene que no existen suficientes pruebas a favor de que realmente hubiese tenido lugar una sola explosión. Por su parte, en la teoría del *Big Bang*, quedan aún puntos oscuros por resolver; de todos modos, explica satisfactoriamente la mayoría de las cuestiones fundamentales, por lo que la comunidad científica sigue aceptándola.

No obstante, existe otra alternativa a estas teorías. Se trata de la hipótesis alternativa propuesta por Robert Dicke y James Peebles, del Instituto de Tecnología de Massachusetts. En el universo continuamente mueren estrellas que quedan reducidas a trozos de materia oscura y fría. Mientras tanto, otras estrellas nacen. Pero cuando el gas de la galaxia se agota, no se formarán nuevas estrellas, y toda esa materia oscura irá en aumento generando suficiente gravedad como para detener la expansión e iniciar un movimiento semejante al *Big Bang*; pero de sentido contrario: el *Big Crunch*, el gran crujido, o la gran implosión²¹.

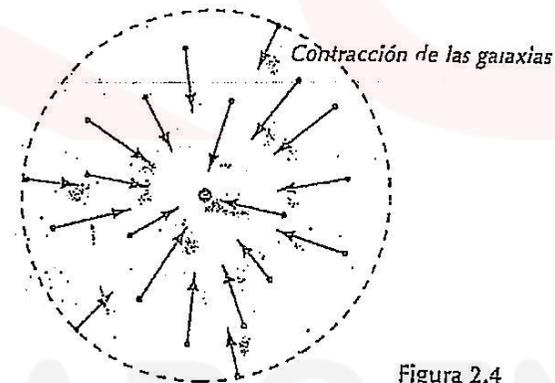


Figura 2.4
El *Big Crunch*, en un esquema idealizado.

De este modo, y si seguimos esta teoría, el universo empezaría a contraerse elevando su temperatura; los cúmulos de galaxias se agruparían y fusionarían conforme la temperatura siguiera aumentando. Luego, todas las estrellas serían destruidas y todo quedaría reducido a una bola de fuego cada vez más pequeña, densa y caliente... ¿Y después?

Algunos científicos sostienen que si todo el universo se comprimió en un *Big Crunch*, se iniciaría otro *Big Bang*, sucediéndose así ciclos alternativos de expansión y contracción.

De todos modos, sea cual fuere el destino último del universo, lo cierto por ahora, es que se inició en una explosión que dio lugar a las galaxias y los sistemas planetarios. Y entre los planetas, uno en particular en el que se fueron desarrollando las condiciones propicias para la aparición y la evolución de las más diversas formas de vida: la Tierra.

Notas

1. Tal como lo definen los especialistas, un elemento químico es una sustancia que no puede ser descompuesta en otras más simples por procesos químicos ordinarios.
2. Los protones, neutrones y electrones son las partículas más destacadas de los átomos, aunque se ha detectado la presencia de otras cien.
3. Los isótopos son variantes de los elementos químicos que difieren entre sí por el peso atómico. El deuterio, por ejemplo, isótopo del hidrógeno, tiene un peso atómico de 2,037, es decir, más del doble del hidrógeno normal (que tiene peso atómico 1) y por eso se lo llama también hidrógeno pesado. Su núcleo contiene un protón y un neutrón.
4. Hogan, Craig J.: "El deuterio primordial y la gran explosión", en *Investigación y Ciencia*, edición española de *Scientific American*, número 245, febrero de 1997.
5. Una implosión es un fenómeno físico, en el cual la zona externa de un cuerpo es impelida violentamente hacia su interior. En astronomía, se refiere a la disminución brusca del tamaño de un astro.
6. Cloud, Preston: *El cosmos, la Tierra y el hombre*. Madrid, Alianza Universidad, 1981.
7. Brush, Stephen G.: "Cosmología: teorías y observaciones", en *Investigación y Ciencia*, número 193, octubre de 1992.
8. Weinberg, Steven: *Los tres primeros minutos del Universo*. Barcelona, Salvat, 1993.
9. Hawking, Stephen W.: *Historia del tiempo. Del big bang a los agujeros negros*. Buenos Aires, Alianza, 1996.
10. Espectro es la distribución de la intensidad de una radiación (o su representación gráfica o fotográfica) en función de la longitud de onda, la energía o la frecuencia.

11. El año-luz es una unidad de longitud igual a la distancia recorrida por la luz en un año.
12. Klimovsky, Gregorio: "Estructura y validez de las teorías científicas", en *Métodos de investigación en psicología y psicopatología*. Buenos Aires, Nueva Visión, 1971.
13. Max Planck fue un físico alemán que vivió entre 1858 y 1947. Formuló la teoría cuántica que sentó las bases de la posterior teoría de la relatividad, por eso se lo considera, junto a Albert Einstein, uno de los padres de la física actual. Recibió el Premio Nobel de Física en el año 1918. Entre sus obras se encuentran *El principio de la conservación de la energía*, *Lecciones de Termodinámica*, e *Introducción a la física teórica*.
14. Citado por Brush, S. G., en *op.cit.*
15. Un ejemplo ilustrativo de la antigüedad de tales disquisiciones lo constituyen las obras de Giordano Bruno, filósofo y escritor italiano nacido en Nola en 1548, y muerto en la hoguera de la Inquisición, en Roma, en el año 1600. Defendió el sistema de Copérnico y consideró al universo, infinito como Dios, ya que es "el espejo en el que la Divinidad se contempla". Entre sus muchas obras figuran escritos a modo de diálogos en los que se desarrollan temas de carácter astronómico y epistemológico. Bruno argumenta en uno de ellos que la inconstancia de los sentidos muestra que no son principio de certeza, de modo que "no hay sentido que vea el infinito, porque el infinito no puede ser objeto de los sentidos (...) Debe haber moderación en eso de pedirle testimonio a los sentidos. Ellos nos sirven sólo para excitar la razón, para testificar, pero sólo en parte, porque nunca, por más perfectos que sean, carecen de alguna perturbación". Según este autor, corresponde al intelecto, a la razón, dar cuenta de las cosas ausentes y separadas de nosotros por distancia temporal o espacial. "En el universo inmenso e infinito hay innumerables estrellas, astros, globos, soles y tierras que se perciben con los sentidos, y otros infinitos que se infieren con la razón". (*Sobre el infinito universo y los mundos*. Buenos Aires, Aguilar, 1981.)
16. Brush, S. G.: *op. cit.*

17. Kuhn, Thomas S.: *La estructura de las revoluciones científicas*. México, Breviarios, Fondo de Cultura Económica, 1971.
18. La polémica entre Kuhn y Popper estaba ya establecida cuando se conocen los escritos de un epistemólogo húngaro llamado Imre Lakatos. Para Lakatos, el falsacionismo de Popper resultaba inadecuado, pero estaba igualmente en desacuerdo con la interpretación de la ciencia que proponía Kuhn. Es por eso que propone ciertas modificaciones al falsacionismo "ingenuo" popperiano, aceptando sin embargo sus puntos de partida. En principio también rechaza la idea de que las afirmaciones científicas puedan ser demostradas y verificadas; sin embargo, no cree que una sola evidencia alcance para refutarlas y considerarlas falsas. Propone una actitud más tolerante y que posterga el rechazo de la teoría hasta que sean evaluados otros factores. Esta versión más crítica del falsacionismo fue llamada por Lakatos, "falsacionismo sofisticado". (Para un desarrollo completo del falsacionismo lakatosiano, véase el interesante trabajo de Rodolfo Gaeta y Susana Lucero, *Imre Lakatos: el falsacionismo sofisticado*. Buenos Aires, Oficina de Publicaciones del Ciclo Básico Común, Universidad de Buenos Aires, 1996.)
19. Ptolomeo, astrónomo y matemático egipcio, vivió en el siglo I después de Cristo. Estableció el modelo geocéntrico del universo, en el que la Tierra ocupaba el centro, y la Luna, el Sol, los planetas y todas las estrellas giraban en torno de ella. Este sistema continuó en vigencia hasta el Renacimiento, cuando se impuso la teoría heliocéntrica del astrónomo polaco Nikolaj Kopernik, más conocido como Nicolás Copérnico.
20. Schuster, Félix G.: *Explicación y predicción*. Consejo Latinoamericano de Ciencias Sociales (CLACSO), Buenos Aires, 1982.
21. Brush, S. G.: *op. cit.*

Capítulo 3

El origen de la vida: principales teorías

Hoy en día resulta obvio que la Tierra tiene una gran antigüedad, aunque a mediados del siglo XVII las creencias con respecto a su edad eran bastante diferentes. El arzobispo irlandés James Ussher, anunció en 1650 que la Tierra fue creada en el año 4004 antes de Cristo, y hasta llegó a precisar el día y la hora. Sus cálculos se basaban en las genealogías bíblicas, interpretadas literalmente.

Otro pensador llegado del ámbito de la iglesia anglicana fue el reverendo Thomas Burnet¹, quien publicó, entre 1680 y 1690, una gigantesca obra compuesta por cuatro volúmenes que tituló *Teoría Sagrada de la Tierra: conteniendo un informe del origen de la Tierra, y de todos los cambios generales que se han experimentado, o que se están por experimentar hasta la consumación de todas las cosas*. Bajo este largo título describe en primer lugar el caos primigenio y su posterior resolución en un Edén o Paraíso perfecto; luego explica el diluvio universal como castigo a nuestros pecados y el mundo actual a la espera de un nuevo castigo, esta vez bajo la forma de un voraz incendio. Como última etapa en la vida terrestre, Burnet describe un paraíso recuperado, donde Cristo reina hasta aniquilar por completo las fuerzas del mal. En ese momento, la Tierra se vuelve innecesaria, y se convierte en una estrella. Según Stephen Gould²; Burnet encarna lo que él llama "la flecha del tiempo"; es decir, la consideración de la historia como una secuencia de sucesos únicos e irrepetibles. Por su parte, James Hutton³ presenta el otro extremo de la interpretación: la del "tiempo cíclico". Cien años más tarde, hacia 1795, Hutton escribe su libro *Teoría de la Tierra*, en el que expone su idea acerca de los procesos cíclicos en la formación de la Tierra. No existen para él episodios únicos; los aparentes movimientos y los cambios son sólo parte de un ciclo que se repite constantemente; el tiempo no tiene dirección, por eso también las fuerzas que actuaron en el pasado son las mismas que actúan hoy y la edad de la Tierra se vuelve imposible de calcular. No hay principio ni fin, sólo un "tiempo profundo" e inconmensurable.

El reconocimiento de la magnitud de este tiempo, se extiende lentamente, según Gould, desde mediados del siglo XVII hasta principios del XIX. Y en esta toma de conciencia intervinieron estudiosos de todas las áreas, arqueólogos, historiadores y geólogos, entre otros. Ya en el siglo XIX, la geología había avanzado tanto en sus métodos, y la cantidad de excavaciones realizadas era tal, que la evidencia se volvía abrumadora. Las distintas capas o estratos de rocas de diferentes tipos, se disponían en una pila de cientos de metros de espesor; en ellos, se descubrió la presencia de variados fósiles, desde los más simples en las rocas más profundas, hasta los más complejos en las superficiales. Semejante sucesión de fósiles y de estratos hizo pensar a los científicos en una antigüedad inmensa para la Tierra, como para permitir tales procesos de acumulación.

Una de las grandes contribuciones a la geología y posteriormente a la teoría evolucionista de Darwin, fue realizada por el geólogo escocés Charles Lyell. En sus escritos, adhirió a la doctrina de Hutton, que sustentaba que las causas de todos los cambios geológicos pretéritos son las mismas que actúan en el presente. Estableció la gran amplitud de los tiempos geológicos y mejoró la escala geocronológica, o sea, de medición del tiempo de las sucesivas eras.

La Tierra y sus comienzos

Como señalamos en el capítulo anterior, en la formación del sistema solar, intervinieron varios procesos, uno de los cuales consistió en la expulsión de materia desde el centro de la galaxia para la posterior formación de otras estrellas y planetas. En el caso de nuestro sistema, los elementos más pesados permanecieron más cerca del Sol, mientras que los más livianos se alejaron.⁴ Es por eso que los planetas externos del sistema, como Júpiter o Saturno están constituidos principalmente por helio e hidrógeno, mientras que los interiores o terrestres están formados por mayor cantidad de elementos pesados. De cualquier modo, el planeta Tierra parece haberse formado a partir de una nube de partículas de polvo que posteriormente se atrajeron alrededor de un núcleo que concentró los elementos más pesados, relegando los más livianos a la zona más superficial.

Pero, ¿es posible fechar todos estos acontecimientos? En la actualidad, pueden realizarse cálculos precisos gracias a los métodos de *datación por desintegración radiactiva*, que fueron y siguen siendo muy usados en antropología y arqueología. Este tipo de estudios se basa en el ritmo de transformación de un elemento químico en otro. Teniendo como datos co-

nocidos esa velocidad de transformación y la cantidad del elemento presente actualmente en la pieza, fósil o roca, es posible averiguar cuál es su edad aproximada.

La datación por radiocarbono es la técnica más conocida, aunque es de uso limitado ya que permite encontrar edades de hasta 50 ó 60.000 años. El dióxido de carbono de la atmósfera contiene carbono en su isótopo estable: el C-12, pero una pequeña parte lo constituye su isótopo radiactivo C-14, que se desintegra rápidamente. La materia orgánica presente en el planeta contiene carbono, ya que las plantas lo incorporan en sus tejidos por medio del proceso fotosintético, y los tejidos animales se forman en mayor o menor medida a expensas de los vegetales. De este modo la materia orgánica cuenta con C-12 más estable y C-14 radiactivo desintegrándose rápidamente y transformándose en nitrógeno N-14. Conociendo la tasa de desintegración del C-14 y midiendo la cantidad de radiactividad presente, es posible hallar la edad de la pieza investigada.

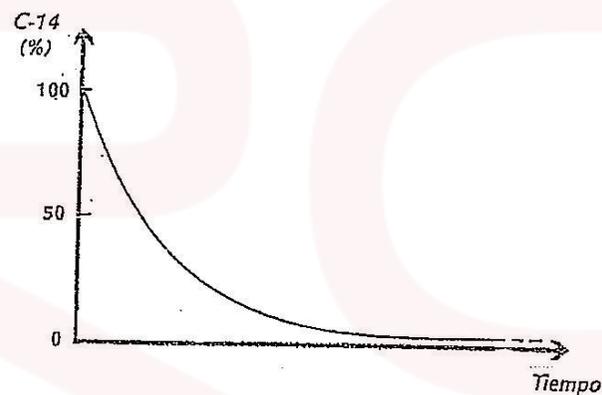


Figura 3.1.
Curva de desintegración del C-14.

Para dataciones más precisas o de mayor alcance temporal se utiliza la técnica del potasio-argón (K-Ar). Esta técnica se basa en el hecho de que el isótopo radiactivo del potasio, el K-40, se desintegra lentamente en el gas argón, Ar-40. En este caso, como la velocidad de desintegración es menor, es posible realizar fechados de hasta 500.000 años.⁵ Si volvemos al caso que nos ocupa, o sea, la Tierra y su edad, comprendemos que los métodos expuestos más arriba no alcanzaron para fecharla con exactitud. Para ello fue necesario recurrir a la desintegración del uranio-238 en plo-

mp-206, ambos isótopos del uranio y del plomo respectivamente; así se obtuvo una edad aproximada para la Tierra de 4.600 millones de años.

Pero ahora que sabemos su edad, debemos conocer un poco su historia. En el transcurso de millones de años, la Tierra se enfrió lentamente. Su superficie se hizo más sólida, aunque en algunos lugares los volcanes, orificios de comunicación de esas masas centrales de elevada temperatura e inmensa presión, expulsaron roca fundida y gases al exterior. Con la roca se cubrió la superficie de la Tierra, y los gases expulsados dieron lugar a la atmósfera. En las alturas, el vapor de agua (uno de los principales gases) se enfrió y se condensó cayendo como lluvia sobre las rocas calientes que volvieron a evaporarlo. Esto pudo dar origen a ciclos violentos de lluvias tormentosas y así concentrar suficiente agua líquida en mares y océanos.

En la actualidad, nuestra atmósfera tiene nitrógeno, oxígeno y pequeñas cantidades de otros gases, como por ejemplo, el dióxido de carbono. Pero la atmósfera primitiva tenía una constitución diferente de la actual. Como fue formada por la expulsión de gases que acompañó a la actividad volcánica, pudo haber contenido vapor de agua, dióxido de carbono, monóxido de carbono, nitrógeno, hidrógeno y sin duda metano y amoníaco. Pero hay algo que puede afirmarse con seguridad: en la atmósfera primitiva no hubo oxígeno ni en su forma atómica, O, ni el molecular común O₂ ni el ozono O₃. Los gases primitivos reaccionaron rápidamente con él, eliminándolo de la atmósfera como oxígeno libre o no combinado. De este modo se comprende que ningún organismo que necesitara oxígeno para vivir, hubiera podido existir en esa Tierra primitiva. Esto nos conduce a una primera encrucijada: todas las formas de vida que existen y continuarán existiendo en la actualidad, ¿pudieron desarrollarse sólo después de que el oxígeno comenzó a formar parte de la atmósfera? ¿O existieron formas primitivas que no necesitaron oxígeno y que se desarrollaron antes de su incorporación en la atmósfera?

El problema del origen de la vida

¿Cómo y en qué forma comenzó la vida? La profundidad y la complejidad de la pregunta no admiten respuestas simples, y muchas veces exceden los límites de la ciencia para introducirse de lleno en el terreno filosófico. De todos modos, estos interrogantes no son nuevos en la historia del pensamiento humano. Ya Aristóteles, que vivió en Grecia entre los años 384 y 322 antes de Cristo, se planteaba el tema del origen de la vida, y postuló como resultado de sus reflexiones la hipótesis de la *generación espontánea*. La creencia general de que las larvas y los gusanos que aparecen en-

tre los desechos de las actividades humanas surgen de la misma basura, es un ejemplo de esta hipótesis, que plantea entonces, que la materia no viviente puede originar por sí misma la vida. Incluso, siguiendo con el mismo razonamiento, una forma de vida podría originarse a partir de otra totalmente diferente.

Hacia el 1600, la generación espontánea era una creencia generalizada, y como muchos de sus contemporáneos, el médico belga Jean Baptiste van Helmont suponía que existía un principio activo capaz de inducirla y pretendió demostrarlo con el siguiente experimento: colocó una camisa sucia en contacto con algunos granos y espigas de trigo, y al cabo de unos pocos días... ¡obtuvo ratones! ¿Cuál era el principio activo en este caso? La transpiración humana que estaba impregnada en la camisa. En realidad los ratones solamente acudieron al lugar, pero hicieron pensar a van Helmont que surgieron de allí.⁶

El médico florentino Francesco Redi, que vivió en el siglo XVII, trató de refutar prácticamente estas hipótesis diseñando un experimento de la siguiente manera: tomó ocho frascos iguales e introdujo en ellos trozos de carne. Cuatro permanecieron abiertos, y cuatro fueron cuidadosamente cerrados y sellados. Después de unos pocos días, los frascos abiertos estaban repletos de larvas y moscas mientras que en los cerrados, no se observaba ninguna.

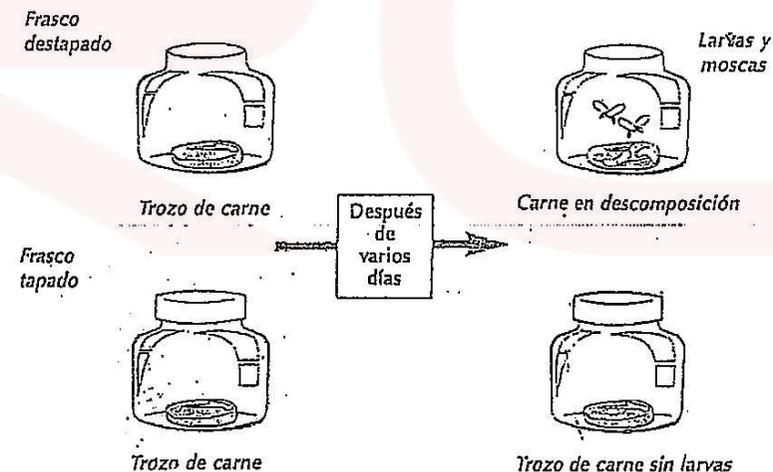


Figura 3.2
Experimentos de F. Redi.

Después de semejante demostración y por un tiempo, se abandonó la idea de la generación espontánea. Sin embargo, el holandés Anton van Leeuwenhoek construyó un microscopio rudimentario con el que pudo observar bacterias, y como no se sospechaba siquiera de dónde podían provenir, se acudió nuevamente a la vieja teoría.

Durante el siglo XVIII se sucedieron experimentos para abonar una u otra postura, y científicos como John Needham en Londres, o Lazzaro Spallanzani en Italia fueron los líderes de la controversia. Fue necesario llegar a mediados del siglo XIX y encontrarnos con la figura paradigmática de Luis Pasteur. ¿En qué consistió su aporte? Fundamentalmente Pasteur realizó cientos de experimentos hasta comprobar que la materia no viva puede contaminarse por microorganismos, bacterias en general, que están en el aire, en el suelo, o en los utensilios que manipulamos. Estas bacterias se multiplican a gran velocidad, y al cabo de poco tiempo y en condiciones favorables para ellas, descomponen los alimentos. Pasteur demostró que los organismos no aparecen en los alimentos que han sido esterilizados convenientemente por el calor. La teoría llamada entonces y a partir de aquí, de la *biogénesis*, sostiene que siempre es un ser vivo el que produce otro ser vivo.⁷

Ahora bien; si todo ser vivo se origina de otro, ¿quién dio origen al primero? Veamos algunas respuestas.

La vida y sus comienzos

Una hipótesis muy famosa y difundida explica que la vida llegó a la Tierra proveniente del espacio exterior. Habría venido bajo la forma de esporas, estructuras resistentes en las que pueden convertirse las bacterias cuando las condiciones no son las adecuadas. Aparentemente, de esta manera soportaron el espacio y sus condiciones extremas de calor, frío o radiación. Muchos plantean que viajaron en meteoritos o partículas de polvo, pero no alcanzan a explicar cómo resistieron la fricción y el intenso calor al ingresar en nuestra atmósfera. Por otra parte, esta hipótesis sólo traslada el problema de la vida a otro planeta u otro sistema solar. Es decir, no explica cómo se originó allí. Descartando entonces esta postura, nos quedaría tratar de investigar cómo pudo haber surgido la vida aquí, en nuestra Tierra.

A esta altura, debemos hacer algunas consideraciones fundamentales. Los seres vivos necesitan incorporar materia y energía para llevar a cabo sus procesos metabólicos. Las plantas verdes, por ejemplo, utilizan la energía solar, y con la ayuda de unas pocas sustancias inorgánicas que obtienen del suelo, sintetizan sus propias sustancias nutritivas. Por eso se las llama *autótrofas*. Por otro lado, los organismos incapaces de elaborar sus

alimentos (como los seres humanos y todos los animales), se llaman *heterótrofos*, y dependen de una fuente exterior de provisión de energía. Las hipótesis iniciales acerca del origen de la vida señalaban que los primeros seres vivos debían ser capaces de sintetizar sus alimentos, ya que no existía ningún otro ser vivo capaz de proporcionárselos. Estas son las *hipótesis autotróficas*. Ahora bien; los organismos que realizan tales funciones lo hacen mediante mecanismos sumamente complejos, y se supone que las primeras formas de vida debieron ser, por fuerza, muy simples; esto constituye, por lo tanto, un serio escollo para tales hipótesis.

Existen sin embargo, hipótesis alternativas. Una de ellas, llamada *hipótesis heterotrófica*, sostiene que en determinadas condiciones ambientales, y después de miles de millones de años, surgió un tipo muy simple de vida a partir de materia no viva. Lo que diferencia esta postura de la que sostenía la generación espontánea es que este hecho singular habría surgido en un momento de la historia evolutiva de la Tierra, y no continuamente. Además, no se produjo repentinamente y de manera espontánea, sino después de muchísimo tiempo.

Esta hipótesis fue propuesta en el año 1938 por el bioquímico ruso Alexander I. Oparin y simultáneamente por el biólogo inglés J. B. S. Haldane. En el libro *El origen de la vida*⁸, Oparin desarrolla sus ideas en torno de la naturaleza material de la vida, desechando cualquier principio espiritual. Critica el concepto de creación divina y lo coloca casi al nivel de las teorías de la generación espontánea. También critica la idea de que la vida pudo haberse originado fuera de nuestro planeta y haber llegado a él a través del espacio.

Para Oparin, el comienzo fue en la Tierra y se trató de una complejización creciente de los compuestos químicos. Como todos los seres vivos están formados por sustancias orgánicas que contienen carbono, lo primero que debió ocurrir, decía Oparin, fue su formación a partir de sustancias más simples. Pero esta formación sólo pudo darse en condiciones especiales y singulares que no existen hoy en día. La clave estaría (según adelantamos en el primer apartado) en la composición de lo que llamamos atmósfera primitiva, en la ausencia de oxígeno gaseoso, y en las condiciones que reinaban en la Tierra hace 4.600 millones de años.

En esas condiciones y siguiendo a Oparin, los átomos de carbono, hidrógeno, oxígeno y nitrógeno pudieron haberse unido entre sí formando en principio vapor de agua, hidrógeno gaseoso, dióxido de carbono, monóxido de carbono, nitrógeno gaseoso, metano y amoníaco, y luego gran cantidad de compuestos orgánicos más complejos, necesarios para la vida, aún antes de que existieran seres vivos autótrofos capaces de sintetizarlos. Es por eso que las primeras formas de vida debieron, por fuerza, ser heterótrofas.

Ahora bien; para formar moléculas complejas a partir de otras más simples, se requiere energía. El Sol es la primera fuente energética para los autótrofos; pero en los comienzos de la Tierra, la radiación ultravioleta proveniente del Sol llegaba directamente, ya que al no existir el oxígeno gaseoso tampoco existía el ozono constituyendo su capa protectora. Los destructivos rayos ultravioletas aportaron entonces suficiente energía como para romper algunas uniones químicas y permitir la recombinación de los elementos.

También existieron fuentes secundarias de energía como la propia radiación de la Tierra, el calor generado por la actividad volcánica o la energía eléctrica producida por las tormentas.

Para comprobar de alguna manera esta teoría, dos investigadores de la Universidad de Chicago, Harold Urey y Stanley Miller, intentaron reproducir las condiciones de la atmósfera primitiva que rodeaba la Tierra hace 4.000 millones de años: gases, calor, lluvia, descargas eléctricas. Para ello diseñaron un aparato que consistía básicamente en una esfera cerrada al vacío en donde colocaron metano, hidrógeno y amoníaco gaseoso. A través de esta mezcla hacían circular una corriente de vapor de agua al mismo tiempo que producían descargas eléctricas en la esfera. Luego condensaban el vapor que volvía como líquido a enriquecer el agua inicial en ebullición.

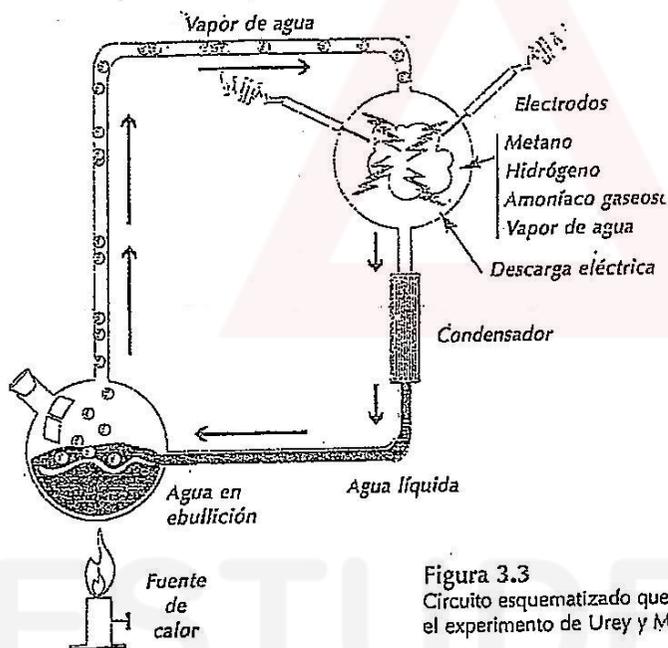


Figura 3.3
Círculo esquematizado que representa el experimento de Urey y Miller.

Al cabo de una semana, los átomos de las moléculas de los distintos gases se habían combinado entre sí formando *aminoácidos*, unidades constitutivas de las proteínas.

Estos experimentos no demuestran fehacientemente que la vida pudiera haberse originado de materia no viva, pero sí demuestran que algunos compuestos orgánicos esenciales para la vida pudieron formarse a partir de sustancias simples, en las condiciones de la atmósfera primitiva.

El "caldo primitivo" y una primera forma de selección natural

Según la hipótesis heterotrófica demostrada en parte por los experimentos de Urey y Miller, existieron condiciones especiales en la Tierra primitiva que transformaron sustancias simples en otras muy complejas como los aminoácidos. Ahora bien; dichos compuestos orgánicos formados en esa atmósfera tan especial, seguramente fueron arrastrados por el vapor de agua convertido en lluvia hacia lagos, mares y océanos, constituyendo un líquido rico en compuestos orgánicos que algunos bautizaron como el "caldo primitivo". Seguramente en los cuerpos de agua más pequeños, pudieron encontrarse varios aminoácidos y formar cadenas, polipéptidos o proteínas, y de la misma manera formar otros compuestos orgánicos. A su vez, estas moléculas grandes se agruparon al azar en conglomerados o enjambres moleculares constituyendo formas diversas que ya podemos llamar *precelulares*. Entre esas formas variadas existieron algunas de características más ventajosas que aumentaron su tamaño y complejidad a expensas de las menos eficientes. Es importante atender cuidadosamente este punto, ya que la teoría de Oparin sobre el surgimiento de la vida, es similar en su razonamiento a la que expuso Darwin con respecto a la evolución por selección natural, que veremos más adelante.

Muchos de estos tipos precelulares adquirieron la forma de pequeñas gotas proteicas rodeadas de una película de agua, y Oparin los llamó *coacervados*.

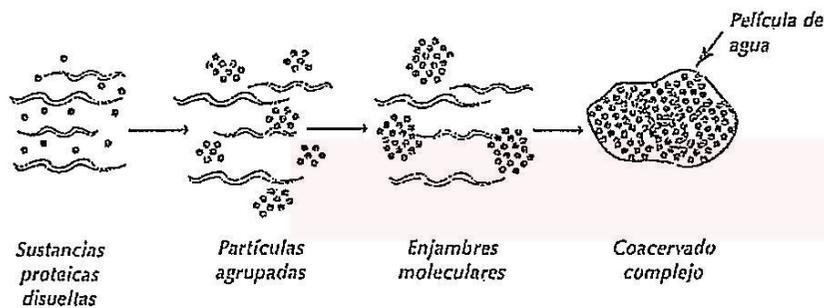


Figura 3.4
Formación de un coacervado.

Ya dijimos que el oxígeno se combinaba rápidamente impidiendo su acumulación como oxígeno gaseoso. Pero también dijimos que en la Tierra primitiva la radiación ultravioleta llegaba directamente a la superficie en ausencia de la capa de ozono. Ahora bien; esta radiación pudo disgregar el vapor de agua formado, liberando oxígeno en la atmósfera, pero este proceso es reversible, ya que el oxígeno liberado volvía a combinarse con el hidrógeno. ¿Cómo llegó entonces la atmósfera a obtener suficiente oxígeno gaseoso? Los científicos aseguran que el hidrógeno escapó de la gravedad de la Tierra evitando volver a combinarse como vapor de agua. También tenemos el caso de los iones sulfato depositados en el mar bajo la forma de minerales, y que pudieron ser desagregados por el agua, liberando oxígeno en la atmósfera. Otro proceso que aportó y sigue aportando oxígeno es la fotosíntesis, que aprovecha el dióxido de carbono y el agua transformándolos en hidratos de carbono y liberando oxígeno. La manera de evitar la reacción contraria fue, en los tiempos de la atmósfera primitiva, que los hidratos de carbono fueran enterrados entre los sedimentos para que no volvieran a combinarse con el oxígeno.

Las formas precelulares de las que hablamos fueron, sin duda, heterótrofas. Tuvo que aparecer entonces un microorganismo (quizás una bacteria) que pudiera fabricar sus propios alimentos en una especie de fotosíntesis primitiva, que en un primer momento seguramente no liberaba oxígeno. Más tarde pudo desarrollarse otro organismo que escindiera la molécula de agua como fuente de energía liberando algo de oxígeno. Pero la aparición de las demás formas de vida no fue posible hasta que hubo su-

ficiente cantidad de oxígeno como para formar ozono y proteger a la Tierra de las peligrosas radiaciones ultravioletas. Junto a todos estos procesos fue imprescindible la presencia de una molécula compleja que posibilitara la función de autopropagación, esencial para los seres vivos: el ADN.

En sus comienzos, el ADN estaba disperso en lo que ya podemos llamar una célula primitiva o célula *procarionte*⁹, como la que hoy podemos encontrar en bacterias y algas inferiores. Más tarde aparecerán estructuras más complejas dentro de la célula, como el núcleo, en donde el ADN encontrará su lugar. Son las células *eucariontes*¹⁰. Luego, las estructuras unicelulares se complejizaron y cedieron su paso a las multicelulares en donde varias células tienden a actuar en conjunto; más adelante se desarrolló toda la rica variedad de plantas y animales. De su existencia pasada o presente, se tienen evidencias directas o indirectas. Pero, ¿existen pruebas de la existencia de las primeras formas de vida?

Hacia 1965, E. S. Barghoorn, de la Universidad de Harvard, encontró en un yacimiento del África del Sur, restos fosilizados de bacterias. Son los fósiles más antiguos que se conocen y se cree que tienen más de 3.100 millones de años. De modo que todo el proceso explicado por la teoría de Oparin que llevó de los átomos más simples a las moléculas simples, de éstas a las complejas y así hasta las primeras formas de vida le insumió a la Tierra primitiva y a su atmósfera, más de 1.500 millones de años.

Notas

1. Thomas Burnet fue considerado mucho tiempo como el prototipo de la idolatría bíblica, aunque algunas de sus interpretaciones coincidan con las últimas investigaciones en física y astronomía.
2. Gould, Stephen Jay: *La flecha del tiempo*. Madrid, Alianza, 1992.
3. James Hutton fue un geólogo y químico escocés, que vivió entre 1726 y 1797. Fue autor de un principio según el cual la historia de la Tierra puede explicarse siempre por los mismos principios geológicos que actúan hoy y que actuaron en el pasado.
4. Cloud, Preston: *El cosmos, la Tierra y el hombre*. Madrid, Alianza Universidad, 1981.
5. Lewin, Roger: *Evolución humana*. Barcelona, Salvat, 1993.
6. Van Helmont podría haber evitado su error si hubiese diseñado su experimento de manera controlada. Es decir, pudo haber puesto la camisa y el trigo dentro de una caja convenientemente sellada a manera de testigo, dejándola en esas condiciones mientras durara el experimento.
7. *Ciencias Biológicas. De las moléculas al hombre*. Adaptación de la versión azul de la *Biological Sciences Curriculum Study*. Caracas, C.E.C.S.A., 1974.
8. Oparin, Alexander I.: *El origen de la vida*. México, Grijalbo, 1968.
9. Las células *procariontes* se caracterizan por no presentar un núcleo organizado y rodeado por una membrana o envoltura nuclear; su ADN se halla disperso en el citoplasma y puede adquirir la forma de un cromosoma único y circular.
10. Las células *eucariontes* presentan núcleo organizado y un sistema complejo de membranas internas y orgánulos como las mitocondrias y los cloroplastos; cada uno de ellos está especializado en determinadas funciones metabólicas.

Capítulo 4

Las teorías de la evolución antes de Darwin

Según el antropólogo Claude Lévi-Strauss¹, la capacidad de clasificar (y la vocación, agregaríamos nosotros) es algo inherente al ser humano. Siguiendo esta aptitud podemos agrupar los más diversos objetos como botellas, estampillas o herramientas, según su tamaño, su aspecto, el material que los constituye o su función. También pueden agruparse seres vivos como plantas o animales, y hasta personas.

Existen clasificaciones basadas en la observación, pero cuando se desea ir más allá de lo observado, ya no alcanza con lo que se puede ver, pesar o medir; es necesario agregar a lo que se ve que es, lo que se supone que es. Se trata entonces, de clasificaciones basadas en hipótesis o deducciones teóricas.² En uno u otro caso, sin embargo, el elemento esencial es la manifestación de ciertas relaciones entre los elementos que constituyen esa agrupación y que permiten reconocerlos como iguales o similares, frente a otros, diferentes. Desde este reconocimiento de las similitudes, hasta la constitución de una serie de etapas ordenadas en una escala que vaya de lo más simple a lo más complejo, hay sólo un paso.

Las primeras clasificaciones

Ya Aristóteles³, sin duda uno de los más grandes filósofos de la humanidad, se enfrentó con el problema de la clasificación. Existen para él seres *no vivientes*, constituidos por simples combinaciones de los cuatro elementos⁴; pero también hay cuerpos cuyas partes se hallan coordinadas entre sí, de modo que el movimiento de cada una de ellas va dirigido a un fin dado; y todas cooperan para alcanzar un fin superior. Son los seres *vivientes*, que Aristóteles llama *orgánicos*, porque sus partes son órganos o instrumentos de ese fin o función. "Es la función la que crea al órgano", nos dice, evidenciando así su idea de que todo el universo está dominado por

el principio de finalidad: los órganos existen, ya que deben cumplir ciertas funciones vitales. Los seres vivos, a su vez, forman una escala ascendente en la que se disponen según la complejidad de las funciones que deban cumplir; así existen principalmente tres grados o tres especies de vidas o *almas*: la *vegetativa*, propia de las plantas, la *sensitiva*, que se agrega a la vegetativa y es propia de los animales, y la *intelectiva*, que unida a las otras dos, hace capaz al ser humano de alcanzar el conocimiento. La vida, de esta manera, se puede ordenar en una serie continua, donde cada eslabón apenas si puede distinguirse del siguiente.

“Desde el reino inanimado a los seres vivos, la naturaleza pasa por grados tan pequeños y tan continuos, que su línea de separación se nos hace imperceptible...”

Aristóteles advierte que la vida fue aumentando en complejidad y que la inteligencia también aumenta en relación con esa complejidad.

Vista desde nuestros días, la obra de Aristóteles aparece como una gigantesca sistematización del conocimiento, bajo la cual subyace una verdadera y primigenia teoría de la evolución. A pesar de conocer sólo un reducido número de especies, intentó clasificar las plantas en hierbas, arbustos y árboles, aunque la vida animal fue lo que más atrajo su interés. Por eso se lo reconoce como el padre de la zoología, aunque se supone que tuvo sus precursores en el fecundo mundo griego anterior al siglo V. Aristóteles rechaza las clasificaciones exclusivamente dicotómicas, es decir, basadas en una continua división en dos grupos opuestos y contradictorios. En el gran grupo de los animales *sanguíneos*, incluye a los mamíferos, que él llama *vivíparos*, los pájaros, los reptiles y los anfibios, que llama *ovíparos*, y los peces. La otra gran agrupación de animales la constituyen los *carentes de sangre*, y allí incluye a los mariscos y los insectos. El hombre es considerado a veces entre los animales vivíparos y otras, lo coloca como una especie aparte.

Tan grande fue el aporte de Aristóteles que muchos especialistas afirman que la clasificación sistemática en zoología no prosperó mucho entre su figura y la de Linneo, en el siglo XVIII.

Fijismo y transformismo

El naturalista sueco Karl von Linné, más conocido como Linneo, desarrolló un sistema de clasificación basado en el concepto de *especie* ya enunciado por el inglés John Ray en el siglo XVII. Para Ray, una especie es un conjunto de individuos semejantes, que tienen antepasados comunes.

Linneo, por su parte, agrega a este concepto otra suposición: cada especie tiene un *tipo ideal*, algo así como un modelo o patrón, con el cual es posible comparar cada individuo encontrado. De esta manera los organismos fueron agrupados junto al tipo ideal que más se les parecía. En este sistema, varias especies similares podían agruparse en una categoría mayor llamada *género*; los géneros, a su vez agruparse en *familias*, éstas en *órdenes*, y los órdenes en *clases*. Las clases pueden también constituir un grupo mayor llamado *filum*, (aunque habitualmente se usa la forma latina *phylum* y su plural, *phyla*). Finalmente, todos los *phyla* constituyen los distintos reinos. Cada una de estas agrupaciones se llama *taxón*.

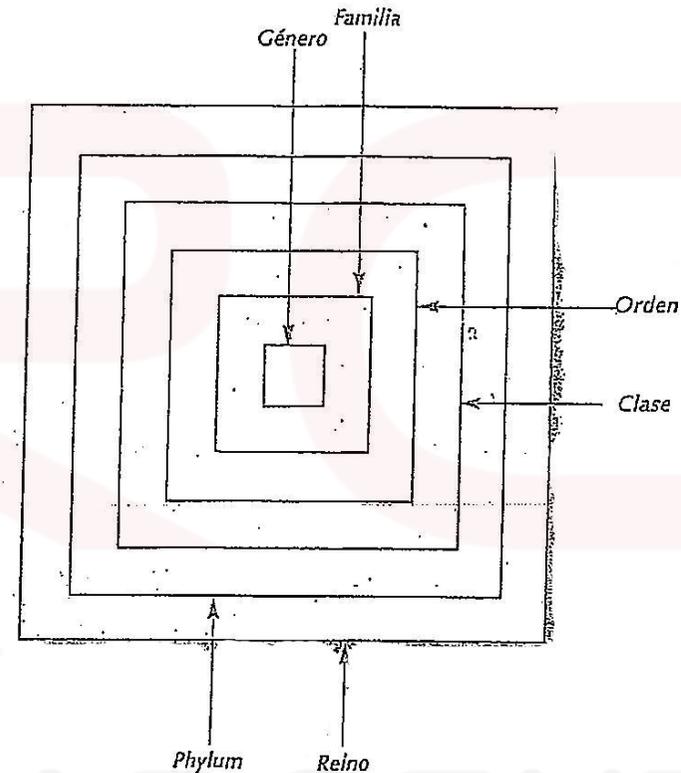


Figura 4.1
Esquema de clasificación taxonómica.

Otro de los aportes de Linneo consistió en determinar una denominación de las especies de plantas y animales que llega hasta nuestros días. Se trata de la *nomenclatura binomial* en la que cada especie lleva un doble nombre en latín, por ser ésta una lengua universalmente reconocida. Por ejemplo, el perro y el lobo pertenecen al género *Canis* pero son de especies diferentes; el perro será llamado en adelante *Canis familiaris* y el lobo, por su parte, *Canis lupus*.⁷

Ahora bien; existe un supuesto fundamental en toda la obra de Linneo, y es considerar el número de especies, *fijo, limitado e inmutable* desde la Creación. Por eso se lo erige como el principal representante de una escuela o tendencia conocida como *fijismo* o *creacionismo*: De este modo, su sistematización podría convertirse en algo así como un simple catálogo de origen divino; sin embargo, como opinan algunos autores⁸, detrás de toda teoría evolucionista se encuentra siempre un sistema clasificatorio, una descripción que permita agrupar elementos y ordenarlos, así sean objetos, plantas o animales. El resultado será siempre el hecho de poner en evidencia ciertas relaciones entre ellos. Por eso, aún sin quererlo, la taxonomía sistemática de Linneo muestra la continuidad general de las formas de vida y sus interrelaciones.

El siglo XVIII también tuvo representantes de la tendencia opuesta, conocida como *transformismo*. Entre ellos se encontraban el naturalista francés Georges-Louis Leclerc, conde de Buffon⁹, el médico y naturalista inglés Erasmus Darwin, abuelo de Charles¹⁰, y por supuesto, Lamarck, de quien hablaremos más adelante.

Sin embargo, el fijismo sobrevivió los albores del siglo XIX, en la figura de Georges Cuvier. Zoólogo y anatomista francés, vivió entre los años 1769 y 1832. Fue pionero en ambos campos y se lo considera fundador de la anatomía comparada y padre de la paleontología¹¹. Cuvier comenzó sus trabajos diseccionando todo tipo de animales; y realizando exhaustivas comparaciones entre los animales vivos que estudiaba y los restos fósiles encontrados. Elaboró además una verdadera teoría de la *correlación orgánica*, en la cual sostenía que los órganos de un animal guardaban entre sí relaciones específicas y constantes. Comparaba y correlacionaba, por ejemplo, el tubo digestivo, las garras y los dientes de los animales, y siempre concluía que a determinada estructura de aparato digestivo, correspondían un cierto tipo de dentadura o una clase especial de garras. También hacía lo propio con los restos fósiles; como dice Pierre Grassé

“Cuvier hizo de la paleontología una ciencia el día en que descubriendo en un bloque de yeso la mandíbula de un mamífero

y detallando sus caracteres, predijo lo que debería ser la estructura de los demás huesos...”

Aunque Cuvier descubre que entre las formas actuales de vida y los fósiles que encontraba había notables diferencias, y obviamente se da cuenta de la sucesión cronológica de las faunas, no abandona su fijismo, y propone para defenderlo, la *teoría catastrofista*. Grandes erupciones volcánicas y otros cataclismos habrían destruido muchas formas de vida, de las que solamente quedan sus restos fósiles; por otro lado, las nuevas formas de vida aparecidas son atribuidas a sucesivos actos de creación divina. Propone así un ciclo recurrente de catástrofes y creaciones, insostenible unos años después. Las hipótesis transformistas y la teoría de la evolución dejarían atrás estas ideas.

El abogado y entusiasta de la geología sir Charles Lyell contribuyó también al derrumbe de las hipótesis de Cuvier. En su obra *Principios de geología* desarrolló y mejoró una teoría anterior según la cual las causas de todos los cambios geológicos acaecidos en el pasado son las mismas que actúan en el presente. Mejoró las cronologías y fechados de los terrenos que estudió, basándose en las especies de moluscos, y estableció la gran extensión de los tiempos geológicos, contribuyendo aún más al establecimiento de las hipótesis evolucionistas posteriores.

El “lamarckismo”

Aproximadamente en la misma época en que Darwin nacía, el naturalista francés Jean-Baptiste de Monet, caballero de Lamarck, ya había publicado una versión de la teoría de la evolución conocida como “transformismo”, que fue rechazada en el contexto de las ideas de la época, poco preparada aún para incorporar otros conceptos que no fueran los de la creación divina.¹³

Lamarck basó su teoría en algunas premisas fundamentales. Entre ellas, la suposición de que *ciertas modificaciones en el ambiente determinan que surja en una o varias especies la necesidad de un cambio*; esta suerte de “sentimiento interno” las impulsaría a modificar sus hábitos o su propio cuerpo; siguiendo los principios que Lamarck enunció como la “ley del uso y del desuso” y la “ley de la herencia de los caracteres adquiridos”.

En la primera de las leyes explica que si algún órgano o parte del cuerpo se usa asiduamente, crecerá y se desarrollará más que las demás; por su parte, las que no se usan, se debilitarán hasta atrofiarse lenta-

mente. Si es posible estar en algo de acuerdo con Lamarck en este punto, aunque sea parcialmente, es más difícil seguirlo en su segunda ley. Allí señala que estas características desarrolladas por el uso o debilitadas por el desuso, serán transmitidas a los descendientes a través de la herencia. Así explica Lamarck la evolución: por adquisición, pérdida y transmisión de características.

Quizás lo que más contribuyó al desprestigio de la teoría fue el hecho de partir del concepto difuso de "voluntad"; ese esfuerzo empeñoso de los seres vivos para desarrollar órganos o partes del cuerpo cuando el ambiente así lo impulsara. Para Lamarck, la necesidad y la presión del ambiente estimulan al organismo individual hacia el cambio, (tesis absolutamente contraria a la que expondría años más tarde Charles Darwin, centrando su explicación en los cambios en el nivel de las poblaciones, y en las mutaciones o variaciones no dirigidas). Así desfilaron en sus escritos ejemplos de jirafas que estiraron su cuello para alcanzar las hojas de los árboles, o aves acuáticas que especializaron sus patas para mejorar la natación, o las alargaron para mantener el cuerpo fuera del agua. Reproducimos aquí una de sus explicaciones clásicas:

"La jirafa vive en sitios donde el suelo es casi siempre seco y sin hierba. Obligada a ramonear de los árboles, la jirafa se vio continuamente forzada a estirar el cuello hacia arriba. Este hábito mantenido a través de extensos períodos por cada uno de los individuos de su raza, dio como resultado que las extremidades anteriores se alargaran más que las posteriores y que el cuello se alargara también, de tal modo que pudiera elevar su cabeza a una altura aproximada de dieciocho pies, sin despreñar sus extremidades del suelo."¹⁴

Lejos de ridiculizar las hipótesis lamarckianas, es posible aceptar que la primera tiene visos de realidad. Las partes del cuerpo pueden efectivamente desarrollarse o fortalecerse con su mayor uso; de la misma manera, también la atrofia es el destino casi obligado para un órgano o parte del cuerpo que se utiliza poco o no se utiliza. Con respecto a la herencia de los caracteres adquiridos, no existe ninguna evidencia experimental que la valide. En otras palabras, no ha podido ser demostrada. Sin embargo, según Grassé, puede llegar a seducir la postura teórica que subyace detrás de sus observaciones:

"El lamarckismo, no menos lógico que el darwinismo, ve en lo viviente un sistema que reacciona por sí mismo a las influencias del medio y que es capaz de poner sus funciones de acuerdo con éstas."¹⁵

El pensamiento evolucionista

A mediados del siglo XIX, los pensadores, los científicos y hasta el público en general respiraban una "atmósfera" evolucionista. Y si fuese posible definirlo con un solo término, sería lícito decir que fue un siglo evolucionista. Al decir de Palerm¹⁶, la experiencia histórica de la Revolución Francesa entre otras, y de la Revolución Industrial de fines del siglo XVIII, llevó a las sociedades occidentales del siguiente siglo a encarar la tarea de su propia transformación. Nacido en la filosofía de la historia y en la economía política, el pensamiento evolucionista pasó a las ciencias naturales y de allí volvió al ámbito de las sociedades humanas en un mutuo enriquecimiento.

Los filósofos iluministas del siglo XVIII habían dado su impulso inicial con la noción de "progreso" que todo lo impregnaba. El filósofo Kant¹⁷ habla del progreso de la naturaleza y del ser humano. En su *Antropología* de 1798, insinuaba la posibilidad del origen animal del hombre. Por su parte, el poeta alemán Goethe formula la hipótesis de que todas las plantas derivan de una sola forma originaria, y su amigo, el filósofo alemán Johann Gottfried Herder, lo testimoniaba a su manera:

"...De las piedras a los cristales, de los cristales a los metales, de éstos a las plantas, de las plantas a los animales y de los animales a los hombres, vemos que la forma de organización se eleva"

Y en su obra *Ideas para la filosofía de la historia de la humanidad*, desarrolla su teoría sobre el vínculo orgánico que une entre sí todas las formas de vida, incluida la humana.¹⁸

Pero hasta la publicación del *Ensayo sobre el Principio de Población* de T. R. Malthus en 1798, los pensadores habían sido optimistas. Conociendo las leyes sobre las que se había edificado el pasado, era posible comprender —y someter— al futuro. La evolución era sinónimo de progreso de la humanidad, y estaba preñada de valores positivos. Sin embargo, el famoso "principio de población" es un esfuerzo de explicación y justificación de la lucha de clases agravada por la Revolución Industrial. Dice Malthus:

"El objeto principal del presente ensayo es el de examinar los efectos de una gran causa, que está íntimamente unida a la naturaleza del hombre. La causa a la que aludo es la tendencia constante en toda la vida animada a incrementarse más allá de la nutrición disponible para ella. (...) Podemos asumir con seguridad, que la población humana, en ausencia de controles, se dobla a sí misma cada veinticinco años, o sea que aumenta en razón geométrica". Y más adelante agrega: "Considerando aceptados mis postulados, afirmo que la capacidad de crecimiento de la población es infinitamente mayor que la capacidad de la tierra para producir alimentos para el hombre. La población, si no encuentra obstáculos, aumenta en progresión geométrica. Los alimentos tan sólo aumentan en progresión aritmética."¹⁹

A pesar de estos principios, la posibilidad de progreso existe para Malthus, como para los pensadores de su siglo, pero el progreso no puede ser alcanzado por todo el género humano: es sólo un privilegio de aquellos que sobreviven en la lucha por la existencia; o sea, los ricos. Y bajo el título "*De la única manera eficaz de mejorar la condición de los pobres*", escribe:

"Este deber es comprensible aún para las capacidades más humildes. Consiste meramente en que los pobres no deben traer al mundo seres para los cuales no puedan encontrar medios de subsistencia. (...) Es claro que su interés y su felicidad consisten en diferir el matrimonio". Y más adelante sentencia: "Casi todo lo que se ha hecho a favor de los pobres tiende a ocultar la verdadera causa de su pobreza. Cuando los salarios son insuficientes para mantener a dos niños, un hombre se casa y tiene cinco o seis; se encuentra así, miserablemente acongojado. Acusa a la insuficiencia de su salario (...) Acusa a la avaricia de los ricos (...) Acusa a las instituciones de la sociedad (...) A la última persona que se le ocurre acusar es a sí mismo, que es de hecho el mayor culpable."

Por eso, el posteriormente conocido como "darwinismo social" del siglo XIX le debe más a Malthus que a Darwin. De todos modos, las ideas de Malthus hacen su aporte a la obra de Darwin ya que inician un es-

tudio sistemático de la dinámica poblacional y su relación con los medios de subsistencia. Malthus funda la demografía y lo que posteriormente será la ecología de poblaciones.

Ya por los años 1850, la idea de evolución estaba totalmente difundida; quizás faltaba sólo su rigurosa formulación. Y vino de la sociología y de la mano de Herbert Spencer.²⁰ Este prolífico pensador fue completamente autodidacta, y a pesar de ello escribió una vasta obra. En sus *Estudios sobre Sociología* de 1855 y *La hipótesis del desarrollo* de 1852, se adelanta a Darwin en su exposición sobre la teoría de la evolución. Más tarde, en *Primeros principios*, dice:

"La evolución es una integración de la materia y una disipación concomitante de movimiento; durante la evolución la materia pasa de una homogeneidad indefinida e incoherente, a una heterogeneidad coherente y definida."²¹

Quizás resulte difícil desentrañar estas ideas, pero lo que Spencer quiere expresar es la idea de que la evolución en general está hecha de un sucesivo aumento de la heterogeneidad, del número de partes de un conjunto, y de la diferenciación de esas partes en formas cada vez más variadas. Todo parte de lo simple y homogéneo y llega a la complejidad diferenciada. Ahora bien, aplica este principio a la formación de los planetas, al metabolismo vegetal y animal, y al desarrollo de las familias pasando por los clanes hasta llegar al Estado. Retoma a Malthus en aquello de que la población tiende a sobrepasar los medios de subsistencia:

"Desde el principio el exceso de población ha sido causa inmediata de progreso. Ha obligado a los hombres al estado social. Ha mejorado la producción y la inteligencia de los hombres. Es la causa principal de esa lucha por la existencia, por medio de la cual los más aptos pueden sobrevivir, y que eleva el nivel de la raza."²²

Vemos claramente como los términos "*lucha por la existencia*" y "*supervivencia del más apto*" no tienen su formulación original en Darwin. De todos modos, Spencer no habla aquí de la competencia surgida entre especies animales o vegetales por su hábitat o alimento, sino de la desatada entre los hombres en la época posterior a la Revolución Industrial, frente al libre juego de la oferta y la demanda. El así llamado "darwinismo

social" que arranca con Malthus, alcanza su formulación definitiva en la obra de Herbert Spencer, y convierte el principio de selección natural en una pretendida justificación de los extremos de miseria y opresión generados por los progresos del capitalismo.

Notas

1. Lévi-Strauss, Claude: *El pensamiento salvaje*. México, Fondo de Cultura Económica, 1980.
2. Se podrían clasificar las nubes, por ejemplo, según su forma, tamaño o color. Habría así nubes alargadas, globosas, grandes o pequeñas, claras u oscuras. Sin embargo, un meteorólogo no solamente basaría su clasificación en lo que observa, sino también en lo que supone o deduce acerca de su origen y formación. Un cirro, por ejemplo es una nube clara y alargada, formada por cristales de hielo, y cuya altura oscila entre 8.000 y 12.000 metros.
3. Aristóteles nació en Estagira, ciudad de Macedonia, actual Grecia, en el 384 a.C. y murió en Eubea en el 322 a.C. Fue el discípulo predilecto de otra inmensa figura de la filosofía griega: Platón; en su Academia estudió durante veinte años. Docente por excelencia, fue llamado por Filipo, rey de Macedonia, para que se hiciese cargo de la educación de su hijo Alejandro, a quien la historia reconocería luego como Alejandro Magno. Sólo una parte de las obras de Aristóteles han llegado a nuestros días, y aún así, lo muestran resumiendo todo el saber de su época; aunque actualmente esto resulte muy difícil de entender. Por eso solamente cabe agregar que a partir de su obra se delimitaron las ciencias, puesto que sentó las bases metódicas que permitirán posteriormente a cada disciplina operar con un método propio.
4. Desde las más antiguas tradiciones prefilosóficas griegas, anteriores por supuesto a Sócrates, Platón y Aristóteles, se consideraba que todos los cuerpos estaban formados por cuatro *elementos* o principios fundamentales. Ellos eran: la tierra, el agua, el aire y el fuego.
5. Aristóteles: *Historia de los animales*, Libro VIII, cap. I. Citado en Durant, Will: *Historia de la Filosofía*. Buenos Aires, Gil, 1957.
6. Karl von Linné, fue un naturalista sueco que vivió entre los años 1707 y 1778. Especializado sobre todo en botánica, estudió la flora de varios lugares del mundo. En 1758 publicó su obra más importante, *Systema Naturae*, en donde sienta las bases de la taxonomía, disciplina que se ocupa de los principios clasificatorios, en especial, de plantas y animales.

Podemos mencionar otros ejemplos de clasificación:

MAÍZ		HOMBRE	
Especie	<i>Zea mays</i>	Especie	<i>Homo sapiens</i>
Género	<i>Zea</i>	Género	<i>Homo</i>
Familia	<i>Gramineae</i>	Familia	<i>Hominidae</i>
Orden	<i>Glumiflorae</i>	Orden	<i>Primates</i>
Clase	<i>Angiospermae</i>	Clase	<i>Mammalia</i>
Phylum	<i>Tracheophyta</i>	Phylum	<i>Chordata</i>
Reino	Vegetal	Reino	Animal

Cabe aclarar, sin embargo, que las categorías taxonómicas presentadas aquí a modo de ejemplo, son solamente las principales. A los reinos muchas veces se le agregan los llamados subreinos; a los *phyla*, los *subphyla*; las clases suelen presentar subclases, y a su vez agruparse en superclases. De la misma manera ocurre con los demás taxones: sub y superórdenes, sub y superfamilias, etc., todo lo cual vuelve más complejas las clasificaciones.

8. Palerm, Angel: *Historia de la etnología*, Volumen 2: *Los evolucionistas*. México, Alhambra Mexicana, 1982.
9. Buffon unió a su extraordinario talento de escritor, la pasión por la naturaleza. Escribió una célebre *Historia natural* en 36 tomos, considerada como ejemplar dentro de la literatura científica. Aunque no se lo puede llamar un verdadero evolucionista, fue uno de los primeros en considerar que las especies sufren variaciones a lo largo del tiempo. Además fue un pionero en tratar de calcular la edad de la Tierra, que estimó en, por lo menos, 70.000 años, aunque en algunos trabajos llegó a sugerir que podía tener más de 500.000. Este brillante pensador, contemporáneo de Linné, había nacido también en 1707 y murió en París, en 1788.
10. El médico y naturalista inglés Erasmus Darwin también fue poeta, lo que confirma el carácter polifacético de muchos pensadores del siglo XVIII. Había nacido en Eltón, en 1731, y murió en Derby en 1802, siete años antes del nacimiento de su nieto, el famoso Charles Darwin.

11. La paleontología es, por definición, la ciencia que estudia los fósiles; es decir, los restos o vestigios dejados por los seres vivos en épocas geológicas pasadas. En general, son restos petrificados por mineralización, como huesos o caparzones, pero también pueden existir huellas fósiles dejadas por un organismo en una roca blanda, y luego endurecida.

12. Grassé, Pierre P.: *La evolución de lo viviente*. Madrid, H. Blume, 1977.

13. Lamarck vivió entre los años 1744 y 1829. Estudió medicina, botánica y zoología. En su obra *Filosofía zoológica*, de 1809, expuso la teoría transformista, negando la inmutabilidad de las especies y presentando su visión evolucionista.

14. Citado en *Ciencias Biológicas. De las moléculas al hombre*. Versión azul del *Biological Sciences Curriculum Study*. Caracas, C.E.C.S.A., 1974.

15. Grassé, Pierre P.: *op. cit.*

16. Palerm, Angel: *op. cit.*

17. La obra de Immanuel Kant, quien nació y murió en la ciudad alemana de Königsberg, dominó el pensamiento filosófico alemán del siglo XVIII. Muy aficionado a la geografía y la etnografía de los países lejanos, jamás salió de su ciudad natal, en donde vivió entre los años 1724 y 1804. Su obra culminante es la *Crítica de la Razón Pura*, aunque existen muchas obras suyas de gran importancia, como *Historia natural y Teoría del Cielo*, de 1755, o la *Crítica del Juicio*, de 1790.

18. Citado en Lamanna, E. P.: *Historia de la Filosofía*. Buenos Aires, Hachette, 1964.

19. Malthus, J. R.: *Primer ensayo sobre la población*. Barcelona, Altaya 1997

20. Herbert Spencer fue un pensador inglés que vivió entre los años 1820 y 1903. En su obra *Estadística social* expuso su teoría evolucionista del progreso. Entre otras obras encontramos *Principios de Psicología* y *Estudios sobre Sociología*. Defendió la teoría de la evolución aún antes de la publicación de *El Origen de las especies* de Darwin.

21. Spencer, H.: *Primeros Principios* (en Durant, Will, *op. cit.*).

22. Spencer, H.: *Principios de Biología* (en Durant, Will, *op. cit.*).

Capítulo 5

La selección natural según Darwin

El joven Darwin había nacido en Shrewsbury, Inglaterra, el 12 de febrero de 1809. En contra de lo que pueda suponerse, y según cuentan sus biógrafos, no fue un estudiante brillante; prefería salir de cacería y cuidar a sus perros antes que dedicarse a un serio trabajo intelectual. Su padre Robert, y casi toda su familia sospechaba por entonces que Charles sólo les traería disgustos y deshonor.

En un comienzo se orienta hacia la medicina y comienza su carrera en la Universidad de Edimburgo, aunque demuestra escaso interés. No sorprende por eso su decisión de convertirse en pastor de la iglesia anglicana; para ello debe concurrir a la Universidad de Cambridge y aunque no era su principal objetivo, se inicia en la geología.

Pocos eran los años de Darwin y muchos sus vaivenes estudiantiles, de modo que cuando el capitán Fitz Roy, amigo de su familia, le propone embarcar en el *Beagle*, un barco de la corona británica que zarparía en una misión cartográfica, él acepta integrarse como naturalista. De este modo abandona Devonport el 27 de diciembre de 1831, en un viaje histórico que se extendería hasta octubre de 1836¹.

El viaje del *Beagle*

El propósito de la expedición era completar un estudio ya iniciado de la Patagonia y Tierra del Fuego, reconociendo las costas de Chile, Perú e islas del Pacífico.

La tarea de Darwin a bordo del *Beagle* fue prolífica. Desde los primeros días se destacó como un incansable observador. Recogió cientos de datos y realizó innumerables observaciones de especies animales y vegetales. Observó sobre todo por qué un grupo difiere de otro y qué características comparten. Pero su trabajo no se centró exclusivamente en la fau-

na y la flora; describió también detalladamente la geografía de los lugares que visitaba. Algunas de las primeras descripciones están relacionadas con sus impresiones al llegar al Río de la Plata:

"Durante nuestro viaje hasta el Plata no vemos nada de particular, como no sea un día una grandísima bandada de marsopas, en número de varios millares. Mientras nuestro buque corría nueve nudos por hora, esos animales pasaban por delante de la proa con la mayor facilidad y seguían adelantándonos hasta muy lejos."²

También lo asombran las características de su estuario:

"En la desembocadura del río observo con mucho interés la lentitud con que se mezclan las aguas marinas y las fluviales. Estas últimas, fangosas y amarillentas, flotan en la superficie del agua salada gracias a su menor peso específico."³

En principio, anclan en Montevideo, en la costa oriental del Río de la Plata. Allí realizan observaciones de plantas y animales, de los que Darwin llama avestruces⁴ y perdices. También describe otras aves como calandrias, benteveos y gorriones. Entre los mamíferos describe una especie de ciervo, y sobre todo dedica varios párrafos a los roedores. Le impacta especialmente el más grande, llamado *capibara* o *carpincho* y el pequeño y numeroso *tucotuco*⁵.

En las descripciones, sin embargo, también abundan apuntes acerca de los pobladores de las regiones que visita, su aspecto y sus costumbres. Desde la creencia—por cierto bastante difundida, de que el país o la cultura a la cual se pertenece, es la mejor y más "evolucionada", y que las costumbres y las creencias propias son las correctas y las únicas verdaderas, Darwin no deja de asombrarse ante la "ignorancia" de los rioplatenses:

"Mi brújula de bolsillo produce el más extraordinario asombro. (...) Produce la más intensa admiración el que yo, un extranjero, pueda indicar el camino (porque camino y dirección son dos voces sinónimas en este país llano). Sólo puede explicarse esta ignorancia por la escasez de visitas de forasteros en este remoto rincón. Me preguntan si es la Tierra o el Sol quien se mueve, si en el Norte hace más calor o más frío, dónde está España, y otra multitud de cosas por el estilo."⁶

Del Uruguay parten hacia la costa patagónica. Allí encuentran indígenas araucanos que Darwin describe en sus atuendos y costumbres y nuevamente se asombra ante la desmesura del desierto, de la llanura:

"El país entero sólo merece el nombre de desierto. Por todas partes el paisaje ofrece el mismo aspecto estéril; un suelo árido y pedregoso soporta apenas algunas matas de hierba marchita, y acá y allá algunos matorrales espinosos."⁷

Muchas veces el joven naturalista desembarca y recorre en carreta o a caballo grandes distancias, visitando ciudades argentinas como Bahía Blanca, Santa Fe y finalmente, Buenos Aires. Sus relatos y descripciones abarcan también la geología y geografía de las regiones por las cuales viaja, los accidentes del terreno, las formaciones montañosas, los tipos de suelo, los minerales y rocas que encuentra en su expedición.

Como si esto fuese poco, no sólo describe exhaustivamente toda la fauna y flora que puede observar; también toma nota de las descripciones de los pobladores del lugar, y se interesa vivamente por los fósiles. Darwin realiza excavaciones y así obtiene restos de mamíferos ya extinguidos, como los del gliptodonte, una especie de armadillo gigante.

También conoce y sufre distintos climas como los de Tierra del Fuego e Islas Malvinas, soportando toda clase de penurias e incomodidades.

El *Béagle* rodea Sudamérica, tocando las costas de Chile y Perú; llega a las islas Galápagos donde Darwin realiza una de sus más famosas observaciones. Luego cruzan el Pacífico hasta Australia y África para retornar a su patria en 1836.

Todas sus notas de viaje fueron publicadas en 1843 en un libro titulado *Viaje de un naturalista alrededor del mundo*:

Estos pinzones, aunque bastante parecidos exteriormente, difieren en sus hábitos y su dieta. Las diferencias incluyen, sobre todo, picos de distinta forma y tamaño, especializados para cada tipo de alimentación. En principio, existen pinzones terrestres y arborícolas; los terrestres tienen picos fuertes y cortos, ya que consumen semillas duras. Los arborícolas tienen picos más largos y finos, y fundamentalmente son insectívoros. Habría entonces pinzones granívoros e insectívoros, y otros de dieta mixta, pero también existen aquellos que tienen costumbres particulares como la de utilizar espinas de cactus para encontrar su alimento.

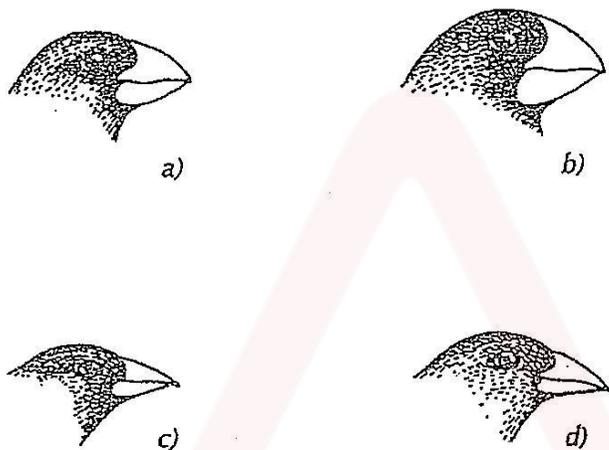


Figura 5.3
Pinzones de Darwin: a) y b) terrestres y granívoros; c) arborícolas e insectívoros; d) dieta mixta.

Ya que las islas son muy similares en cuanto a clima y paisaje, ¿cuál podría ser el origen de estas diferencias? Sin duda para Darwin, la modificación gradual de las especies, su evolución a partir de una única especie que probablemente perteneciera al continente, y que pudo llegar ocasionalmente a las islas diversificándose. Pero veamos cuál pudo haber sido el mecanismo de esta diversificación.

Darwin pensó, ya de regreso en Inglaterra, que la población de cada isla constituye una especie "incipiente" y concibe el mecanismo que podría explicar esa transmutación: la evolución por "selección natural". Pero deberán pasar más de veinte años de arduos estudios que aumentaron sus conocimientos de geología, zoología y otras disciplinas, antes de que pudiera presentar sus resultados ante la *Linnean Society* de Londres. Aunque parezca increíble, un joven naturalista inglés llamado Alfred Russel Wallace, había llegado a idénticas conclusiones por un camino independiente y desconociendo por completo la obra de Darwin; es por eso que el 1° de julio de 1858, ambos, Darwin y Wallace leyeron sus trabajos en conjunto. Ambos manifestaban, como resultaba obvio ya en ese momento, que las especies no son inmutables ni fueron creadas independientemente; que pueden cambiar y evolucionar. Lo novedoso residía en que postulan que la selección natural dirige y controla esta transformación.

Como ya fue señalado en capítulos anteriores, Darwin se sintió vivamente impresionado por los trabajos de T. R. Malthus acerca del crecimiento de las poblaciones. Señalaba Malthus que los animales, de la misma manera que las poblaciones humanas, tienen suficiente descendencia como para asegurar que la población aumente exageradamente y agote el alimento disponible, en el caso de que toda ella sobreviviera. Sin embargo, las poblaciones animales sobre todo, no aumentan de esta manera exorbitante, sino que se mantienen en un número más o menos constante; esto es porque la mayor parte de la descendencia muere antes de llegar a la edad reproductiva. Darwin hace suyas estas palabras, tratando de explicar a su vez, por qué se produce esta mortandad: los individuos que constituyen estas poblaciones no son iguales, sino que presentan características distintivas o *variaciones*. Según las circunstancias cambiantes que presente el ambiente, algunas de estas variaciones podrían resultar beneficiosas, de modo que quien las poseyera conseguiría más alimento, viviría mejor y seguramente al reproducirse dejaría mayor número de descendientes.

El punto fundamental de toda la exposición lo constituye el hecho de que, aunque Darwin desconocía los mecanismos genéticos involucrados, advierte que *las variaciones se heredan*, de modo que los individuos que dejarán más descendencia transferirán esas características distintivas a sus hijos. Los individuos con mayor probabilidad de sobrevivir, serán aquellos que presentarán las variaciones más adecuadas para hacer frente al ambiente, el clima, los competidores y los enemigos. También dejarán más descendientes y sus variaciones pasarán a la siguiente generación.

El hecho evidente de que los individuos de una misma población presenten variaciones, implica que existen individuos beneficiados y

otros perjudicados, dependiendo esto siempre de la situación concreta que se presente en el entorno. Entre ellos se establece lo que, desde el campo de la economía y de la sociología del siglo XIX, se conocía ya como *competencia*, aunque aplicada a los grupos humanos. La competencia deriva en la *lucha por la existencia*, si bien esta expresión no siempre hace referencia a enfrentamientos directos sino a todo lo que afecte a la supervivencia como el adecuado espacio o territorio, la suficiente cantidad de comida, etc. Además hay que recordar que no se trata solamente de la supervivencia de los individuos, sino sobre todo de su capacidad para dejar descendencia. Ese es el verdadero éxito: dejar numerosa prole.

De este modo y después de muchas generaciones, los individuos que hubieran presentado en principio esas variaciones que resultaron beneficiosas, sobrevivirán y transmitirán esta ventaja a sus hijos. Los *más aptos* habrán desplazado a los menos aptos en un complejo mecanismo de selección de organismos que a la manera de un filtro, va constituyendo nuevas "razas", nuevas variedades y finalmente, nuevas especies. Esto es lo que Darwin llamó "teoría de la selección natural", y que expuso en dos obras principales: *Sobre el origen de las especies por medio de la selección natural o la preservación de las razas favorecidas en la lucha por la vida* (1859) y *De la variación de los animales y las plantas por acción de la domesticación* (1868).

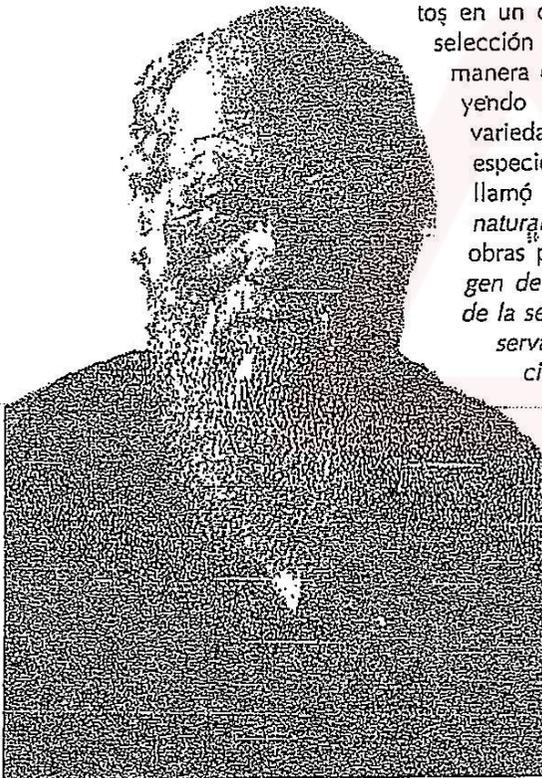


Figura 5.4
Charles Darwin

La teoría completa de Darwin, tal como fue anunciada en *Sobre el origen de las especies...* presentaba varios postulados:

- El mundo evoluciona y las especies cambian, extinguiéndose algunas y surgiendo otras nuevas.
- Todo el proceso evolutivo es lento y gradual: no existen cambios bruscos ni saltos.
- Los organismos semejantes están emparentados: descienden de un antepasado común. (Siguiendo el mismo razonamiento, Darwin llegaba a la conclusión de que era posible remontarse a un origen único para todos los seres vivos.)
- El cambio evolutivo es el resultado de la selección natural. Todo el proceso consta de dos momentos: en el primero, se genera variabilidad; en el segundo, sobrevive quien gana en la lucha por la existencia, que es quien posee la característica más ventajosa.¹⁰

Herencia y evolución

Pero Darwin tenía al menos dos cuestiones que no podía resolver con sus conocimientos: ¿Es suficiente la acumulación de variaciones para dar lugar a una nueva especie? ¿Cuál es el origen de esas variaciones?

Como no tiene una buena explicación con respecto al origen de las variaciones, ensaya hipótesis que pueden recordar los postulados de Lamarck:

"Las variaciones están directa o indirectamente causadas por las condiciones exteriores a las que fueron expuestos todos los seres vivos, sobre todo, sus antecesores."¹¹

En lo que él llama acción *directa*, las condiciones impuestas por el medio ambiente afectan la organización del cuerpo o algunas partes de éste; en la acción *indirecta* se ve afectado el sistema reproductor. Por otro lado, esas acciones pueden tener un efecto *definido*, en el que todos los organismos son modificados de la misma manera, como "empujados" hacia una dirección determinada, o un efecto *indefinido*, sin una orientación determinada. Por último considera que hay *grandes* variaciones, que produ-

cen saltos bruscos, y otras más *pequeñas* que llama diferencias individuales. Las que realmente interesan y constituyen para él la materia prima de la evolución son las variaciones *pequeñas*, individuales, que aparecen en un gran número de casos, y surgen por la acción *directa y definida* del medio ambiente, transformando una población, en un sentido determinado.

De la misma manera que Darwin y Wallace llegaron a conclusiones muy similares sin conocerse y por caminos independientes, los trabajos de Mendel acerca de la transmisión de características de padres a hijos por el mecanismo de la herencia, también permanecieron desconocidos para Darwin, lo que constituye otro ejemplo de lo que muchos autores han llamado "desencuentro científico".

Gregor Mendel¹², considerado actualmente como el "padre de la genética", experimentó durante muchos años sobre la herencia en arvejas, una leguminosa de la especie *Pisum sativum*. A pesar de la importancia y la excelencia de su trabajo, fue ignorado por la comunidad científica en el momento de su aparición pública. En efecto, Mendel presenta los resultados de su investigación a la Sociedad de Historia Natural de Brün, en 1866, pero sólo se conocen en 1900, cuando los investigadores Hugo de Vries, en Holanda, Carl Correns en Alemania y Eric von Tschermak en Austria los redescubren curiosamente, también de forma independiente. Pero veamos en qué consistían esos trabajos y cómo podían haber ayudado a Darwin en la comprensión acerca del origen y la transmisión de las variaciones.



Figura 5.5
Gregor Mendel

A mediados del siglo XIX era una creencia generalizada que los rasgos heredados por los hijos procedían de una mezcla de cierta sustancia producida por ambos padres. Siguiendo el mismo razonamiento, un nieto tenía una cuarta parte de ese "fluido" proveniente de cada uno de sus cuatro abuelos. Esta herencia, llamada *fusionada*, es completamente incompatible con la teoría de la selección natural, como Darwin mismo pudo comprobar, aunque no disponía de una explicación mejor.

Por el contrario, los postulados que Mendel expresa en forma de leyes, incluyen el concepto de herencia *particulada*.

Dice Mendel que el material que determina la constitución hereditaria de la descendencia y que se transmite por medio de los óvulos y los espermatozoides, no es un fluido miscible. Está compuesto de factores o partículas que se segregan. Más tarde, estos factores serán llamados *genes*, y a esta ley se la conocerá como *ley de la segregación* de los caracteres.

En las plantas elegidas por Mendel en sus experiencias, cada gen puede existir en dos formas alternativas. Por ejemplo, las semillas de las arvejas pueden presentar la cubierta lisa o rugosa, y a su vez, ser de color amarillo o verde. Por su parte, las flores pueden ser rojas o blancas. Salvo excepciones (que no desarrollaremos aquí), los factores heredados son *independientes* entre sí. Es decir, que la herencia del color de la flor es independiente de la herencia del color de la semilla, o de la textura de su cubierta, de modo que un individuo de la descendencia puede presentar flores rojas y semillas amarillas y lisas, o flores rojas y semillas verdes y rugosas, o cualquier otra alternativa. Esta ley se conoce como *ley de la segregación independiente*.

Otro descubrimiento interesante de Mendel lo constituye el hecho de que los factores o partículas son *estables*: no cambian fácilmente hacia otra forma diferente llamada *mutante*; sin embargo, existe una cierta probabilidad de que lo hagan, y aparezca así un nuevo carácter.

El origen de las variaciones hereditarias que tanto obsesionaba a Darwin quedaba explicado por el mecanismo de la *mutación*.

El neo-darwinismo y los avances de la genética

A partir de estos redescubrimientos de las leyes de Mendel, comienza el estudio de la herencia biológica o genética, y se inicia una nueva etapa en la comprensión del proceso evolutivo.

En el siglo XX, sobre todo entre 1930 y 1950, la teoría de la evolución fue enriquecida y mejorada con el aporte de nuevas ciencias constituyendo lo que se llamó *teoría sintética* de la evolución o *neo-darwinismo*. Toma ese nombre ya que nace de la síntesis de los conocimientos adquiridos en el marco de tres disciplinas diferentes: genética, sistemática y paleontología y gracias a la publicación de algunos trabajos fundamentales como *Genética y origen de las especies*, de T. Dobzhansky (1937), *Sistemática y origen de las especies*, de E. Mayr (1942), y *Tempo y modo en evolución*, de G. Simpson (1944).

Los avances de la genética, hicieron posible una mayor comprensión de la naturaleza de las variaciones darwinianas. Hoy se sabe que en el núcleo de todas las células que constituyen los seres vivos, existen estructuras llamadas *cromosomas*, formados principalmente por una molécula de gran tamaño llamada *ácido desoxirribonucleico*, o *ADN*. Estos cromosomas se presentan en número variable, son de distintas formas y tamaños, y en ellos es posible distinguir unidades de información hereditaria denominadas *genes*, que son los "factores" o "partículas" de las que hablaba Mendel.

Los genes determinan cada uno de los caracteres distintivos de los seres vivos. Por ejemplo, en las células de *Pisum sativum*, las plantas con las cuales trabajaba y experimentaba Mendel, existen genes para el color de la semilla, para la textura de su cubierta, o para el color de sus flores, entre otros. En el hombre, existen genes que determinan el color de los ojos, el tipo de cabello, o la presencia de enfermedades o anomalías como la hemofilia, el daltonismo o el albinismo. El conjunto de todas las características genéticas de los seres vivos se llama *genotipo*. Sin embargo, sólo una pequeña parte de este genotipo se manifiesta y puede ser observado: es el llamado *fenotipo*.

Todas las células del cuerpo se originaron por mecanismos de multiplicación a partir de una única célula inicial llamada *cigota*. A su vez, esta cigota proviene de la unión del *espermatozoide* y el *óvulo*, llamados respectivamente *gameta masculina* y *gameta femenina*. Cuando se produce esta unión, cada gameta aporta un cromosoma de cada clase, de modo que al constituirse la cigota ésta no presentará un cromosoma, sino un par de cromosomas de cada clase. Las sucesivas divisiones producirán células hijas con la misma dotación cromosómica. Por ejemplo, en el hombre existen 23 pares de cromosomas en cada célula, y cada miembro del par deriva de cada progenitor.¹³

Cada cromosoma tiene entonces, numerosas unidades de información, los genes, que gobiernan la presencia o la ausencia de determina-

do carácter. Como los cromosomas se encuentran formando pares, en cada par existen, por lo menos, dos genes que gobiernan esa misma característica y a los cuales llamamos *alelos* (en los trabajos de Mendel los alelos serían, por ejemplo, flor blanca-flor roja).

Los alelos no tienen por qué ser idénticos, ya que uno proviene del padre y el otro, de la madre. Para usar una forma común de expresión en genética, uno puede presentar la variante o el alelo que puede designarse como *A*, y el otro, la variante *a* (usando siempre la misma letra, mayúscula o minúscula, para cada característica). De igual manera, ambos pueden llevar el alelo *a*, o ambos el *A*.

Un individuo con dos *A* difiere de aquel que posee dos *a*, y como dice C. H. Waddington¹⁴, cabría esperar que un individuo con un gen *A* y otro *a* presentara caracteres intermedios. Sin embargo, en general, el individuo *AA* es idéntico al *Aa*, aunque la expresión externa de ese genotipo, (o sea, su fenotipo) sea la misma.

De esta manera, y para estos casos, se tienen tres genotipos: *AA*, *Aa* y *aa* y solamente dos fenotipos. Los individuos *AA* y *Aa* expresan el fenotipo que llamamos *dominante*, y los individuos *aa* expresan un fenotipo que llamamos *recesivo*.

En el siguiente cuadro pueden observarse los genotipos con sus denominaciones científicas y los correspondientes fenotipos:

GENOTIPOS	FENOTIPOS
AA (Homocigota dominante)	Dominante
Aa (Heterocigota)	Dominante
aa (Homocigota recesivo)	Recesivo

Según puede apreciarse en el cuadro, para manifestar una característica recesiva, son necesarias dos *a*. Un ejemplo servirá de modelo explicativo: en el caso del *albinismo*, una anomalía muy conocida que se evidencia por la ausencia de pigmentación en la piel, los genotipos *AA* y *Aa* presentan pigmentación normal, mientras que los *aa*, son albinos, por eso se dice que el albinismo está controlado por un gen recesivo.

Existen casos más complicados como los que señala Dobzhansky en sus trabajos. En los casos que él investiga, como el de la "mosca de la fruta" o *Drosophila melanogaster* (especie famosa por otra parte por su intervención en experimentos de genética), la situación es más compleja. El gen conocido como *W*, que determina el color rojo normal de los ojos, tiene numerosas variantes (y no solamente dos como hasta ahora se venía señalando) como *We*, *Wa*, etc., que determinan otros colores para los ojos. Estas variantes son *mutaciones*, pero no en el sentido de salto brusco de una característica de todo el organismo, como se pensaba antes, sino de alteración mínima en un solo gen. Estas variaciones o alteraciones no son provocadas por cambios en el ambiente, sino que son totalmente *aleatorias*: se producen por simple *azar* y no tienen una dirección prefijada, como suponía Darwin en un comienzo.

¿Azar o necesidad?

Todo el proceso evolutivo incluye, como se mencionó a lo largo de este capítulo, una producción originaria de variabilidad, y sobre ésta, la selección de las variedades favorecidas según las circunstancias ambientales, y que a través del tiempo, se convertirán en las mejor adaptadas al medio.

En las primeras décadas del siglo XX, H. de Vries, ya mencionado, T. Morgan, W. Bateson y otros genetistas prestigiosos, destacaron la importancia de las mutaciones en el proceso evolutivo. Según la concepción que sustentaron, conocida como *mutacionismo*, el cambio evolutivo depende de la aparición de mutaciones favorables¹⁵, y como la mutación es un proceso azaroso, aleatorio, los mutacionistas reducen la evolución a un proceso determinado por el azar. La selección de las características sólo aparece para eliminar a los menos favorecidos.

Hoy en día se acepta que la evolución biológica consta de dos etapas: en primer lugar, la *variación genética* aparece en escena por medio de las *mutaciones* (y de otros procesos como los de recombinación genética, que no desarrollaremos aquí, y que tienen lugar en el momento de formación de las gametas). En segundo lugar, la *selección natural* es la responsable de la multiplicación de unas variantes y de la eliminación de otras; esto depende del efecto que produzcan en la adaptación de los organismos a su medio.

Las mutaciones se producen indudablemente al azar, y aparecen aunque no resulten de ninguna utilidad para los organismos, ni presen-

ten ventajas adaptativas sobre las características iniciales. Por el contrario, la selección natural es direccional, y favorece las variantes ventajosas que en general, representan la minoría. Sin embargo, una no podría existir sin la otra. Como las mutaciones aportan las alternativas sobre las que actúa la selección natural, sin ellas la evolución no ocurriría, y como las mutaciones son azarosas y muchas veces desventajosas, sin la selección natural, conducirían a la extinción de la vida. Es por eso que son dos procesos conjuntos e inseparables. Y como dice Francisco Ayala:

"La teoría de la evolución nos muestra al azar y la necesidad intrincados en el meollo de la vida; la causalidad y el determinismo entrelazados en un proceso natural que ha producido los seres vivos —las realidades más complejas del universo— y entre ellos el hombre, capaz de pensar y de amar, capaz de libre albedrío y de analizar el proceso mismo de la evolución que le ha dado origen."¹⁶

Notas

1. Thuillier, Pierre. "¿Darwin était-il darwinien?". En *La Recherche*, nº 129, 1982.
2. Darwin, Charles. *Un naturalista en el Plata*. Buenos Aires, Centro Editor de América Latina, 1978. Esta es una traducción abreviada de la edición original inglesa que fue titulada *A naturalist's voyage round the world in H.M.S. "Beagle"* y que vio la luz en Londres, en 1843. Por otra parte, las "sociables" marsopas que menciona Darwin, y que acompañan al buque durante un buen trecho, son mamíferos cetáceos, parecidos a los delfines que suelen habitar los mares del Sur.
3. Darwin, Charles, *op. cit.*
4. Hay que recordar que los naturalistas que viajaban por el mundo ubicaban taxonómicamente las especies que encontraban según las clasificaciones del Viejo Mundo. Es así como muchas veces las especies halladas no son exactamente las mismas que las europeas, pero igualmente se les da el nombre ya conocido. Los avestruces que menciona Darwin son en realidad ñandúes, pertenecientes a la especie *Rhea americana*.
5. El *carpincho* o *capibara* es un mamífero del orden de los roedores. Es el mayor de los roedores vivientes, ya que puede medir hasta un metro de largo. Es una especie actualmente protegida en la Argentina, pues fue muy perseguida por la calidad de su cuero. El *tucotuco* es un pequeño roedor del género *Ctenomys*, muy frecuente en la región en la cual desembarcó la expedición del capitán Fitz Roy. Entre las más comunes se encuentran la especie brasileña *C. brasiliensis*, y *C. talarum*, en la provincia de Buenos Aires, República Argentina.
6. Darwin, Charles, *op. cit.*
7. Idem.
8. Darwin, Ch. *Autobiografía (1) y (2)*. Selección de Francis Darwin. Madrid, Alianza, 1977. También puede consultarse el clásico texto de J. Huxley y H. D. B. Kettlewell: *Darwin*. (Barcelona, Salvat, 1985.)
9. El concepto de población, central en esta discusión, se refiere a un grupo de individuos de la misma especie, pero que además comparten un hábitat común; es decir, que no existen barreras que impidan su reproducción.
10. Mayr, Ernst. "La evolución". En *Investigación y Ciencia*, nº 26, noviembre 1978.
11. Thuillier, Pierre. *op. cit.*
12. Gregor Mendel fue un monje agustino que vivió entre los años 1822 y 1884, o sea, que sobrevivió dos años a Darwin. Trabajaba intensa y silenciosamente en el jardín de su monasterio en la ciudad austro-húngara de Brün (hoy Brno, ex Checoslovaquia). Sus trabajos son considerados aún hoy como un ejemplo de la aplicación del método científico.
13. Las gametas, como el óvulo y el espermatozoide, son células *haploides*, ya que presentan un cromosoma de cada clase. Todas las demás células del cuerpo, son llamadas *diploides*, ya que presentan un par de cromosomas de cada clase. Como puede deducirse, cada par estará formado por un cromosoma proveniente de la gameta masculina y otro, de la gameta femenina.
14. Waddington, C. H.: *Teorías de la evolución*. En S. A. Barnett y otros, "Un siglo después de Darwin. 1, La evolución". Madrid, Alianza, 1985.
15. Ayala, Francisco J.: *Origen y evolución del hombre*. Madrid, Alianza Universidad, 1995.
16. Idem.

Capítulo 6

La evolución de la vida sobre la Tierra

Como señalamos en el capítulo anterior, la selección natural es un proceso que favorece el incremento de algunas variantes genéticas en detrimento de otras, que tienden a desaparecer. Ahora bien, variar no siempre significa evolucionar en el sentido darwiniano, y esto depende de cuáles sean las variaciones seleccionadas. Es decir, que la selección natural no siempre actúa de la misma manera. Ahora veremos cuáles son los mecanismos que se relacionan con la evolución de las formas vivientes y con la formación de especies nuevas; cómo fueron apareciendo las distintas especies desde la formación de la Tierra y por qué algunas de ellas desaparecieron, extinguiéndose para siempre.

Selección y aislamiento reproductivo

Como adelantamos, la selección natural no es un mecanismo uniforme; no siempre favorece las mismas variaciones ni privilegia idénticas adaptaciones. Por extraño que parezca, una variación que hace a un individuo demasiado visible para sus depredadores, puede resultar beneficiosa si consigue también atraer a las hembras y aumentar así su tasa reproductiva.

Existen por lo menos tres formas de selección natural. En la selección *normalizadora* o *estabilizadora*, se favorecen los valores intermedios de alguna variable en particular, por lo cual la población tiende a ser cada vez más uniforme.

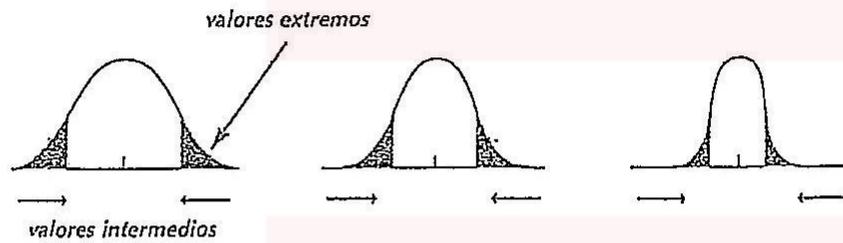


Figura 6.1
Selección natural normalizadora.

Por ejemplo, la mortalidad en los recién nacidos es muy alta si pesan poco al nacer, pero también si el peso es excesivo. Tienen entonces mayores posibilidades de sobrevivir, los que presentan valores intermedios de peso.

Como se observa en la figura, al cabo de varias generaciones, la variabilidad será mucho menor.

En la selección *direccional*, se favorece alguno de los valores extremos, por lo cual la distribución se desplaza hacia el extremo seleccionado, cambiando gradualmente la constitución genética de la especie.

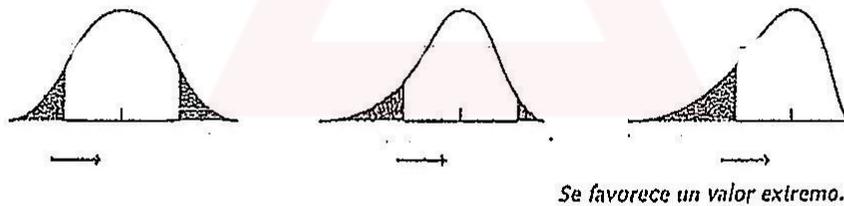


Figura 6.2
Selección natural direccional.

Este tipo de selección se da sobre todo cuando se producen cambios ambientales bruscos, o cuando una especie se instala en un nuevo territorio con diferentes condiciones ambientales de las de su ambiente original.

Por el contrario, la selección llamada *diversificadora*, mantiene, en principio, la diversidad de fenotipos, pero luego selecciona los valores extremos, de modo tal que la población inicial se va diferenciando cada vez más en dos grupos separados. Es por eso que también se la llama selección *disruptiva*.

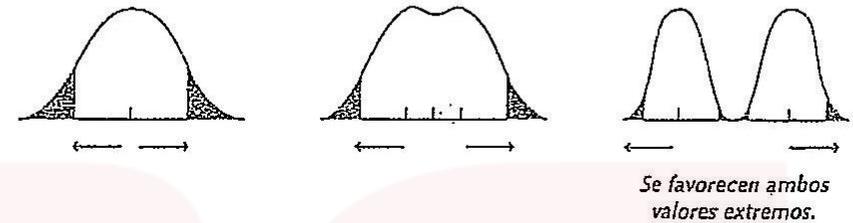


Figura 6.3
Selección diversificadora o disruptiva.

Según el biólogo Francisco Ayala, la pigmentación de la piel en los seres humanos, apareció como resultado de la selección diversificadora¹. La vitamina D, necesaria para fijar el calcio en los huesos, se produce en las capas más profundas de la piel, en un proceso en el que interviene la radiación solar. En las latitudes donde las horas de sol son escasas para sintetizar suficiente vitamina D, serán seleccionados los fenotipos de piel más clara. Allí donde haya mucha radiación, como en los trópicos, los fenotipos seleccionados a lo largo del tiempo, serán los más oscuros.

Como puede observarse en las figuras, la selección diversificadora o disruptiva puede llevar a una población a subdividirse en dos subpoblaciones diferentes. Pero eso no basta para constituir dos especies diferentes. Si las especies, por definición, son conjuntos de individuos *interfértils*, o sea, que pueden cruzarse entre sí, es necesario su *aislamiento reproductivo* para que las dos subpoblaciones lleguen a considerarse dos especies distintas, es decir, que constituyan dos grupos reproductivamente aislados entre sí.

Existen varios mecanismos que impiden la reproducción; el que se señala más comúnmente hace hincapié en las barreras de tipo *geográfico*, como ríos o montañas, que no permitirían que dos individuos puedan cruzarse, aunque muchos no los consideran verdaderos mecanismos de aislamiento, ya que no son propiedades biológicas de los individuos sino de los ambientes en donde viven.

Otros mecanismos pueden ser de tipo *ecológico*, en los casos en que los individuos pertenezcan a poblaciones que a pesar de vivir en el mismo territorio tengan hábitats diferentes, y por esa razón no se encuentren; por ejemplo, en las partes más altas de los árboles, y en los arbustos de pequeña alzada. También puede existir un aislamiento *temporal*, en donde la madurez sexual de los individuos involucrados no ocurra al mismo tiempo, ni en la misma estación del año, haciendo imposible toda cruce exitosa.

Por último se podría señalar un aislamiento de tipo *mecánico*, en el cual el tamaño o la forma de los genitales impida la cópula.²

Según algunos científicos, algún tipo de selección natural, preferentemente la diversificadora, trae como consecuencia el aislamiento reproductivo. Otros piensan que puede existir una primera causa accidental que interrumpa el intercambio de genes entre dos grupos y los vuelva diferentes; podría tratarse de un cambio ambiental o de una barrera geográfica. Luego aparecerían los verdaderos mecanismos biológicos de aislamiento reproductivo, como los mecánicos o los temporales. La selección natural actuaría entonces favoreciendo estos mecanismos de aislamiento que impidan el cruzamiento entre los dos grupos.

Sea cual fuere la forma en que se originaron, el hecho es que las distintas especies poblaron la Tierra ocupando todos los hábitats disponibles, aunque en esta ocupación, muchas no pudieron subsistir y desaparecieron.³

La "biodiversidad" y su evolución

La historia de la vida sobre la Tierra no es gradual y uniforme. Los primeros episodios transcurren en la soledad de un planeta sin oxígeno y duran cientos de millones de años. Pero a medida que avanzamos, las especies se multiplican y diversifican, la corteza terrestre, el clima y la atmósfera cambian. Las etapas se acortan cada vez más; es como si el tiempo se acelerara produciendo nuevas variaciones, probando nuevas adaptaciones para sobrevivir. Todo sucede en 3.500 millones de años.

La aparición de la vida, según explicamos en los capítulos anteriores⁴, reúne una cantidad tal de hechos fortuitos que debieron darse sucesivamente, que no es extraño que muchos quieran explicarla por un ac-

to divino de creación. Fue necesaria una atmósfera especial, condiciones adecuadas de temperatura, radiaciones ultravioletas incidiendo sobre la Tierra sin el escudo protector de la capa de ozono, erupciones volcánicas, etc. Todo esto, junto a una cantidad de compuestos químicos que ya habían comenzado a sintetizarse desde el primer instante después del *Big Bang*, dio como resultado la formación de los primeros compuestos químicos fundamentales para la vida: los aminoácidos. Estos dieron lugar a las proteínas y otras sustancias orgánicas, sobre todo una de ellas que presentaba una nueva propiedad, hallada en todas las formas de vida que surgieron después: la de hacer una copia de sí misma. Efectivamente, la presencia de los ácidos nucleicos marca una brecha entre el mundo vivo y las moléculas orgánicas más complejas, aunque seguramente debió pasar mucho tiempo hasta que las moléculas de los ácidos nucleicos se rodearan de una membrana externa de protección y constituyeran las primeras células.

Desde la formación de la Tierra, hace unos 4.500 millones de años, hasta la aparición de las primeras formas de vida, transcurrieron mil millones de años. Efectivamente, en ese momento aparecen los primeros organismos vivos, las bacterias; aunque se necesitó mucho tiempo más para desarrollar núcleos organizados y organelas intracelulares encargadas de diferentes funciones, como los *cloroplastos* o las *mitocondrias*⁵.

Como se ha hecho evidente en el último siglo, la historia de la Tierra no puede contarse en cientos ni en miles de años, como se sostenía en el siglo XVII. Cuando comenzaron a hallarse restos de partes duras de organismos, llamados *fósiles*, en distintos estratos de la corteza terrestre, se inició una nueva disciplina, la *geocronología*, que mide y divide los tiempos geológicos⁶. Así se determinan intervalos mayores llamados *eras*, y otros menores: los *períodos*.

En las sistematizaciones más clásicas del tiempo geológico, se consideran tres grandes eras: *Paleozoica* ("vida antigua"), que comienza alrededor de 570 millones de años atrás, *Mesozoica* ("vida intermedia") desde 240 millones y *Cenozoica* ("vida moderna"), que se extiende desde unos 65 millones de años hasta la actualidad.

Los tiempos anteriores a la era Paleozoica carecían de registros fósiles, aunque la lenta evolución desde los compuestos inorgánicos, los orgánicos más sencillos, los que adquirieron la capacidad de autoduplicarse, los organismos procariontes, los primeros eucariontes y finalmente los multicelulares, llevó casi tres mil millones de años. Toda este período fue llamado *Precámbrico* por ser anterior al *Cámbrico*, primer período de la era Paleozoica.

El Precámbrico puede dividirse en tres períodos. En el primero de ellos supuestamente no hubo vida; sino solamente la lenta evolución de los compuestos inorgánicos a orgánicos; por eso se lo conoce como *Azoi-*

co. Los otros dos períodos son: el *Arqueozoico* y el *Proterozoico*, y durante su transcurso aparecen los organismos procariontes, hace 3.500 millones de años, y los primeros eucariontes unicelulares, hace 1.500 millones de años y finalmente, los multicelulares. Junto con estos últimos se desarrollaron los procesos de división celular conocidos como mitosis y meiosis, y una característica fundamental para la aparición de formas cada vez más variadas, a la vez causa y consecuencia de la evolución de las especies por medio de la selección natural: la reproducción sexual.⁷

Durante el Precámbrico, la Tierra asiste a la diversificación de la vida en los cinco reinos conocidos.

- *Moneras*: organismos unicelulares-procariontes, como las bacterias.
- *Protistas*: organismos unicelulares eucariontes como los protozoos ciliados.
- *Hongos*: organismos multicelulares que se nutren a partir de la descomposición de la materia orgánica.
- *Plantas o Metafitas*: organismos pluri o multicelulares autótrofos, es decir, que realizan fotosíntesis.
- *Animales o Metazoos*: organismos multicelulares heterótrofos.

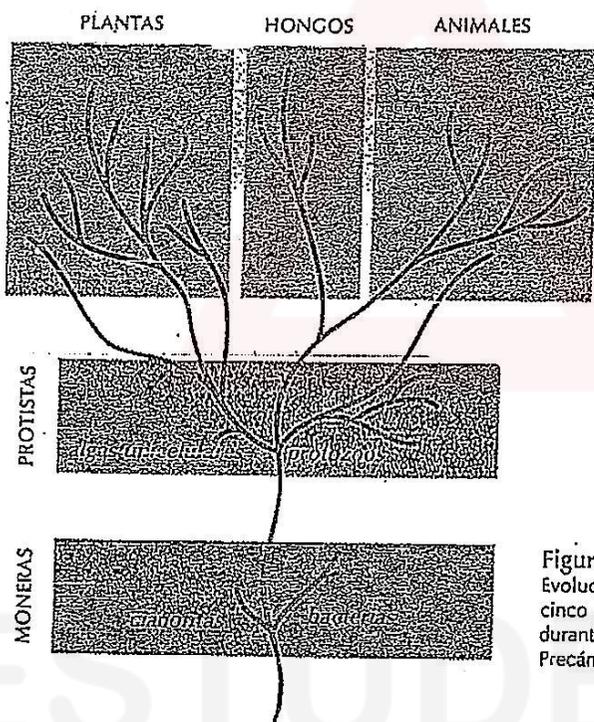


Figura 6.4
Evolución de los cinco reinos durante el Precámbrico.

Cada uno de los reinos considerados apareció sobre la Tierra, primero en sus formas más primitivas, y luego aumentando generalmente a la manera de una "explosión" en número y variedad, colonizando la mayor cantidad de ambientes posibles.

Muchas veces, después de esta gran diversificación sobrevino una extinción no menos importante. Aunque más adelante desarrollaremos este tema, según R. Leakey⁸, las especies no duran demasiado: las de los invertebrados, por ejemplo, viven entre 5 y 10 millones de años, y para los vertebrados esta cifra es aún menor. De esto concluye que más del 99 % de todas las especies que han existido sobre este planeta ya han desaparecido.

De todos modos, sólo con ese pequeño 1 % restante, ya podemos apreciar la diversidad existente en cada reino, y la que pudo haberse desarrollado.

El reino *Moneras* incluye no sólo las bacterias sino también todos los organismos llamados procariontes, por ejemplo, las algas azul-verdosas o *cianofitas*.

Los *Protistas* por su parte, cuentan con variedades de organismos unicelulares pero ya del tipo eucarionte, con núcleo organizado. Algunos presentan un flagelo con el cual se movilizan en el agua: son los *flagelados*.⁹ Otros tienen pequeñas ciliadas parecidas a pelos (*ciliados*), y muchos se cubren con una especie de caparazón protector o exoesqueleto, como los *foraminíferos*.

Los *Hongos* son colocados en un reino aparte por su nutrición especial, que incluye una especie de absorción de materia orgánica en descomposición.

Los dos reinos que siguen en complejidad son, seguramente, más conocidos.

Las *plantas o Metafitas*, como organismos autótrofos, fotosintéticos y pluricelulares cuentan con una variedad que se inicia ya en la era Paleozoica y que comienza con las *algas* multicelulares de distintos colores: rojas, verdes, pardas, etc.

Luego aparecen los *musgos*, pequeñas plantitas que presentan un tipo de reproducción que alterna los ciclos sexuales con los asexuales.¹⁰

Los *helechos* inician la serie de plantas que llamamos *vasculares*, o sea, que poseen vasos de conducción del agua y de las sustancias elaboradas, pero que aún conservan el mismo tipo de reproducción alternante de los musgos.

Las plantas con verdadera reproducción sexual y producción de semillas están representadas por las *gimnospermas*, que presentan piñas o conos, y las *angiospermas*, con verdaderas flores y frutos.

Los animales heterótrofos, multicelulares o *Metazoos*, por su parte, suelen dividirse en dos grupos: los *invertebrados* y los *vertebrados*. En su evolución también se observa cómo paulatinamente fueron ganando y colonizando los ambientes terrestres.

Las *esponjas* y los *corales* son los invertebrados acuáticos (en general, marinos) más primitivos. Suelen presentar un esqueleto externo protector y un cuerpo semejante a una bolsa por donde entra y sale el agua incorporando alimentos y eliminando desechos.

También son invertebrados algunos gusanos parásitos, como las *tenías* y los *áscaris*, y otros de vida libre, como las *lombrices de tierra*.

Los *moluscos* están representados por las almejas, los pulpos y los caracoles, entre otros.

Los *artrópodos* son invertebrados que ya presentan un avance en la locomoción y en la colonización terrestre. Su nombre proviene del hecho de que poseen apéndices articulados.

Los *crustáceos*, como los camarones y los cangrejos, son artrópodos, y también lo son los *insectos*, los *arácnidos* y los *ciempiés*.

Un grupo de invertebrados marinos bastante raro y de dudosa ubicación en la escala evolutiva es el de los *equinodermos*, conocidos algunos de ellos como "estrellas de mar".

Dentro de los vertebrados, encontramos cinco grupos importantes, que van desde los completamente acuáticos a los terrestres. Los *peces* pueden poseer esqueleto de cartílago; por eso se llaman *peces cartilaginosos*. Los que poseen verdadero esqueleto de hueso, son los *peces óseos*.

Los *anfibios*, como las ranas, los sapos y las salamandras, pueden vivir en la tierra y en el agua, marcando una transición evolutiva hacia la conquista del medio terrestre.

Los *reptiles* terrestres a su vez, se diversifican actualmente en tortugas, cocodrilos o serpientes. Los *dinosaurios*, como veremos, fueron un importantísimo grupo de reptiles que dominó la era Mesozoica, y se extinguió dramáticamente hace 65 millones de años.

Las *aves* y los *mamíferos* dominaron completamente la Tierra, y su diversificación fue grandísima. Los mamíferos lograron colonizar casi todos los hábitats, desarrollando adaptaciones que les permitieron volar, como los murciélagos, nadar, como las ballenas, correr veloces carreras como lo hacen los tigres, los caballos o los ciervos, o dominar con su inteligencia todas las demás especies poniendo en riesgo su propia supervivencia, como los seres humanos.

Ahora veremos cómo evolucionan estos grupos a través de las distintas eras.

La historia evolutiva de la vida

La era *Paleozoica* o Primaria, comenzó hace 570 millones de años. Los primeros registros fósiles encontrados pertenecen a esta época. Es la era de los anfibios y los helechos por excelencia que alcanzan su mayor desarrollo y diversidad. Está dividida en seis períodos: *Cámbrico*, *Ordovícico*, *Silúrico*, *Devónico*, *Carbonífero* y *Pérmico*¹¹. En el siguiente cuadro, pueden apreciarse los períodos de la era paleozoica, y las formas de vida que aparecieron en cada uno de ellos.

ERA PALEOZOICA	
CÁMBRICO	Comenzó hace 570 millones de años. Hubo una gran diversificación de animales pluricelulares. Aparecen los primeros artrópodos con exoesqueleto: los <i>trilobites</i> .
ORDOVÍCICO	Comenzó hace 505 millones de años. Se desarrollan los moluscos primitivos y los <i>equinodermos</i> . Abundan los <i>corales</i> y los <i>moluscos</i> primitivos que luego se diversifican dando lugar a los caracoles y los bivalvos. Dentro de los vertebrados, aparecen los primeros <i>peces cartilaginosos</i> primitivos.
SILÚRICO	Comenzó hace 435 millones de años. Los <i>invertebrados</i> se expanden y se diversifican. Evolucionan los <i>peces cartilaginosos</i> y aparecen los primeros <i>peces óseos</i> primitivos recubiertos por placas óseas.
DEVÓNICO	Comenzó hace 408 millones de años. Corresponde a la gran expansión de los peces. Aparecen los primeros <i>anfibios</i> . Es también el período de los <i>helechos</i> en formaciones boscosas de gran número. Se comienza a colonizar de esta manera, el medio terrestre.
CARBONÍFERO	Comenzó hace 360 millones de años. Se conquista progresivamente el medio terrestre. Entre las plantas, aparecen las <i>gimnospermas</i> . La fauna se enriquece con los primeros <i>reptiles</i> .
PÉRMICO	Comenzó hace 286 millones de años. Se produce una extinción masiva de especies: la mayoría de los invertebrados marinos y muchas especies terrestres. Se calcula que se extingue el 96 % de las especies.

Según el cuadro anterior, hacia fines del Pérmico, se produjo una gran extinción que redujo a su mínima expresión las formas de vida existentes. Pero en esa misma era ya habían ocurrido dos fenómenos similares aunque de menor envergadura: uno fue entre el ordovícico y el silúrico, hace 430 millones de años, y el otro fue hace 350 millones de años, en el devónico. Suman así para esta era, tres extinciones.

La era *Mesozoica*, también llamada Secundaria, tuvo su lento inicio hace 245 millones de años. Se la conoce como la era de las gimnospermas y de los reptiles por el importante desarrollo que tuvieron estos grupos. Encontramos en ella tres períodos: *Triásico*, *Jurásico* y *Cretácico*. Los desarrollamos en el siguiente cuadro:

ERA MESOZOICA	
TRIÁSICO	Comenzó hace 245 millones de años. En este período aparecen los primeros <i>dinosaurios</i> . Las <i>gimnospermas</i> que ya habían aparecido en el período anterior, evolucionan y se diversifican. Hacia el final del Triásico, una nueva extinción masiva de especies se suma a las anteriores.
JURÁSICO	Comenzó hace 208 millones de años. Después de la extinción del Triásico tardío, los <i>dinosaurios</i> sobrevivientes se extienden rápidamente y se diversifican en grupos de distintos hábitos alimentarios y muy distintos tamaños: pequeños y gigantes, carnívoros y herbívoros. En ese período evolucionan las primeras <i>aves</i> , a partir de los dinosaurios. Aparece un tipo muy primitivo de mamíferos, que luego desaparecen.
CRETÁCICO	Comenzó hace 144 millones de años. Es el período de las plantas con flor: las <i>angiospermas</i> más primitivas, y en una suerte de adaptación mutua y paralela, también es el apogeo de los <i>insectos</i> polinizadores. Los primeros mamíferos más evolucionados aparecen sobre la Tierra y sobreviven a la quinta extinción de hace 65 millones de años, que termina con la vida de todos los dinosaurios y muchas otras especies.

La extinción de fines del Cretácico que terminó con los dinosaurios plantea desde hace mucho tiempo un gran interrogante: ¿cuál fue la causa de las extinciones?

Para las extinciones anteriores se han barajado hipótesis relacionadas con un enfriamiento de todo el planeta que podría haber acabado con la vida de los animales más adaptados al clima cálido, o con cambios en la salinidad de los océanos. De todos modos, la pregunta original subsiste, pero ahora transformada en: ¿cuál fue la causa de estos cambios climáticos mundiales?

La causa más comúnmente aceptada hasta ahora es que ciertos episodios catastróficos y regulares, como por ejemplo, una lluvia de meteoritos o cometas, pudieron haber afectado de manera importante el clima global, trayendo como consecuencia la muerte de gran parte de los seres vivos. En el caso de la extinción del Cretácico, se sostiene que el impacto de los meteoritos pudo haber levantado una nube de polvo de tales dimensiones que por mucho tiempo ocultó los rayos del sol. De esta manera la fotosíntesis vegetal se vio interrumpida, afectando la base de las cadenas alimentarias y los grandes animales herbívoros que se nutrían de ella. También se pudo haber producido un gran enfriamiento global, por esta u otra causa, causando la extinción de muchos grupos marinos.

La era *Cenozoica* puede subdividirse a su vez, en el período *Terciario*, en el que se diversifican los mamíferos, y el *Cuartario*, que asiste a la evolución del hombre.

En el Terciario se distinguen cinco épocas: *Paleoceno*, *Eoceno*, *Oligoceno*, *Mioceno* y *Plioceno*; por su parte el Cuartario se divide en el *Pleistoceno* y el *Holoceno* o Reciente.

La Cenozoica es la era del apogeo de los mamíferos. En esa era evolucionan y se diversifican ocupando distintos hábitats y adquiriendo las más diversas adaptaciones. También se desarrollan las aves, y entre las plantas, dominan las angiospermas.

ERA CENOZOICA	
PERÍODO Terciario	
PALEOCENO	Comienza hace 65 millones de años. Los mamíferos del Cretácico comienzan a diversificarse y a migrar. Aparecen los primeros primates. En Sudamérica se desarrollan los <i>marsupiales</i> que luego pasarán a Australia.
EOCENO	Comienza hace 58 millones de años. Muchos de los mamíferos que viven en la actualidad se desarrollaron en esa época. Entre ellos, <i>herbívoros</i> como los conejos, caballos, roedores y rumiantes, y <i>carnívoros</i> como los felinos y los perros.
OLIGOCENO	Comienza hace 37 millones de años. El clima cálido y húmedo de los dos períodos anteriores, cambia. La temperatura baja y se secan muchos bosques. Evolucionan los <i>primates</i> , entre ellos, los monos. También aparecen los ciervos, los cerdos y los rinocerontes.
MIOCENO	Comienza hace 24 millones de años. Aparecen las grandes cadenas montañosas alpinas. El mundo se calienta nuevamente y las praderas aumentan su extensión. Por eso se producen grandes migraciones de animales, como los elefantes. Aparecen los carnívoros más desarrollados y se diversifican los roedores y los cetáceos.
PLIOCENO	Comienza hace 5 millones de años. En el Plioceno aparecen los primeros antepasados directos del hombre: los <i>Australopithecus</i> .
PERÍODO CUARTARIO	
PLEISTOCENO	Comienza hace 2 millones de años. Durante este período se producen los cuatro enfriamientos globales más importantes llamados <i>glaciaciones</i> . Durante el Pleistoceno se diversifican los grupos de <i>primates</i> , entre los que se encuentran los <i>hominidos</i> .
HOLOCENO	Representa los últimos 10.000 años de la historia de la Tierra.

Resumiendo, podemos presentar la secuencia completa de las eras y los períodos geológicos en el siguiente cuadro:

ERAS	PERÍODOS	MILLONES DE AÑOS	
	Precámbrico	¿3.500?	
PALEOZOICA	Cámbrico	570	
	Ordovícico	505	
	Silúrico	438	
	Devónico	408	
	Carbonífero	360	
	Pérmico	286	
MESOZOICA	Triásico	245	
	Jurásico	208	
	Cretácico	144	
CENOZOICA	Terciario	Paleoceno	65
		Eoceno	58
		Oligoceno	37
		Mioceno	24
		Plioceno	5
	Cuartario	Pleistoceno	2
		Holoceno	Últimos 10.000 años

Las pruebas de la evolución

Aunque la confianza en los avances científicos suele ser ilimitada, a esta altura sería lícito preguntarse si todas las especies que aparecieron sobre la Tierra realmente fueron el resultado del largo proceso evolutivo que hemos desarrollado desde el principio de este libro.

La pregunta clave en este caso sería: ¿cuáles son las pruebas de la evolución? Las respuestas, como siempre, no vienen de una sola disciplina, ni se elaboraron en la misma época. Las que se refieren a la anatomía comparada se remontan, por lo menos, hasta el siglo XVIII; las que corresponden a la biología molecular, aún no tienen medio siglo.

La *Anatomía comparada*, compara y vincula estructuras y órganos de distintas especies, tratando de encontrar relaciones de parentesco

entre ellas. Por ejemplo, ciertas partes del cuerpo de algunos animales; pueden ser muy diferentes externamente, pero conservan un patrón interno muy semejante. Esto comprobaría que esos animales posiblemente desciendan de un antepasado común.

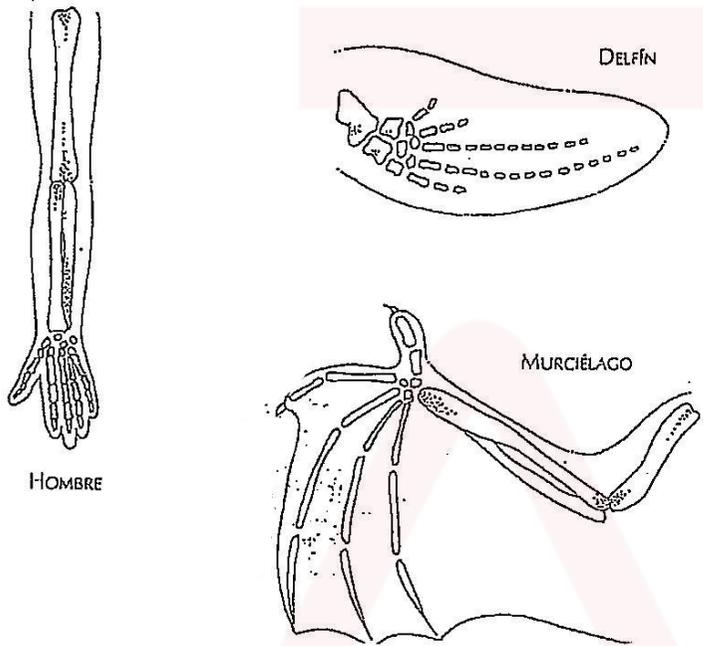


Figura 6.5
Extremidades anteriores de algunos mamíferos:

Estos órganos son llamados *homólogos*, diferenciándolos de los análogos, en los cuales la estructura externa puede ser parecida, pero no existe ningún patrón básico semejante, ni parentesco alguno entre los grupos.¹²

La *Embriología* es una ciencia que se ocupa del estudio de los embriones, o sea, de la vida antes de su nacimiento. ¿Cómo pueden los embriones constituirse en una prueba de la evolución de las especies? El biólogo alemán Ernst Haeckel¹³ enunció una ley que llamó "biogenética" en la cual afirmaba que la *filogenia*, o sea, la evolución de una especie a través del tiempo, podía observarse en la *ontogenia*, es decir, en la evolución del embrión.

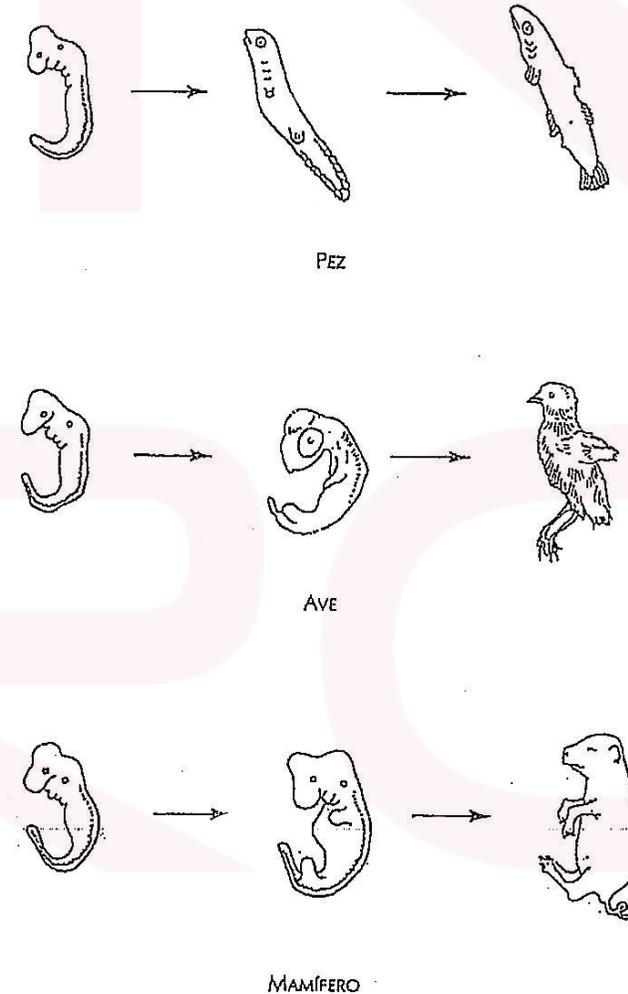


Figura 6.6
Etapas de desarrollo de distintos vertebrados. (La ley biogenética de Haeckel postulaba que la ontogenia recapitula la filogenia.)

Efectivamente, las etapas embrionarias de muchas especies presentan semejanzas, como puede apreciarse en la figura. También este hecho llevaría a pensar que especies con embriones tan semejantes, seguramente están emparentadas o tienen un ancestro común.

La *Paleontología* aporta pruebas más contundentes. Estudiando los restos fósiles de organismos que vivieron hace miles o millones de años, es posible encontrar por un lado, las semejanzas y diferencias que podrán reconstruir la historia de vida de una especie. Por el otro, es fundamental ubicar esos restos en el tiempo, con modernos y adecuados métodos de datación¹⁴, constituyendo un *registro fósil*.

La *Biogeografía*, aporta otra prueba de importancia. Estudia la distribución de plantas y animales en el mundo, y sigue con ayuda de las demás ciencias, el posible camino de su dispersión.

Entre las evidencias más modernas, sin embargo, se cuentan las de la *Genética* y la *Biología molecular*. Gracias a ellas es posible estudiar la secuencias de nucleótidos o unidades constitutivas del ADN, estableciendo filogenias con base molecular, de mucha mayor certeza que las basadas en la anatomía o en la paleontología. También es posible realizar estudios acerca del grado de semejanza de las proteínas, en grupos de dudosa ubicación filogenética.

Algunas hipótesis alternativas

Entre los neodarwinistas actuales existen algunas diferencias en cuanto al modelo evolutivo propuesto. El más tradicional, o conservador, propone una explicación en la cual los organismos evolucionan de manera *gradual*, a través de los millones de años. Las frecuencias de los distintos genes son sustituidas muy lentamente por otras formando un árbol como el que muestra la figura. Esta postura es muy similar a la que sostenía el propio Darwin, explicando que el proceso evolutivo es lento y gradual, y consiste en la acumulación de pequeñísimas variaciones sobre las que actúa la selección natural.

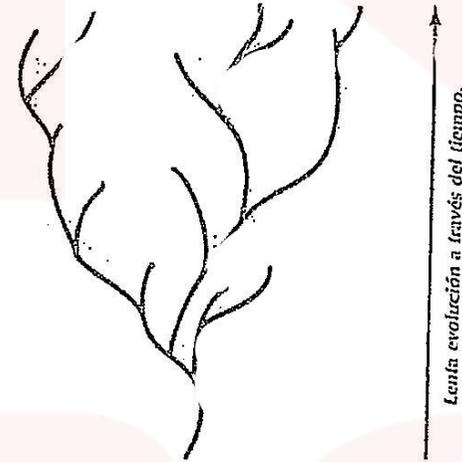


Figura 6.7
Evolución gradual

Por el contrario, los más innovadores proponen un esquema evolutivo *puntual* o saltacionista, en donde las nuevas especies son consecuencia de la aparición brusca y por azar de nuevas formas, persistiendo algunas y extinguiéndose otras, como muestra la figura.



Figura 6.8
Evolución puntual

Entre los partidarios de la evolución-puntual se encuentran el biólogo Stephen J. Gould, de la Universidad de Harvard, ya mencionado en capítulos anteriores.

Para Gould¹⁵, la evolución no tiene un sentido predeterminado. Examinando las grandes extinciones que mencionamos antes, parece más probable que el azar, la contingencia o los accidentes cósmicos jueguen un rol más importante en la evolución que la lenta acumulación de pequeñas variaciones. La historia de la vida en la Tierra no sería una línea simple que se extiende desde los organismos unicelulares hasta los animales, los vegetales y el hombre. Es, por el contrario, un árbol tridimensional de gran complejidad, donde cada rama desprendida del tronco ancestral; cada hecho evolutivo, adquiere un carácter excepcional.

Los organismos no se desarrollan sobre un modelo de progreso indefinido, propio del pensamiento del siglo XIX; "deambulan", al decir de Gould, avanzan y retroceden sin un objetivo determinado, empujados por la ineluctable fuerza del azar.

Notas

1. Ayala, Francisco J.: *Origen y evolución del hombre*. Madrid, Alianza Universidad, 1995.
2. Los mecanismos de aislamiento reproductivo pueden clasificarse en *precigóticos* y *postcigóticos*. Los precigóticos impiden la cruce entre organismos de poblaciones diferentes; de esta manera se impide la formación de una cigota, o primera célula, híbrida. Los aislamientos de tipo temporal, ecológico o mecánico, que se mencionan en el texto, son de este tipo. Pero existen además, mecanismos postcigóticos, que reducen la viabilidad de los híbridos ya formados, ya sea porque no se desarrollan completamente, o porque presentan distintos grados de esterilidad.
3. Para explicar el fenómeno del aislamiento reproductivo se han formulado dos teorías. En una de ellas, el aislamiento es la consecuencia de la divergencia genética: como las poblaciones han llegado a ser tan diferentes, les es imposible cruzarse. La otra teoría postula que el aislamiento es producto de la selección natural. Para esto hay que partir del supuesto de que los no híbridos están mejor adaptados que los individuos híbridos, por lo cual la selección natural beneficiaría a los primeros y a todos los mecanismos que impidan la formación de híbridos.
4. Véase el apartado *La tierra y sus comienzos*, en el capítulo 3 de este libro.
5. Los *cloroplastos* son organoides celulares presentes en los vegetales, que contienen clorofila, un pigmento imprescindible para realizar la fotosíntesis. Las *mitocondrias*, por su parte, son organoides que están presentes en todas las células, vegetales o animales. Ellas contienen enzimas respiratorias, o sea, sustancias encargadas de facilitar el proceso de *respiración celular* u *oxidación biológica*, por el cual se libera la energía contenida en los alimentos.
6. La palabra *fósil*, proviene del vocablo latino *fossa*, "excavación", y de allí, *fossilis*, "que se saca cavando la tierra". Y es verdad: los fósiles enterrados se han constituido en documentos elocuentes del pasado de la vida sobre la Tierra.
La fosilización, es un complicado mecanismo de sustitución de los tejidos por minerales. Los tejidos más blandos de las plantas o animales se descomponen por la acción de las bacterias y los hongos, y no dejan

huellas. Es por eso que, en general, los fósiles sólo nos muestran las partes más duras de un ser vivo, como los caparzones y los huesos. Sin embargo, si un organismo queda enterrado en un sedimento fino, que aisle el cuerpo del oxígeno, no se hará sentir la acción de los descomponedores, conservándose también algunas partes más blandas.

7. Efectivamente, la variabilidad en el seno de las poblaciones, es el sustrato sobre el que actúa la selección natural. Por su parte, la evolución por selección diversificadora ha dado origen a formas cada vez más variadas.
8. Leakey, R. y Lewin, R. *Nuestros orígenes. En busca de lo que nos hace humanos*. Barcelona, Crítica (Grijalbo Mondadori), 1995.
9. Entre los *flagelados* encontramos algunos tristemente célebres, como el *Trypanosoma cruzi*, causante de la *enfermedad de Chagas-Mazza*, que infecta a los insectos conocidos como "vinchucas" y por intermedio de ellas, al hombre. Otro grupo peligroso lo constituyen los *dinoflagelados* que parasitan los moluscos bivalvos como los mejillones y las almejas, siendo altamente tóxicos para quienes se alimentan de ellos. Como presentan una pequeña estructura semejante a una mancha de pigmento rojo, y se mueven en masa y en grandes cantidades, constituyen el fenómeno conocido como "marea roja"

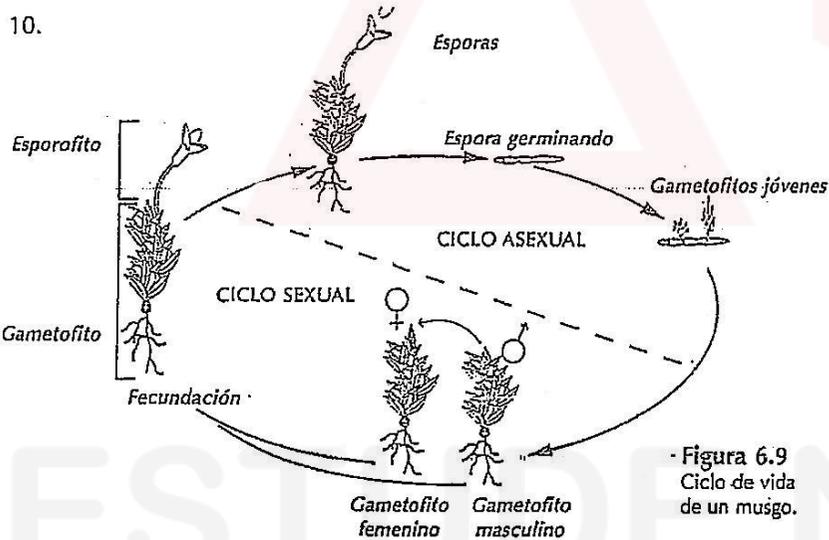


Figura 6.9
Ciclo de vida
de un musgo.

11. Muchos de estos nombres están relacionados con ciertas regiones geográficas, como el *Jurásico*, que toma su nombre de una zona montañosa de Francia: el Jura. Otros tienen que ver con rocas o minerales que se formaron en ese período, como el *Carbonífero*.

12. El ala de un ave, de una mariposa y de un murciélago, son de esta manera, *análogas*, ya que aparentemente tienen la misma (o parecida) forma y función. Sin embargo, su estructura interna muestra grandes diferencias. Las alas de las aves son las extremidades anteriores modificadas y adaptadas al vuelo; las alas de los murciélagos son membranas interdigitales que involucran solamente a sus manos, es por eso que se los llama "quirópteros" que literalmente significa manos aladas. Las alas de las mariposas, por su parte, son repliegues de la cutícula externa c exoesqueleto, y nada tienen que ver con las extremidades. Estos ejemplos, marcan un tipo de evolución llamada *convergente*, en la cual organismos muy distantes filogenéticamente entre sí, han desarrollado estructuras parecidas para adaptarse a la misma función o a un mismo ambiente. Otro ejemplo de evolución convergente es el del tiburón, un pez cartilaginoso, y el delfín, un mamífero acuático. El caso contrario sería el de *evolución divergente o radiación adaptativa*, en la cual distintos grupos provenientes de antepasados comunes o de un mismo ancestro, han desarrollado diferentes estructuras para adaptarse a diferentes hábitats. Los órganos así desarrollados son los que mencionamos en el texto como *homólogos*, y que sirven como prueba fehaciente de la evolución de las especies.

13. Ernst Haeckel fue un biólogo alemán que vivió entre los años 1834 y 1919. Partidario del darwinismo y del "monismo" u origen único de todas las especies, resumió su pensamiento en lo que posteriormente fue conocido como *ley biogenética*: "La ontogenia, o desarrollo individual de un organismo, es una expresión abreviada de la filogenia, o evolución de la especie a la cual ese organismo pertenece".

14. Los métodos de datación permiten a los paleontólogos conocer la edad de los restos fósiles de plantas y animales y, en el caso del hombre, facilitan al arqueólogo la reconstrucción de la cultura del hombre en cada época, a través de sus utensilios, instrumentos y herramientas. Las estimaciones de la edad de un objeto pueden ser directas o indirectas. Los métodos *directos* más conocidos, tratan de hallar la edad del fósil o artefacto mismo, aunque muchas veces los objetos que se pretende

datar son únicos en su clase, y pueden destruirse en la misma medición. Es por eso que se utilizan métodos *indirectos*. En ellos, la datación se hace fechando otro fósil o artefacto asociado a él. También es usual datar los niveles o estratos de tierra que estén por debajo o por arriba del objeto.

Los métodos más conocidos se basan en la desintegración radiactiva de algún elemento, por ejemplo, el potasio-40 que se desintegra lentamente en argón-40. También se usa la relación carbono-14/carbono-12, dos isótopos del carbono. El carbono-12 es estable, y el carbono-14 se desintegra con el tiempo, de modo que a medida que transcurren los años, la materia orgánica se descompone y la relación se hace cada vez menor. Conociendo la relación entre ambos isótopos en un tejido muerto, es posible hallar su edad.

15. Gould, S. J.: *El pulgar del Panda*. Barcelona, Alianza, 1988.

Capítulo 7

El lugar del hombre en el proceso evolutivo

Los siguientes capítulos estarán dedicados al proceso, no bien dilucidado aún, que llevó a la aparición del *Homo sapiens* sobre la Tierra. Brusco, o lento y gradual, el hecho es que las pruebas del exacto camino que siguió el proceso de constitución de los seres humanos modernos, también llamado *hominización*, no son completas y todavía se suscitan controversias en torno de este mecanismo evolutivo.

Cuando se menciona el nombre de Darwin entre no especialistas, la mayoría de las veces se lo asocia más con la ascendencia del hombre que con todo su desarrollo de la teoría de la evolución de las especies por medio de la selección natural. Y si se indaga acerca de sus hipótesis principales, seguramente aparecerá en primer lugar aquella que dice que "el hombre desciende del mono".

La idea de despojar al hombre de su lugar privilegiado en la creación divina, y colocarlo junto a las demás especies, causó tanto escorzo sin duda como en su momento la teoría de Copérnico, que desplazó la Tierra del centro del Universo. Darwin nunca dijo que el hombre "descendiera" del mono, como afirmaron sus detractores; de todos modos, el parentesco que acerca los simios al hombre, más que su descendencia directa, sólo fue planteado doce años después de la aparición de *El origen de las especies*.

El "eslabón perdido"

Aún desde su fijismo, y dentro del espíritu enciclopedista del siglo XVIII, el sistema clasificatorio de Linneo incluía al hombre como especie. De acuerdo con su *nomenclatura binomial*, de la cual hablamos en capítulos anteriores, Linneo le asigna un doble nombre en latín: *Homo sapiens*, aunque no duda de su origen divino. También incluye algo así co-

mo dos antecesores del hombre a los ojos de los evolucionistas: el *Homo troglodytes*, una especie de cavernario nocturno, y el *Homo caudatus*, que como su nombre lo indica, conservaba una cola a la manera de los animales.¹

Ya desde el Renacimiento, el hallazgo de huesos de animales desconocidos, muchas veces de gran tamaño, dio lugar a relatos fantásticos en los que aparecían monstruos como las quimeras y los dragones². Otras veces, se llegaron a enunciar hipótesis no menos fantásticas, como que Adán podría haber tenido una estatura de varias decenas de metros, y la humanidad entera haber ido disminuyendo ese tamaño hasta llegar a unos 4 metros en la época de Moisés.

Junto con estos restos también se encontraron trozos de piedra tallada o pulida, con apariencia de pequeñas hachas; como se pensaba que se habían originado a raíz de fuertes descargas eléctricas, las llamaron "piedras de rayo", descartándose toda conexión con los huesos encontrados, y sin siquiera sospechar que eran una demostración de la incipiente cultura lítica humana.

Como se explicó antes, fue necesario esperar hasta el siglo XVIII para reconocer que la edad del planeta debía ser considerada en millones de años. William Smith, Georges Cuvier y Charles Lyell fueron los investigadores que estudiaron fósiles y dejaron establecidas cronologías relativas, dando de este modo un marco de referencia a los estudios posteriores.

Así Boucher de Perthes³ puede identificar como producto de la actividad humana, los trozos de piedra labrada encontrados en el norte de Francia, en la región de Abbeville; sin embargo, sus ideas no tienen difusión ni gozan de popularidad hasta que el mismo Lyell, quien se erigía para ese entonces como una de las figuras científicas más respetadas, le da su apoyo alrededor de 1859, año de la publicación de *El origen de las especies*. Se comienza a hablar entonces, de una verdadera "prehistoria" de la humanidad.

Pero ¿dónde estaban los restos de ese fabricante de utensilios? Si el hombre y los monos han evolucionado de antepasados comunes por un proceso lento y gradual, como sostenía Darwin, ¿dónde estaban sus fósiles? En la cadena evolutiva humana faltaba un eslabón. Es por eso que los científicos y los paleontólogos de la época se abocaron a la búsqueda incansable de ese "eslabón perdido".

Los antiévolucionistas afirmaban que no existían pruebas de su existencia, ya que no se habían encontrado sus restos; en realidad, se habían pasado por alto. En 1848, en Gibraltar, se halló un cráneo humano pero con ciertos rasgos simioscos. Y en 1857, cerca de Düsseldorf, Alemania, en el valle del río Neander, fue encontrado otro cráneo semejante, llamado luego *Hombre de Neandertal*⁴.

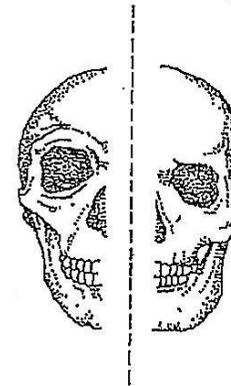


Figura 7.1
Cráneo del hombre
de Neandertal
(izquierda) y del
hombre actual.

Primero fue considerado como el eslabón perdido tan deseado, aunque en realidad los neandertales son extremadamente parecidos a los humanos modernos, de tal forma que hoy en día son considerados como una subespecie.

Darwin y el origen del hombre

Charles Darwin publica *The Descent of Man*⁵ en 1871. Sin embargo, ya en *El origen de las especies* había insinuado que sus hipótesis acerca de la evolución de las especies, también podrían aplicarse a la evolución del hombre. En esa oportunidad no desarrolló el tema, ya que significaba suscitar una controversia aún más viva que la que finalmente se desencadenó a raíz de su teoría de la evolución; ahora se trataba de ubicar al hombre, no como una criatura divina, sino como resultado del mismo proceso que dio origen a las plantas y los animales.

Darwin se decide a publicar su obra ya que de todos modos la polémica estaba instalada en la sociedad de su época, a través de autores como Ernst Haeckel o Thomas Huxley.

T. Huxley⁶, había publicado *Evidences as to Man's Place in Nature* en 1863, donde planteaba el parentesco cercano entre el hombre y los grandes monos. Sin embargo, existe para Huxley un abismo, un "hiato" al decir de Richard Leakey⁷ entre los humanos y el resto de la naturaleza. Haeckel, ya mencionado en un capítulo anterior, también publica sus trabajos sobre morfología, embriología y evolución. Y aunque estas obras pue-

den hoy ser criticadas, en su momento constituyeron un acicate para que Darwin pudiera desarrollar el tema de la historia evolutiva humana.

Analizando la estructura corporal del hombre, Darwin encuentra que éste presenta el mismo "modelo" o patrón general de los mamíferos. Compara al hombre con tres mamíferos de adaptaciones notablemente diferentes como el mono, el murciélago y la foca, y encuentra que pueden homologarse sus huesos, músculos, órganos y aparatos. Compara también el cerebro y destaca lo que él llama "vivas analogías" entre el hombre y el orangután.

Encuentra también que el hombre y los simios sufren las mismas enfermedades, se curan con los mismos remedios y hasta tienen gustos muy semejantes.

Estas semejanzas o analogías ya habían sido señaladas por otros naturalistas contrarios a la teoría de la evolución, pero las explicaban como una lógica consecuencia de la existencia de un plan ideal, un patrón general diseñado por el Creador, al cual los seres vivos debían ceñirse.

La explicación de Darwin es obviamente diferente:

"Esta constitución homóloga en toda la estructura de los miembros de una misma clase, no podemos comprenderla sino admitiendo su procedencia de un progenitor común, juntamente con su ulterior acomodamiento a diversas condiciones. Pensando de otra suerte, es de todo punto inexplicable la similitud que existe entre la mano del hombre o del mono, el pie del caballo, la aleta de una foca, el ala de un murciélago, etc. Decir que todas han sido formadas por el mismo plan ideal, no es una explicación científica."⁸

Como señaláramos en el capítulo anterior, aunque con adaptaciones notorias en cada caso, la gran semejanza estructural entre las extremidades anteriores de muchos vertebrados, constituyen una prueba de la existencia de un antepasado común. Así lo explica Darwin:

"De esta suerte podemos decirnos ahora cómo el hombre y los demás animales vertebrados se hallan contruidos según el mismo modelo general, cómo también atraviesan todos idénticos estados primeros de desarrollo, y cómo, finalmente, conservan ciertos rudimentos comunes. Consiguientemente a esto, hemos de admitir con toda franqueza su comunidad de origen, pues fijar otro punto de vista para esta cuestión es tanto como admitir

que nuestra propia estructura y la de los animales que nos rodean son sencillamente lazos engañosos tendidos a nuestro entendimiento (...) No está muy distante el día en que causará admiración que naturalistas conocedores de la estructura comparada del desarrollo del hombre y de los otros mamíferos, hayan podido creer que cada uno fue obra especial de un acto separado de creación."⁹

De la misma manera, considera Darwin que aunque entre el hombre y las formas más cercanas a él, exista una gran diferencia en la estructura corporal y una brecha aún mayor en lo que respecta a sus facultades mentales, es posible demostrar de manera evidente,

"...que el hombre desciende de una forma inferior, por más que hasta ahora no hayan sido descubiertos los eslabones de la cadena por donde las formas inferiores han subido a su actual posición."¹⁰

Pero ¿dónde ha ocurrido ese "ascenso"? ¿Dónde han ocurrido esos cambios? Sin duda para Darwin, en el África. Allí habitaban especies hoy extinguidas, parecidas al gorila y al chimpancé; como estas especies eran muy semejantes al hombre, es probable, dice Darwin, que sus antepasados habitaran también esa zona del planeta. Llevado por las mismas semejanzas, concluye que sin duda desarrollaron una dieta frugívora.

También arriesga una fecha: el Eoceno. Y no repara en los pocos vestigios fósiles de la época, ya que su descubrimiento siempre es casual y muchas veces tardío. Propone entonces la siguiente genealogía:

"Los más antiguos progenitores del reino de los vertebrados consistieron, con muchas probabilidades, en un grupo de animales marinos. Estos produjeron tal vez un grupo de peces de organización imperfecta; este grupo produjo otros peces y de éstos, con sólo un pequeño adelanto, pasamos a los anfibios. Hemos visto ya que los pájaros y los reptiles han estado antes estrechamente unidos, y los monotremas" enlazan en la actualidad débilmente a los mamíferos con los reptiles. Pero nadie podría decir hoy día, por cuál línea de descendencia las tres clases más elevadas y vecinas, mamíferos, aves y reptiles, proceden de las dos clases más bajas de vertebrados, a saber: anfibios y peces. No es difícil concebir en la clase de mamíferos

los grados que siguieron los monotremas antiguos para pasar a los marsupiales¹² antiguos, y desde éstos a los primitivos antecesores de los mamíferos placentados¹³. Llegase de esta manera a los lemúridos¹⁴, a quienes sólo un breve intervalo separa de los simios. Estos se separan entonces en dos grandes ramas, los monos del Nuevo Mundo y los del Antiguo Mundo¹⁵, y de estos últimos, finalmente, es de donde en remotísima época provino el hombre, maravilla y gloria del universo.”¹⁶

Más eslabones perdidos

El joven médico holandés Eugene Dubois sospechaba que, como aseguraban Darwin y Wallace, el pasaje del simio al hombre seguramente había ocurrido en el clima tropical del África o de algunas zonas de Asia. Además, si se aceptaba la herencia simiesca del hombre, era lógico buscar ese ancestro en las áreas del planeta que aún se encontraban habitadas por los grandes monos, como el gorila o el chimpancé. Así, entre 1891 y 1892 encuentra en Java los restos de un cráneo y un fémur que podrían representar al tan famoso “eslabón perdido”. Como se encontraba a mitad de camino entre un simio y un hombre, lo bautizó como *Pithecanthropus erectus*¹⁷, hoy *Homo erectus*.

H. erectus vivió entre 500.000 y 1 millón de años atrás. Caminaba erguido, fabricaba utensilios de piedra y utilizaba el fuego. Este sin duda era el antepasado humano más primitivo. Pero ¿cuánto más era necesario retroceder en el tiempo para encontrar un ancestro aún más primitivo?

En 1924, Raymond Dart, un antropólogo sudafricano, descubrió un antepasado más antiguo que *H. erectus*. En una cueva de Taung, África del Sur, encontró un pequeño cráneo simiesco y a la vez humano; al que da el nombre de *Australopithecus africanus*.

Pero los más activos buscadores y descubridores de fósiles, sin duda fueron los integrantes de la familia Leakey. Louis Leakey inició sus investigaciones en Kenia y en Tanzania, y allí pasó la mayor parte de su vida junto a su esposa Mary y sus hijos, entre ellos, Richard.

Gran parte de la reconstrucción del linaje humano, como veremos en el siguiente capítulo, se la debemos a Louis, Mary y Richard Leakey.

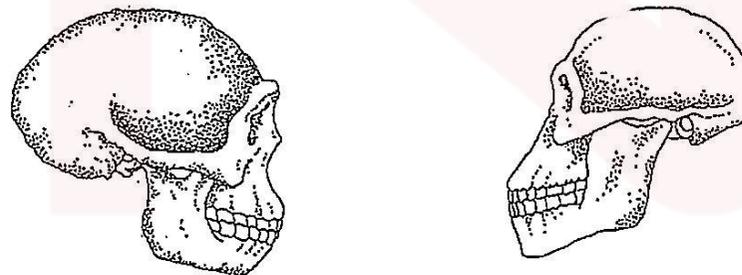


Figura 7.2
Cráneo de *Homo erectus* (izquierda) y de *Australopithecus africanus* (derecha).

Si consideramos ese linaje como absolutamente lineal y sin ramificaciones, cada fósil encontrado, cada especie descrita, constituirá un eslabón más de la cadena. Como se sabe hoy en día, la evolución de las especies, según la presentamos en el capítulo anterior, ya sea considerada en su versión gradual como sostenía Darwin, o puntual como arguye Gould, está compuesta de ramificaciones a la manera de un árbol, con ramas que se interrumpen antes de llegar a la copa, y otras que nacen mucho más arriba. Por lo tanto, no existe un único eslabón perdido en una cadena lineal. En todo caso, son muchos los eslabones que quedan por descubrir. Hasta que no aparezcan, seguirán ensayándose y descartándose diversas hipótesis, como siempre ha sucedido a lo largo de la historia de la ciencia.

Entender, fabricar, caminar

Ya Darwin en su época había mencionado la inteligencia, la bipedestación (o la capacidad de caminar erguido sobre las dos extremidades inferiores) y la tecnología, como cualidades esencialmente humanas.

Al decir de Roger Lewin¹⁸, también existen ciertos acontecimientos fundamentales que marcan el paso hacia el hombre moderno: la *terrestrialidad*, la *bipedestación*, la *encefalización* y la *cultura*. La polémica se instala cuando se plantean hipótesis acerca del orden en el que hicieron su aparición tales acontecimientos.

¿Bajó primero de los árboles, se irguió sobre sus piernas y luego adquirió la inteligencia que le permitió la fabricación de utensilios cada vez más perfectos? ¿O primero se desarrolló el cerebro en criaturas aún arborícolas?

A medida que avanzó el siglo XX se sucedieron distintas versiones en cuanto al ordenamiento de estos sucesos. A principios de siglo se suponía que el primer evento había sido la terrenalidad: los antepasados del hombre bajaron de los árboles; luego adoptaron una posición erguida que llevó a una locomoción bípeda. El cerebro se desarrolló más y más y con él, la destreza manual, la tecnología y en fin, todo lo que pueda ser considerado como *cultura*.

Hacia 1920, se suponía que nuestros ancestros habían permanecido arborícolas mientras desarrollaban la posición erecta, y que luego habían adoptado la terrenalidad. Más adelante, con el aporte de Sir Elliot Smith, anatomista y antropólogo británico, se consideró el desarrollo del cerebro como lo fundamental. Otro investigador de la época, William Gregory, señala esta transición: el primer acto es el de abandonar la vida arborícola y alcanzar la terrenalidad. Allí se forja la sociabilización, y se comienzan a fabricar herramientas y utensilios. En el último acto, el hombre se pone de pie y expande su cerebro. Según esta interpretación, la fabricación y el uso de las herramientas promueve el desarrollo cerebral; la mano sería algo así como la forjadora de la inteligencia.

En realidad, la bipedestación, la destreza manual y el desarrollo del cerebro, están estrechamente relacionados y son interdependientes.¹⁹ Cuando nuestros antepasados adquieren la posición erecta, se desencadena toda una serie de cambios en la columna vertebral, en los huesos de la cadera y en el diferente desarrollo de las extremidades. Los miembros inferiores deben especializarse para soportar todo el peso del cuerpo, y los superiores se acortan y quedan liberados de la función de locomoción. Se incrementa la destreza manual, capacitándolo para la fabricación de herramientas que servirán para un fin determinado; pero la relación entre un artefacto y su función puede establecerse solamente si se posee un cerebro complejo.

De esta manera puede decirse que los diferentes puntos de vista son complementarios. La bipedestación favorece el desarrollo del cerebro, lo cual facilita la evolución de los miembros superiores que adquieren mayor destreza. Esto produce a su vez otro incremento en la complejidad del cerebro, y así sucesivamente. Cada elemento del sistema, impulsa el desarrollo de los demás.

Junto con estos atributos interrelacionados, coexiste otro muchas veces considerado como exclusivo del hombre: es su capacidad de expresarse por medio de un *lenguaje* simbólico. Para elaborar y utilizar un lenguaje, se requiere una base orgánica. Es necesaria, por una parte, una conformación anatómica particular adecuada a la emisión de sonidos, y por la otra, un cerebro que permita simbolizar, abstraer y razonar. De modo que asociada a la postura erecta, la destreza manual y la encefalización, aparece esta particular habilidad del hombre: el desarrollo de un lenguaje.

Identidad bioquímica del hombre

Todos los seres vivos presentan la misma composición química; todos tienen ácidos nucleicos formados por moléculas menores cuyas secuencias representan un determinado código genético. Y por medio de los mismos mecanismos, el código se traducirá en aminoácidos ordenados también en secuencias que formarán las distintas proteínas.

Muchas de estas secuencias de aminoácidos de plantas, animales y microorganismos, son muy parecidas. En realidad, a medida que el parentesco evolutivo se hace mayor, también son mayores las semejanzas bioquímicas. Por ejemplo, las semejanzas serán mayores entre dos mamíferos, que entre un mamífero y otro vertebrado, como puede ser un reptil. De la misma manera, habrá un gran parecido entre dos primates; mucho más que entre un primate y un roedor.

Existe en los animales, una proteína contenida en los glóbulos rojos de la sangre, que sirve para transportar el oxígeno: es la *hemoglobina*. Se trata de una molécula compleja, formada a su vez por dos cadenas: a y b. La a posee 141 aminoácidos, y la b, 146. Según F. Ayala²⁰, el hombre y el chimpancé, presentan los mismos aminoácidos. Entre el hombre y el gorila, sólo dos son diferentes: uno en la cadena a y otro en la b.

Mayores diferencias se encuentran con los ratones, ya que el hombre tiene 17 aminoácidos diferentes en la cadena a y 23 en la b, o con los conejos (25 en la a y 14 en la b).

Una primera hipótesis diría que el parecido bioquímico evidencia un parentesco evolutivo.

Otras mediciones efectuadas por Ayala se basan en las diferencias o semejanzas genéticas entre el hombre y varios animales. Fueron comparados 23 genes distintos y se halló que la diferencia, llamada *distancia genética media*, es de 0,3 entre el hombre y los grandes monos antropoides²¹. Esto quiere decir que difieren en *uno de cada tres genes*.

Vemos de este modo que en la actualidad, la biología molecular y la genética, constituyen instrumentos eficaces para la construcción de árboles genealógicos.

Según se ha estudiado con profundidad, y recapitulando lo visto en capítulos anteriores, uno de los motores del cambio evolutivo de las especies lo constituyen las *mutaciones*. Estos cambios, aparentemente espontáneos y azarosos, producen variaciones en la constitución genética de una población. Si por medio del ya citado proceso de especiación, una población originalmente única se separa en dos subpoblaciones o eventualmente, en dos subespecies, sus mutaciones genéticas se irán acumulando de manera independiente en cada una de las dos ramas. Según Linus Pauling²², cuanto más antigua fuera la separación, la acumulación de mutaciones sería mayor y por lo tanto, también sería mayor la diferencia entre los genes. Como cada gen tiene su propia velocidad de acumulación de mutaciones, si esta velocidad fuese regular y susceptible de ser medida y conocida, sería esperable poder construir un adecuado árbol genealógico sin el auxilio de los hallazgos fósiles. Sin embargo, aún está en discusión la exactitud de esta especie de "reloj molecular"²³.

El investigador estadounidense Morris Goodman introdujo la utilización de esta evidencia molecular en antropología demostrando el parentesco genético entre los humanos y los simios africanos, y entre los humanos y los orangutanes. Pero son los bioquímicos de Berkeley, Allan Wilson y Vincent Sarich, quienes adelantan en la década de 1970 que los humanos y los simios se habían separado hace unos 5 millones de años. Vale aclarar que la mayoría de los antropólogos, basándose en los hallazgos de restos fósiles, estimaban una separación mucho más distante.

Wilson y Sarich trabajaron principalmente con una proteína: la albúmina del suero, que presenta una cadena de 570 aminoácidos. Junto con sus ayudantes, diseñaron una técnica para evaluar similitudes entre las albúminas de varios animales vivientes y expresarlas en unidades que llamaron D. I. (*Distancia Inmunológica*). Estos trabajos marcaron un cierto enfrentamiento entre paleontólogos y bioquímicos. Un fósil podía presentar rasgos parecidos a los humanos y constituirse en una prueba anatómica evolutiva concluyente; sin embargo, las evidencias moleculares podían llegar a demostrar la falsedad de tales pruebas.

Richard Leakey²⁴ relata su encuentro con Sarich y su primer enfrentamiento: "¿Cómo podemos pretender comprender el pasado sin estudiar los fósiles?", se sorprende Leakey.

Sarich tuvo ocasión de demostrar sus puntos de vista a raíz de una mandíbula fósil encontrada en un depósito sedimentario de la India, de 15 millones de años. Durante muchísimo tiempo, esta especie bautizada como *Ramapithecus*, fue considerada el ancestro más antiguo del linaje humano, tomando como guía las pruebas anatómicas. Sin embargo, las evidencias moleculares señalaron que *Ramapithecus* vivió antes de la diferenciación entre los monos antropomorfos africanos y el linaje que conduciría a los humanos.

Esta anécdota obviamente no desacredita el estudio de los fósiles, pero sí obliga a tener en cuenta las evidencias que actualmente pone al alcance de la investigación antropológica la genética y la biología molecular.

Señala W. Le Gros Clark²⁵, que Darwin necesitó una gran energía moral para publicar *The descent of Man* (*El Origen del Hombre*), en el momento en el que lo hizo. Hoy en día también puede considerarse una audacia adelantar interpretaciones que puedan muy probablemente resultar erróneas a la luz de posteriores descubrimientos. Pero es de alto valor ético y científico aceptar esos errores y replantearse nuevas interpretaciones.

Notas

1. Lewin, Roger: *Evolución humana*. Barcelona, Salvat, 1993.
2. Los *dragones* son monstruos fabulosos que aparecen muy frecuentemente en los mitos y relatos de muchos pueblos. En general se los representa con forma de reptil, con una o varias cabezas, y echando fuego por su boca. En zoología, se llama dragón a un grupo de reptiles de la familia de los agámidos. Pueden ser acuáticos o presentar una expansión de su piel que les sirve para planear y ayudarse en sus saltos. Al contrario de sus parientes míticos, son pequeños y no superan los 50 cm. Por su parte, las *quimeras* también lanzaban llamas por su boca, pero la mitología las pinta como una rara mezcla de animales: cabeza de león, vientre de cabra y cola de dragón.
3. Jacques Boucher de Perthes fue un famoso arqueólogo francés que vivió entre los años 1788 y 1868. Sus trabajos arqueológicos fueron de gran importancia así como sus numerosos escritos en donde expuso sus teorías acerca del hombre y su evolución cultural. Por todo eso se lo considera el padre de la arqueología prehistórica.
4. El llamado "hombre de Neandertal", fue una subespecie extinguida de *Homo sapiens* conocida como *Homo sapiens neandertalensis*. La otra subespecie viviente que corresponde a los humanos modernos, es *Homo sapiens sapiens*.
5. Darwin, Charles: *El origen del hombre* (versión en español de *The descent of Man*). Madrid, EDAF, 1989.
6. Thomas H. Huxley fue un naturalista inglés que vivió entre 1825 y 1895. Se dedicó a la zoología y especialmente a la anatomía de los vertebrados demostrando la afinidad existente entre el hombre y los monos antropomorfos. Fue un defensor a ultranza de las teorías evolucionistas de su amigo Charles Darwin.
7. Leakey, Richard y Lewin, Roger: *Nuestros orígenes. En busca de lo que nos hace humanos*. Barcelona, Crítica (Grijalbo Mondadori), 1995. En este texto Leakey aborda el tema del "hiato": la idea de que las características especiales del ser humano lo alejan del mundo de la naturaleza zanjando una brecha, un profundo abismo entre ellos. Retomaremos este concepto en los capítulos finales de esta obra.
8. Darwin, Charles, *op. cit.* Primera Parte, Capítulo I: "Testimonios de que el hombre procede de alguna forma inferior"
9. Darwin, Charles, *op. cit.*
10. Darwin, Charles, *op. cit.* Primera Parte, Capítulo VI: "Afinidades y genealogía del hombre".
11. Los *monotremas* son un extraño grupo de mamíferos primitivos exclusivos de Australia. Tiene pico córneo y ponen huevos, lo que los vuelve extremadamente raros, aunque no pierden por eso su condición de mamíferos, ya que poseen pelo, glándulas sebáceas, amamantan con leche a sus crías y mantienen constante su temperatura con respecto al medio externo. Los ejemplos más conocidos son el *equidna* y el *ornitorrinco*.
12. Los *marsupiales* son un grupo de mamíferos primitivos que viven en Australia y América del Sur. Poseen una bolsa o marsupio donde las crías terminan su desarrollo. La comadreja americana y el famoso canguro australiano son dos ejemplos bien conocidos de marsupiales.
13. Los mamíferos placentarios son aquellos que presentan un órgano llamado placenta, que sirve para la nutrición y respiración del embrión mientras este se encuentra en el útero materno.
14. Los lemures son un grupo de primates arbóreos y de hábitos nocturnos. Muchas veces fueron llamados "prosimios" porque parecen ocupar un lugar evolutivo entre los simios y otros mamíferos no primates. La especie más curiosa es el llamado *aye-aye*, que vive en los bosques de Madagascar.
15. Se llama superfamilia a una agrupación taxonómica que agrupa a varias familias. En el caso de los monos, la superfamilia *Hominoidea* incluye al hombre y los grandes monos antropomorfos. Los monos del Viejo Mundo, (babuinos, mandriles y macacos), también llamados Catterinos, pertenecen a la superfamilia *Cercopitecoidea*. En ellos, las fo-

nasales están separadas por una división estrecha. Por su parte, los del Nuevo Mundo o Platorinos, que pertenecen a la superfamilia *Cebaloidea*, presentan un espacio ancho entre sus fosas nasales, de modo que estas quedan separadas. Entre este grupo se encuentra el mono tití, el capuchino y el carayá o mono aullador.

16. Darwin, Charles; *op. cit.*
17. La particular articulación de la cavidad glenoidea del hueso de la cadera con la cabeza del fémur, es una prueba de la posición que adopta un animal al caminar. En el *Homo erectus* dicha articulación constituyó una evidencia de su posición erguida al caminar.
18. Lewin, Roger: *op. cit.*
19. Ayala, Francisco J.: *Origen y evolución del hombre*. Madrid, Alianza, 1995.
20. Ayala, Francisco J.: *op. cit.*
21. Los monos antropomorfos son los que más se parecen al hombre. Pertenecen a la misma superfamilia: *Hominoidea*. En la actualidad sólo existen cuatro grupos vivientes de este tipo de monos: los gorilas, los orangutanes, los chimpancés y los gibones.
22. Linus Carl Pauling fue un bioquímico estadounidense galardonado dos veces con el Premio Nobel. La primera fue en 1954, en el campo de la Química. Luego, en 1962, recibió el premio Nobel de la Paz.
23. Para ampliar lo referente a esta discusión, es conveniente la lectura de la obra citada de Roger Lewin.
24. Leakey, Richard y Lewin, Roger: *op. cit.*
25. Le Gros Clark, Wilfrid: "El estudio del origen del hombre", en Barnett, S. A. y otros, *Un siglo después de Darwin. 2. El origen del hombre*. Madrid, Alianza, 1985.

Capítulo 8

Primates en general, homínidos en particular

Los seres humanos son *vertebrados*; esto quiere decir que tienen pequeños discos llamados *vértebras* que forman una columna de huesos y cartílagos: la *columna vertebral*. Ella protege la médula espinal, que es una parte del sistema nervioso. El cerebro, por su parte, también está cubierto por varios huesos que constituyen un *cráneo* protector.

Pero además de vertebrados, los humanos son *mamíferos*. Dentro de la clase de los mamíferos, es posible encontrar animales tan diferentes como un roedor, una ballena o un murciélago, pero sin embargo, todos se caracterizan por poseer pelos, aunque estos estén muy reducidos, y alimentarse a sus crías a través de glándulas secretoras de leche. Además, junto con las aves, han desarrollado la propiedad de mantener constante la temperatura corporal, independientemente de las fluctuaciones externas¹.

Existen mamíferos que ponen huevos, como el equidna y el ornitorrinco, mencionados en el capítulo anterior, y otros que presentan una bolsa donde las crías terminan de desarrollarse, como los canguros o las comadrejas. El grupo al que pertenece el hombre se caracteriza por poseer una estructura llamada *placenta*, cuya función es nutrir al embrión en desarrollo dentro del cuerpo de la madre, y ayudarlo a liberarse de los desechos. Existen 16 órdenes de mamíferos placentarios, que incluyen una gran variedad de especies. Uno de estos órdenes es el de los *Primates*, al cual pertenecen los monos, los monos antropomorfos, los lemures y otras especies cercanas, y también el hombre.

¿Qué significa ser un primate?

Linneo fue quien clasificó juntos a los hombres y a los monos en el orden de los *Primates*, o sea, los primeros². Sin embargo, su variedad es tan grande que es difícil definirlos y encontrar una serie de características comunes que los distingán.

Como dice Wilfrid Le Gros Clark³, mientras que los demás grupos de mamíferos están especializados y son fácilmente reconocibles, los primates conservan rasgos más generalizados. Se caracterizan precisamente por su "falta de especialización". Para este investigador, esa carencia se debe a su vida arbórea, de modo que adjudica todas sus características a la adaptación a este tipo de hábitat. La "hipótesis arbórea" ha contado en su historia con defensores y detractores. Entre estos últimos se encuentra Matt Cartmill, quien sostiene que es posible la existencia arborícola sin las adaptaciones especiales de los primates, y que muchas de estas adaptaciones se encuentran en mamíferos no primates que no llevan una vida arborícola. De todos modos, existen ciertas características que es posible enunciar⁴.

- Los primates tienen una especial capacidad para asir, siendo sus *dedos prensiles* y los *pulgares* de manos y pies, *oponibles*, con excepción del pie humano. Los dedos han perdido sus garras y presentan *uñas planas*, que aumentan la sensibilidad de las yemas y no afectan la prensibilidad.
- Se desarrolla la *distinción entre brazos y piernas*; las extremidades delanteras están adaptadas para girar, flexionar o extenderse, y cumplen con las funciones de buscar los alimentos entre las frutas y las hojas de los árboles o de capturar pequeños animales. Las extremidades posteriores, por su parte, dirigen la locomoción.
- El sentido de la vista está muy desarrollado. Los ojos son grandes y se ubican en la parte frontal de la cabeza; esto produce la llamada *visión estereoscópica*, útil para medir distancias⁵. En oposición a este notable incremento del sentido de la vista, el olfato está poco desarrollado y el hocico ha disminuido su tamaño, reduciéndose también el número de piezas dentales.
- Los primates tienen un número reducido de crías por parto, por lo general, uno. Esto está acompañado por una gestación más larga y una infancia mucho más prolongada. El cuidado de las crías y la íntima relación entre la madre y el o los hijos, aumenta la supervivencia y evita la mortalidad infantil⁶.
- Finalmente, el rasgo más notable de los primates quizás sea el desarrollo de su cerebro. La mayor encefalización está relacionada con la mayor parte de las adaptaciones mencionadas has-

ta aquí. Un cerebro más grande (con respecto al tamaño del cuerpo) está vinculado con la mayor longevidad y el menor potencial reproductivo, con la agudeza visual y con las destrezas posibilitadas por un mayor desarrollo de las manos y los dedos. La conducta social se vuelve más compleja, aumenta la importancia de la vida en grupo y se pone en evidencia la mayor significación que adquieren los comportamientos aprendidos, con respecto a los determinados genéticamente.

¿Cuándo aparecieron los *Primates*? Como dijimos en un capítulo anterior, el Jurásico asistió a la aparición de un tipo muy primitivo de mamíferos: los *terápsidos*; sin embargo, sólo hacia fines del período Cretácico de la era Mesozoica aparecen sobre la Tierra los primeros mamíferos modernos, que sobreviven a la extinción masiva que acabó con la vida de los dinosaurios. Hacia fines de esta era y a comienzos del período Terciario de la era Cenozoica, en el Paleoceno, comienza la radiación de los mamíferos y la aparición de los primates probablemente a partir de los *insectívoros*: un grupo de mamíferos placentarios.

El orden de los *Primates* puede ser subdividido en dos subórdenes: *Prosimios* y *Antropoides*. El grupo de los *Prosimios* está integrado por los *tarsios*, *lemures* y *tupaydos*.

Estos pequeños animalitos arborícolas se encuentran actualmente en el África, Madagascar, la India y el sudeste asiático⁷, pero ellos no son los ancestros de los órdenes superiores de primates; representan, sí, a los descendientes vivientes de los primates antecesores.

El grupo o suborden de los *Antropoides* está integrado por los monos, los grandes simios o monos antropomorfos y el hombre. Los monos se subdividen en *Monos del Viejo Mundo* o *Catarrinos*, representados por la familia *Cercopithecidae* (macacos, babuinos y mandriles), y *Monos del Nuevo Mundo* o *Platirrinos*, pertenecientes a la familia *Cebidae* (capuchinos, tití y carayá o monó aullador)⁸.

Los grandes simios o monos antropomorfos y el hombre se agrupan en la misma superfamilia: *Hominoidea*. Los primeros pertenecen a la familia de los póngidos, y el hombre y sus antepasados extintos, a la familia de los homínidos. Pero veámoslo mejor en el siguiente cuadro:

ORDEN	SUBORDEN	SUPERFAMILIA	FAMILIA	EJEMPLOS
Primates	Prosimios			Tupaydos, lemures y tarsios.
	Antropoides	<i>Cercopithecoidea</i>	<i>Cercopithecidae</i>	Macacos, babuinos y mandriles.
		<i>Ceboidea</i>	<i>Cebidae</i>	Tití, carayá, etcétera.
		<i>Hominoidea</i>	<i>Pongidae</i>	Gorila, chimpancé, orangután y gibón.
<i>Hominidae</i>	Hombre actual y sus antepasados extintos.			

Una interpretación evolutiva⁹ plantea que los hominoideos se diversificaron separando, en el oligoceno, la línea que conduciría a los gibones (*Hylobates*) de las demás líneas evolutivas. Más tarde se separaría el linaje del orangután (*Pongo*). Según esta interpretación, no se sabe con certeza el orden de separación del hombre (*Homo*), del chimpancé (*Pan*) y del gorila (*Gorilla*).

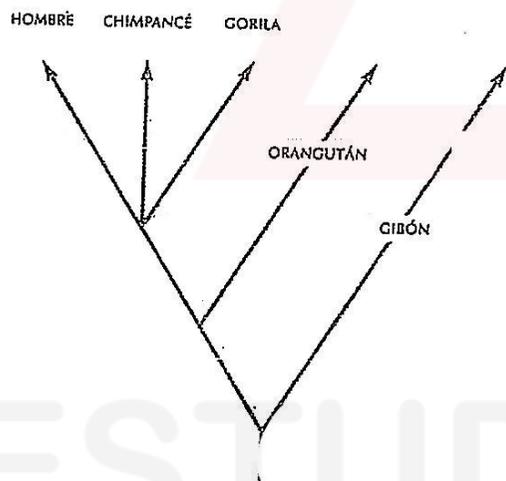


Figura 8.1
Una interpretación de la filogenia de los hominoideos basada en datos de la anatomía comparada, la paleontología y la biología molecular.

Para otros investigadores¹⁰, es posible mejorar el árbol anterior con datos más precisos de la biología molecular que vinculan más cercanamente al chimpancé con el hombre.

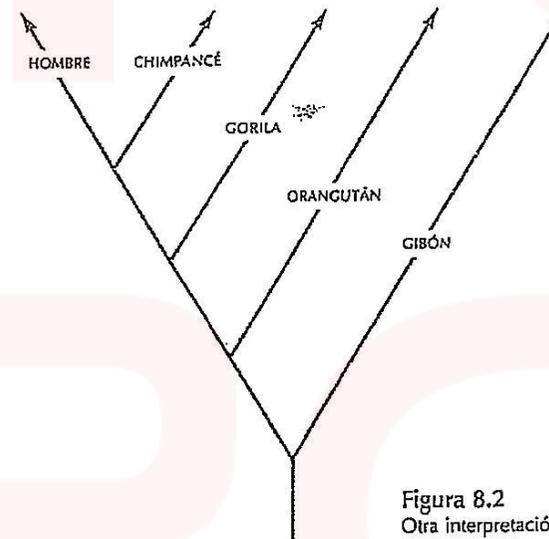


Figura 8.2
Otra interpretación de la filogenia de los hominoideos.

¿Qué significa ser un homínido?

La familia de los homínidos incluye al hombre y todas las demás variedades extintas, de las cuales tenemos una cantidad considerable de registros fósiles.

Es innegable la importancia del ambiente físico en la marcha evolutiva de las especies. A lo largo de la historia de los primates se sucedieron cambios climáticos y geológicos que incluyeron ascensos y descensos de las temperaturas, variaciones en la humedad y las lluvias y grandes alteraciones en la vegetación.

En los comienzos de la era Cenozoica, el clima era cálido y húmedo, y las selvas se extendían mucho más que en la actualidad. Comienzan las migraciones de mamíferos como los marsupiales, que llegan a Australia. Todo este período cálido, que se prolongó durante el Paleoceno,

favoreció la radiación adaptativa de los mamíferos, que ocuparon todos los hábitats. Durante el Eoceno y el Oligoceno, la temperatura comienza a bajar limitando las grandes extensiones de selvas y produciendo un ambiente boscoso más seco y templado. En este nuevo ambiente se desarrollan también nuevos tipos de mamíferos. Según algunos investigadores¹¹, cuando se produce un enfriamiento del planeta, los animales tienden a migrar hacia los lugares más cálidos; pero la escasez de recursos o las barreras geográficas no siempre permiten estas migraciones por lo que la población original se separa posibilitando la especiación.

Aunque la temperatura vuelve a aumentar en el Mioceno, el Plioceno y el Pleistoceno subsiguientes se caracterizan por un progresivo enfriamiento y aumento de la aridez. Las especies más favorecidas, por lo tanto, son aquellas que encuentran su alimento en los ambientes abiertos y secos de las praderas. Como ya señalamos en un capítulo anterior, durante el Pleistoceno se producen las glaciaciones o enfriamientos globales más importantes, y en este período y el anterior, se diversifican los primates y surgen los homínidos.

Las características más notorias de los homínidos están relacionadas con el ambiente de sabana o pradera en el que vivían y encontraban alimento, y con el desarrollo de la bipedestación, o sea, la capacidad de caminar erguido y sobre sus dos pies. Mencionaremos entonces, sus principales adaptaciones¹²:

- La forma de andar bípeda necesitó un notable reordenamiento de los huesos del esqueleto. Para mantenerse erguido, fue necesaria una modificación en los principales huesos del pie. Se desarrollan el *talón* y el *arco* del pie; el dedo gordo se alinea con los demás, perdiendo la clásica oponibilidad primate. Todo el pie está especializado para caminar y no para asir.

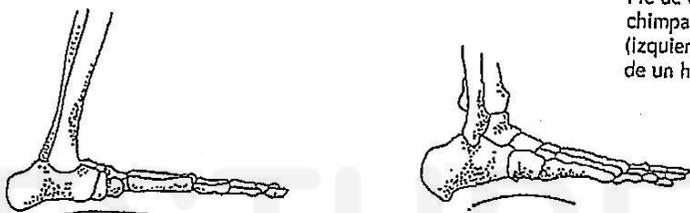


Figura 8.3
Pie de un chimpancé (izquierda) y de un hombre.

- Junto con el desarrollo del pie, también adquiere importancia la *musculatura glútea*, que junto con los músculos de la pantorrilla, posibilitan la fuerza para caminar cuesta arriba o correr.
- Las extremidades inferiores son más largas en relación con el tronco, y la cabeza del fémur se inserta verticalmente en la pelvis y no en ángulo como en los monos.

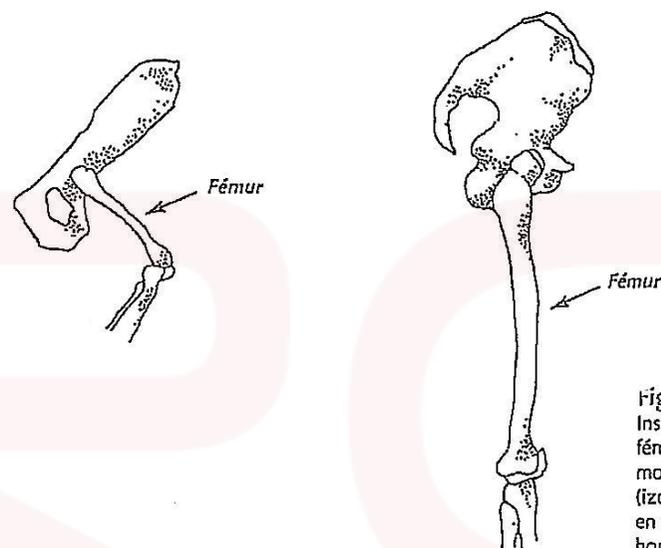


Figura 8.4
Inserción del fémur en un mono (izquierda) y en un hombre.

- La bipedestación también deja libres los brazos y las manos. El pulgar adquiere mayor libertad de movimientos posibilitando una mayor destreza manual.
- La columna vertebral desarrolla varias curvaturas que tienden a mantener el cuerpo en posición vertical; la curvatura lumbar contrarresta la fuerza de gravedad y evita caer hacia atrás.
- El mayor desarrollo del cerebro trajo aparejados muchos cambios en la estructura ósea de la cabeza. En un chimpancé, la caja craneana es relativamente pequeña en comparación con la región bucal¹³. Las mandíbulas fuertes y voluminosas de los

mamíferos inferiores tienden a reducirse en los primates junto con el incremento de la prensibilidad; sin embargo, conservan su importancia en relación con el cráneo. En los homínidos, el cráneo se vuelve más grande y redondeado y la región bucal menos prominente; de este modo queda situada por debajo del cráneo y no proyectada hacia delante.

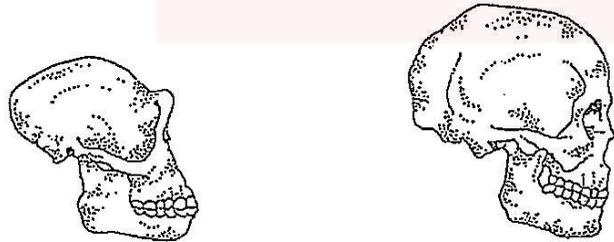


Figura 8.5
Cráneo de un chimpancé (izquierda) y de un hombre.

- En el cráneo de los mamíferos existe una abertura llamada *foramen magnum*, que posibilita la continuidad de la médula espinal con el encéfalo. En los mamíferos cuadrúpedos, esa abertura está situada posteriormente, de manera que la médula espinal lo atraviesa horizontalmente. En los primates, el *foramen magnum* está ubicado hacia abajo en un cierto ángulo que se va desplazando desde los prosimios (como los lemúres), pasando por los monos, hasta llegar a los homínidos y al hombre. En éste, la abertura está en la cara inferior del cráneo, mirando hacia abajo¹⁴.
- En los monos antropomorfos, la cabeza gira sobre unas estructuras óseas llamadas *cóndilos occipitales* (pues pertenecen al hueso occipital). Estos cóndilos se encuentran alejados del centro de gravedad de la cabeza, ya que la mayor parte de su peso está desplazado hacia adelante. Para contrarrestar este desplazamiento, es necesaria una musculatura muy fuerte en la zona del cuello, como la que presentan los orangutanes y los chimpancés. En el caso del hombre y los demás homínidos, los cóndilos occipitales están en el centro de gravedad

de la cabeza, y no son necesarios músculos muy desarrollados para mantenerla erguida.

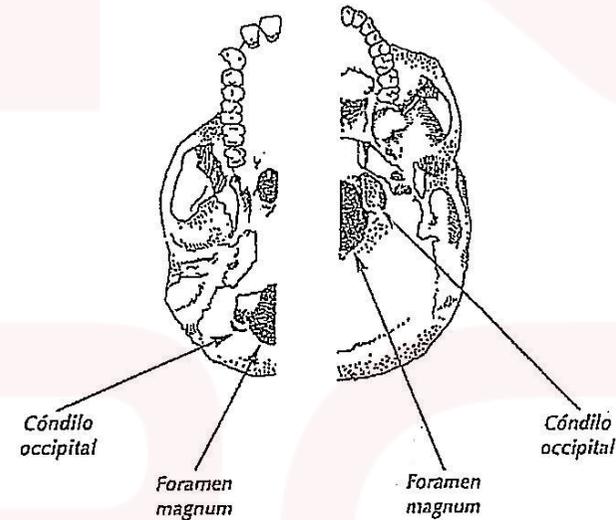


Figura 8.6
Base del cráneo de un chimpancé (izquierda) y de un hombre (derecha) mostrando los cóndilos occipitales y el *foramen magnum*.

- En la figura anterior también puede apreciarse la diferente forma del arco dental, y el menor tamaño de incisivos y caninos en el caso del hombre¹⁵. Aparentemente, el tipo de alimentación de los homínidos estaba relacionado con la ingesta de raíces y semillas duras, y esta clase de alimentos requiere un mayor desarrollo de molares y premolares trituradores, y una mayor libertad de movimientos del maxilar inferior.
- El mayor desarrollo del cerebro trae consigo los mismos cambios en el comportamiento social en general, y sexual en particular, que ya señalamos para los primates. Se presenta un número reducido de crías por parto, una larga gestación y un cuidado intenso de la cría. En todos los primates, la hembra

sólo es receptiva sexualmente durante algunos días por año; éste número puede ser variable, pero siempre coincide con el período de ovulación, o sea, el momento en el cual el óvulo o gameta femenina ha madurado, se ha desprendido del ovario y va camino al útero. Este momento es llamado período de celo. En los seres humanos, únicos representantes vivientes de los homínidos, no existen tales períodos de celo, y no hay ninguna señal externa del momento en el cual ocurre la ovulación; por lo tanto, las relaciones sexuales pueden suceder en cualquier momento del año. Este hecho facilitaría, según algunos investigadores, que los vínculos familiares se tornen más continuos y de mayor duración.

Nuestros parientes más cercanos: los australopitecinos

Según Roger Lewin¹⁶, los homínidos se originaron en algún momento entre 5 y 10 millones de años atrás. Es decir, aún antes del Plioceno. Los fósiles más antiguos que se han encontrado hasta hoy, son los descubiertos por el equipo de Mary Leakey, Tim White y Don Johanson en Hadar, Etiopía y en Laetoli, Tanzania entre 1972 y 1977. Se trata de partes de un esqueleto femenino, graciosamente bautizado como "Lucy", y fragmentos de otros individuos. En Laetoli también se hallaron huellas fosilizadas, lo que posibilitó confirmar los hallazgos vinculados con la estructura de los cráneos: los tres homínidos que hace 3,5 millones de años pisaron un campo de ceniza volcánica aún fresca, dejándonos el regalo paleontológico de las huellas de su paso; caminaban erguidos.¹⁷

Para muchos autores, los restos de Lucy pertenecen a la especie más antigua de homínido conocida en la actualidad. Un homínido de 40 kilos de peso y apenas un metro y medio de estatura. Para ella se ha elegido el nombre de *Australopithecus afarensis*, haciendo alusión a la región de Afar, Etiopía, donde se encuentran los yacimientos de Hadar.

La capacidad craneana de Lucy era aproximadamente la de un chimpancé actual: alrededor de 400 centímetros cúbicos, aunque presenta caracteres intermedios entre los de un simio y un humano. Conserva la estructura prognata de la cabeza; es decir, el rostro prolongado hacia adelante. Sin embargo, en la base del cráneo, se observa la posición central del *foramen magnum*, típica de la bipedestación. Y aunque existe una inserción algo diferente de la cabeza del fémur, la pelvis es más humana que simiesca.

Existen otras investigaciones que sugieren que *A. afarensis* pudo haber tenido una cierta actividad arborícola, o que por lo menos trepaba a los árboles para escaparse de los depredadores y poder dormir, y que cuando descendía adoptaba una postura inclinada. Las piernas, por ejemplo, son cortas, y los huesos de las manos y los pies, curvos. De todos modos, la adaptación a la postura erguida no fue completa en esta especie, y se la puede considerar como un tipo intermedio que sobrevivió aproximadamente 2 millones de años.

Como ya señalamos en un capítulo anterior, Raymond Dart descubrió en Sudáfrica, en 1924, el primer fósil de un australopitecino, al que bautiza con el nombre de *Australopithecus africanus*. Pero luego fueron descubiertos muchos restos más, poniéndose en evidencia que había algo así como dos variedades, una mucho más delicada o "grácil", y la otra, más fuerte y pesada: la "robusta". La especie grácil conserva el nombre de *A. africanus*, mientras que la robusta es llamada *A. robustus* en África del Sur y *A. boisei* en África oriental. Las mayores diferencias radican en las poderosas mandíbulas de las especies robustas, que le dan al cráneo su aspecto característico. Es evidente que su dieta estaba basada en alimentos que requerían una eficaz trituración, como semillas y raíces de las pradéras arbustivas. Algunos investigadores sostienen que la menor importancia de los músculos masticatorios en las especies gráciles se debe a su diferente dieta, posiblemente no estrictamente vegetariana, pero todavía hay muchas controversias al respecto.

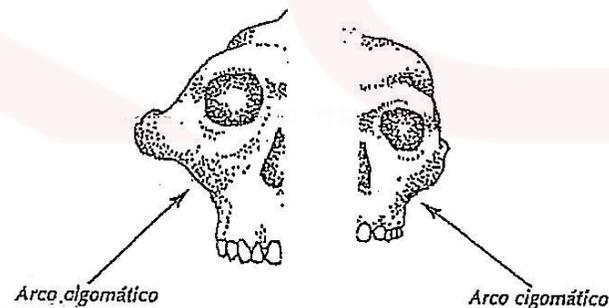


Figura 8.7
Cráneo de *A. robustus* (izquierda) y de *A. africanus*. Se advierte el gran desarrollo del arco cigomático en el primero, que posibilita la inserción de poderosos músculos masticatorios.

Los australopitecinos de hace 2 millones de años, siguen siendo tan pequeños como la pequeña Lucy, aunque se calcula que el peso de algunas especies de la variedad "robusta" pudo haber llegado hasta los 50 kilos. Su capacidad craneana no superaba los 500 centímetros cúbicos, y como en el caso de *A. afarensis*, si bien habían alcanzado la posición erecta, podían trepar a los árboles con facilidad.

Hacia el linaje humano

Hace 2 millones de años entonces, coexistían en África, dos especies de australopitecinos de cerebro pequeño, y otro homínido de cerebro mayor: aproximadamente 750 centímetros cúbicos. Fue hallado en el lago Turkana, Kenya, y se lo conoce como *Homo habilis*.

Por la misma época en que se desenterraban fósiles de homínidos, fueron descubiertos útiles de piedra muy simples, que parecían confirmar el hecho de que los australopitecinos podían ser fabricantes de herramientas. Louis Leakey, en 1959, en un lugar del África conocido como la Garganta de Olduvai; encontró muchos de estos útiles simples, que los arqueólogos llaman *choppers*, junto a un cráneo de un australopitecino robusto y otros restos de *Homo habilis* que incluyen una mano de tipo moderno, apta para fabricar herramientas y un cráneo que indica un mayor desarrollo cerebral. Obviamente este "habilis" con gran destreza manual fue el fabricante de los utensilios, aunque sobre este punto también hay discusiones. ¿Solo *Homo* fabricaba las herramientas? ¿Los australopitecinos utilizaban las piedras que sus "primos" más inteligentes cortaban y perfeccionaban? Lo cierto es que los útiles de piedra muestran el desarrollo de cierta tecnología en la producción de herramientas, con modelos y técnicas de fabricación estandarizadas¹⁸.

A. afarensis es la especie de homínido más antigua conocida hasta hoy, y es probable que sea la primera en el linaje de los homínidos. Pero, ¿cómo continúa la historia evolutiva?

Los personajes son cuatro o cinco: *A. afarensis*, *A. africanus*, *A. robustus*, *A. boisei*, y *Homo habilis*. ¿Cómo ubicarlos en un árbol de homínidos?

Todas las hipótesis propuestas colocan a *afarensis* en la base de nuestro árbol, pero se dividen en principio en dos grandes grupos: los que creen que el linaje humano se separó desde esa base, relegando a todos los demás australopitecinos a otra rama, y los que sostienen que *Homo* (¿*Homo habilis*?) es un descendiente directo de *A. africanus*.

En la siguiente figura, les presentamos un resumen de las principales hipótesis propuestas.

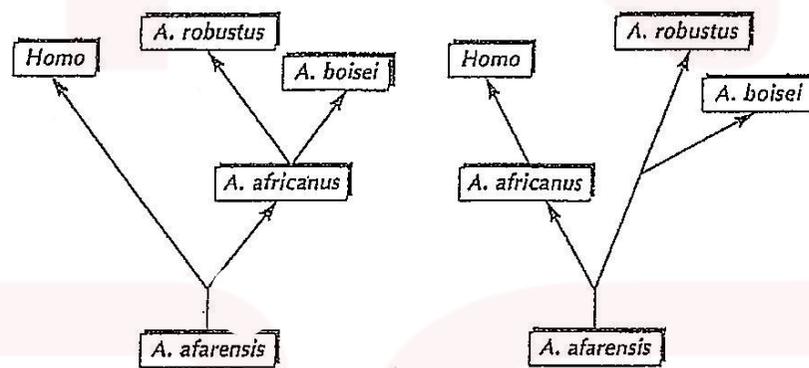


Figura 8.8
Diferentes hipótesis sobre el origen del linaje humano.

Faltan sin embargo, otros actores no menos importantes en este proceso evolutivo: *Homo erectus*, que se desplaza hacia Asia y Europa y conoce el uso del fuego, *Homo sapiens neandertalensis*, el famoso "hombre de Neandertal", y el más sabio entre los sabios: *Homo sapiens sapiens*.

Notas

- Las aves y los mamíferos son llamados también "animales de sangre caliente" u *homeotermos*. Esta expresión hace referencia a la capacidad de regulación metabólica que poseen (la *homeotermia*), y que consiste en mantener constante la temperatura del cuerpo, independientemente de la temperatura del medio. Por su parte, existen animales incapaces de tal regulación, por lo que su temperatura varía de acuerdo con la temperatura ambiental. Son los animales de "sangre fría" o *poiquilotermos* (del griego *poikilos*, variado).
- Las palabras primate, primacía o primo, derivan del vocablo latino *primus*, "primero" o "de primera calidad", en sentido figurado. Curiosamente Linneo agrupa a los simios junto con los humanos, pero les reserva el orden más importante: el primero.
 - Le Gros Clark, Wilfrid E.: *Historia de los Primates. Una introducción al estudio del hombre fósil*. Buenos Aires, EUDEBA, 1979.
 - Harris, Marvin: *Introducción a la Antropología General*. Madrid, Alianza Universidad, 1986.
 - La *visión estereoscópica* es la que poseen los animales cuyos ojos se encuentran en la parte delantera de la cabeza, miran hacia delante, y abarcan casi el mismo campo visual. El cerebro procesa las imágenes formadas en cada ojo, superponiéndolas y construyendo una imagen única a pesar de sus ligeras diferencias, permitiendo apreciar el relieve y la profundidad de los objetos que se enfocan. Esto es posible gracias a un entrecruzamiento de los nervios ópticos, el "quiasma óptico", que permite conducir los impulsos luminosos recibidos por cada ojo, a ambos lóbulos cerebrales.
 - Las estrategias reproductivas de los animales suelen ser muy diferentes. La mayor parte tiene cortos períodos de gestación y un gran número de crías por parto. La infancia es corta y la cría alcanza rápidamente la madurez sexual, y está lista para reproducirse nuevamente. Este elevado índice de natalidad compensa la gran mortalidad en los primeros días de vida a causa de la competencia por el alimento y el cuidado materno. Los primates tienen una estrategia basada en el bajo potencial reproductivo y la baja mortalidad infantil concentrando todos los cuidados en una sola cría por vez, hasta que ésta puede bastarse por sí misma después de un tiempo bastante prolongado.
 - Muchos dudan de que los *tupaydos* deban ser colocados dentro de los prosimios, e intentan ubicarlos en un grupo especial. Carecen de las adaptaciones que mencionamos como propias de los primates; es decir, poseen garras y no uñas planas, presentan un hocico en punta y los ojos ocupan una posición lateral en la cabeza, de modo que carecen de visión estereoscópica. De todos modos se los considera algo así como un prototipo de mamífero del que pudieron haber derivado otros mamíferos más evolucionados, como los verdaderos prosimios. Los *lemures*, por su parte, arborícolas y nocturnos, se acercan más al "modelo primate". La estructura de las extremidades anteriores y las uñas aplanadas son un ejemplo de esto. También el cerebro se encuentra más desarrollado. Los *tarsios*, por su parte, son mamíferos pequeñísimos, nocturnos y arborícolas, que viven en Borneo y las Filipinas.
 - Los catarrinos viven en Asia, África y ocasionalmente en el sur de Europa. Por su parte los platirrininos están limitados en la actualidad a Sudamérica, donde han desarrollado hábitos arborícolas. Presentan una cola prensil, gracias a la cual se cuelgan y balancean de las ramas de los árboles.
 - Ayala, Francisco J.: *Origen y evolución del hombre*. Madrid, Alianza Universidad, 1995.
 - Lewin, Roger: *Evolución humana*. Barcelona, Salvat, 1993.
 - Idem.
 - Harris, Marvin: *op. cit.*
 - Cuando la cara se sitúa más adelante que la frente, se dice que el cráneo presenta *prognatismo*. Por el contrario, el cráneo de los seres humanos es *ortognato*, y el maxilar superior está en el mismo plano que la frente.
 - El ángulo de desplazamiento del *foramen magnum* en un fósil es una evidencia de gran importancia sobre la postura más o menos erguida que pudo haber desarrollado el homínido o su antepasado durante su vida. Para una explicación más amplia, véase Le Gros Clark, W. E.: *op. cit.*

15. Para consignar el número de dientes de un animal es usual utilizar una fórmula en forma de fracción, en la cual el numerador expresa, de izquierda a derecha, el número de incisivos, caninos, premolares y molares de una mitad del maxilar superior, y el denominador, los números correspondientes a la mitad del maxilar inferior. La fórmula suele multiplicarse por dos para indicar el número total de dientes. Aparentemente, el mamífero placentario del cual derivaron todas las demás formas de mamíferos tenía la siguiente fórmula dental: $(3.1.4.3 / 3.1.4.3) \times 2 = 44$. En el transcurso de su evolución, los primates van perdiendo piezas dentales, hasta llegar al caso del hombre, que presenta una fórmula dental del tipo $(2.1.2.3 / 2.1.2.3) \times 2 = 32$.

16. Lewin, Roger: *op. cit.*

17. En Tanzania, muy cerca del lago Eyasi, existe una formación muy visitada por geólogos y paleontólogos. Se trata de una meseta de unos 1.500 kilómetros cuadrados, compuesta por capas superpuestas de ceniza producto de la actividad volcánica. Esta es una zona muy rica en fósiles que comenzó a ser explorada por Louis y Mary Leakey, desde 1935. En el año 1974, Mary Leakey logró encontrar muchos restos de homínidos, y en 1977, Andrew Hill y Peter Jones, de la Universidad de Harvard, encontraron las famosas huellas de homínidos que fueron fechadas entre 3,5 y 3,8 millones de años. (Para más detalles, véase Hay, Richard L. y Leakey, Mary D. "Las pisadas fósiles de Laetoli", en *Investigación y Ciencia*, edición en español de *Scientific American*, nº 67, abril de 1982.)

18. Para más detalles acerca de la fabricación de *choppers* y otros instrumentos líticos, véase Lewin, Roger: *op. cit.*

Capítulo 9

Aparición y difusión del género *Homo*

El escenario ya estaba preparado; y también algunos de los primeros protagonistas. Como señalamos en el capítulo anterior, hace 2 millones de años, en el período conocido como Pleistoceno, convivieron en África al menos tres especies de homínidos. Dos de ellas, de pequeño cerebro, fueron ubicadas en el género *Australopithecus*; sin embargo, a estas especies debe agregarse quizás una tercera, *Australopithecus aethiopicus*, de la que sólo se ha encontrado un cráneo y cuya antigüedad fue estimada en 2,5 millones de años. Junto a ellas, vivió un homínido de cerebro más grande que fue probablemente el primer fabricante de utensilios de piedra: *Homo habilis*. De este modo, y con el agregado de la última variedad de australopitecino encontrada, el árbol genealógico de los homínidos puede admitir alguna otra variante:

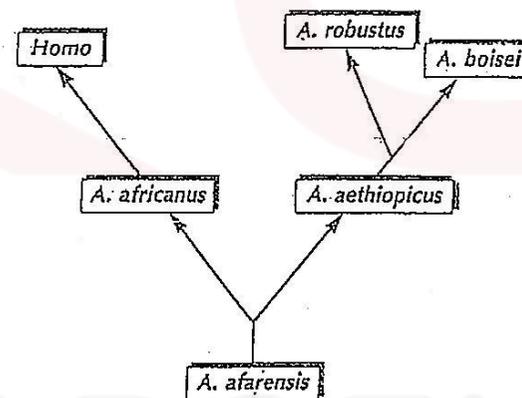


Figura 9.1
Hipótesis filogenética de los homínidos que incluye la variedad *aethiopicus*.

Los adelantos de *Homo erectus*

Como dijimos ya en un capítulo anterior, el holandés Eugene Dubois encontró a fines del siglo XIX en Java, los restos de un homínido al que llamó *Pithecanthropus erectus*. Para él y sus contemporáneos, representaba el hallazgo del "eslabón perdido" tan esperado. Como seguramente ha podido apreciarse, el árbol genealógico humano está muy lejos de esa supuesta cadena lineal que nos hacía descender directamente de los monos, y además aún está sujeto a controversias y futuros hallazgos paleontológicos. Sin embargo, ese descubrimiento fue completado en años siguientes con otras piezas pertenecientes a la misma especie, descubiertas en otras zonas del planeta: China, Georgia, África. Los nombres de *Pithecanthropus*, para las formas de Java, y de *Zynjanthropus* para las de China, fueron desplazados por el de *Homo erectus*, utilizado en un comienzo para designar los restos encontrados en la garganta de Olduvai, y posteriormente a orillas del lago Turkana. Tradicionalmente se sostenía que las formas *habilis* fueron evolucionando en algún lugar de África hacia las formas *erectus*, pero en la actualidad son mayores las dudas que las certezas con respecto a esta transición. Lo que puede observarse, sin embargo, es que *erectus* constituye una forma intermedia entre los *habilis* y los humanos más modernos.

Según algunas hipótesis (que como veremos más adelante no son compartidas por todos los paleoantropólogos) *Homo erectus* apareció en África, hace 1,5 a 1,8 millones de años, y seguramente fue la forma dominante durante un largo tiempo, ya que se extinguió hace 300 o 200.000 años.

Su tamaño cerebral aumenta considerablemente con respecto a los australopitecinos y a *Homo habilis*, presentando valores entre 800 y 1.100 centímetros cúbicos. De esta manera, el cráneo es más grande aunque presenta un aspecto general más aplanado, propio de esta especie. La cara es corta y ancha, con grandes prominencias en los arcos superciliares.

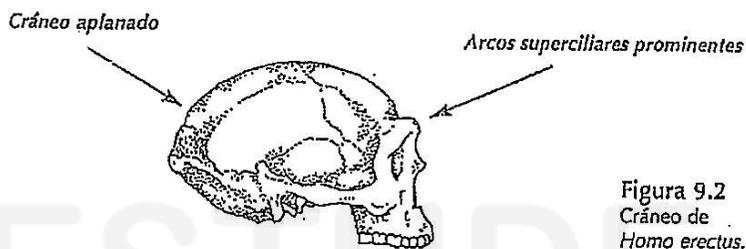


Figura 9.2
Cráneo de
Homo erectus.

El tamaño del cuerpo también se hace más grande. Los esqueletos de las hembras demuestran que su altura era de aproximadamente 1,55 m y en los machos, pudo llegar hasta 1,80 m y, por supuesto, caminaban totalmente erguidos.

Una característica especial de estos homínidos, es el grosor de los huesos largos de las extremidades y de los huesos del cráneo, mayor que el de cualquier especie de homínido conocida. Otras diferencias parecen centrarse en el hueso de la cadera y en el espacio dejado por la pelvis a modo de canal de parto. Un canal más estrecho significa que los niños nacidos eran pequeños y poco desarrollados, y seguramente debían pasar por un período postnatal prolongado y de mayores cuidados, lo cual pudo haber tenido enormes implicancias en el conjunto de las conductas aprendidas.²

Varias características culturales y de comportamiento son típicas de todas las formas que se han dado en llamar *H. erectus*. Una de las más interesantes es su distribución geográfica: las poblaciones de *erectus* se encuentran fuera de África y se distribuyen por Asia y Europa.

Cerca de Pekín, en Choukoutien, se han encontrado fragmentos de cráneos y otros huesos, pertenecientes a unos catorce individuos. Según resume M. Harris³, los restos tienen menos de 700.000 años y algunos de ellos parecen representar un tipo más moderno dentro de la especie. En Europa, existen muchos yacimientos de aproximadamente la misma época como los de Checoslovaquia, Hungría, Grecia y Alemania, entre otros.⁴ Los fósiles africanos son los más antiguos, ya que rozan los 1,6 millones de años e incluyen piezas de Argelia, Sudáfrica y Kenya. (Algunos científicos sostienen que las formas africanas más antiguas representan una especie diferente de las más modernas asiáticas y la llaman *Homo ergaster*, dejando el nombre de *H. erectus* para las asiáticas, según veremos más adelante.)

El incremento en el desarrollo cerebral obviamente le permitió mayores destrezas manuales en la fabricación de útiles. En la garganta de Olduvai, en Tanzania, ya se habían encontrado utensilios de piedra, como mencionamos en anteriores capítulos. Estas toscas herramientas o *choppers*, fueron fabricadas chocando dos fragmentos de roca entre sí. La que golpea hace las veces de "martillo de piedra", haciendo saltar una astilla o pequeña lámina (lasca) del trozo restante, llamado núcleo. Tanto el núcleo como la lasca pudieron ser utilizados como herramientas y aparecen en tal número y uniformidad en los yacimientos, que constituyeron una verdadera "industria" o tradición lítica llamada *olduvaiense* u *oldovaica*. Muy probablemente los *H. habilis* fueran los primeros fabricantes de estos instrumentos.

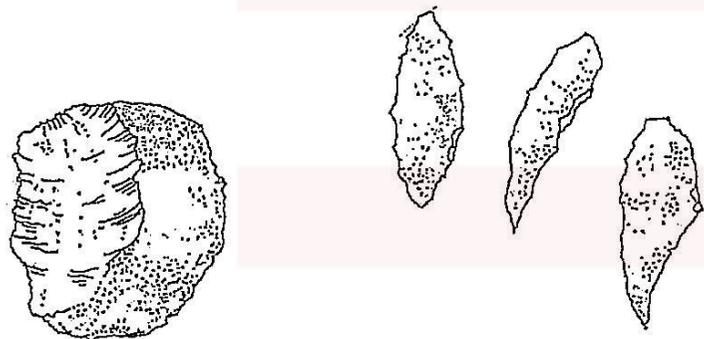


Figura 9.3
Choppers y lascas olduvaienses.

A partir de las herramientas conocidas como *choppers* olduvaienses, surge una innovación: la fabricación de los bifaces: lascas trabajadas de ambos lados produciendo distintos filos aptos para diferentes tareas como raspar, cortar o perforar. La herramienta que mejor ejemplifica este conjunto es la llamada *hachâ de mano* en forma de lágrima, encontrada por primera vez en Saint Acheul, Francia; es por eso que esta nueva industria se conoce como *achelense*.

El primer registro de esta tradición se remonta a 1,5 millones de años; es decir, coincide con la aparición de *Homo erectus* y por eso se supone que fue él su fabricante.

Probablemente la industria *olduvaiense* y la *achelense* convivieron durante mucho tiempo en Olduvai, por lo menos entre 1,5 y 1 millón de años.⁵

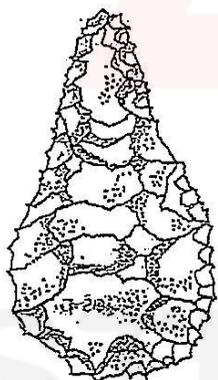


Figura 9.4.
Hacha de mano de la tradición achelense.

Pero, ¿cuál era la utilidad de tales instrumentos? Los bifaces o hachas de mano, son especialmente eficaces para cortar raíces o despedazar animales cortando la carne y los tendones, y raspando los cueros. En muchos yacimientos achelenses, también se han encontrado restos de animales grandes, como caballos o elefantes, junto a toda una producción seriada de instrumentos líticos. Esto es una señal inequívoca de otra de las innovaciones culturales de *H. erectus*: la caza sistemática y cooperativa.

La cueva de Choukoutien parece constituirse en la mejor evidencia de esta caza cooperativa de grandes mamíferos. Pero el hallazgo más importante en este sitio lo constituyen fragmentos de huesos carbonizados, lo cual indica que estos tempranos cazadores, utilizaban el fuego.

Pero estos homínidos cazadores, fabricantes sistemáticos de herramientas estandarizadas según un modelo determinado, conocedores del fuego y solícitos cuidadores de sus crías, abandonan África en algún momento después de su aparición: 1,5 millones de años.

En camino hacia los hombres sabios

Dijimos en un capítulo anterior que el período Cuartario de la era Cenozoica comienza hace 2 millones de años, en el llamado Pleistoceno. Éste suele subdividirse además en *Pleistoceno inferior*, *medio* y *superior*, como se muestra en el cuadro siguiente:

PLEISTOCENO INFERIOR	2 millones-700.000 años (aprox.)
PLEISTOCENO MEDIO	700.000-100.000 años (aprox.)
PLEISTOCENO SUPERIOR	100.000-10.000 años

Como vimos anteriormente, la historia de la Tierra pasó por sucesivos períodos de ascenso y descenso de la temperatura, con los consiguientes cambios en la vegetación, en las formaciones boscosas y selváticas, y por supuesto, en la fauna asociada con estos paisajes. El clima templado del Cenozoico comenzó a enfriarse gradualmente y las temperaturas comenzaron a bajar. Durante el Pleistoceno, entonces, se desencadenó un ciclo de *glaciaciones*, o períodos de muy baja temperatura, seguidos

por levés ascensos conocidos como *interglaciares*. Las principales glaciaciones fueron cuatro, y afectaron sobre todo al norte de Europa.⁶ Este es, por lo tanto, el escenario de la transición de las formas más primitivas de *Homo*, los *H. habilis*, hacia "modelos intermedios" como *H. erectus*, y hacia una creciente "sapientización" en las dos subespecies de *H. sapiens*: *H. sapiens neandertalensis* y *H. sapiens sapiens*.

Ahora bien, ¿dónde ocurrió esa transición? Existen distintas hipótesis explicativas. Una de ellas plantea que los *Homo erectus* que existían en todo el mundo, evolucionaron independientemente hasta transformarse en los humanos modernos. Una población originaria de *erectus* africanos se extendió por Asia y Europa adaptándose a varias condiciones regionales y desarrollando subpoblaciones, que originaron a los *sapiens* de cada región. Este modelo, también llamado "de candelabro" o de "continuidad regional", fue modificado recientemente introduciendo la variante del cruzamiento entre esas líneas evolutivas independientes, aumentando el flujo genético entre las poblaciones, y acelerando su *sapientización*.

En la hipótesis alternativa, conocida como "modelo del Arca de Noé", una sola población originaria de *erectus* africanos alcanzaría la categoría de *sapiens*, extendiéndose luego por Europa y Asia, aunque más tarde, serían sustituidas por nuevas oleadas migratorias también originarias de África.⁷

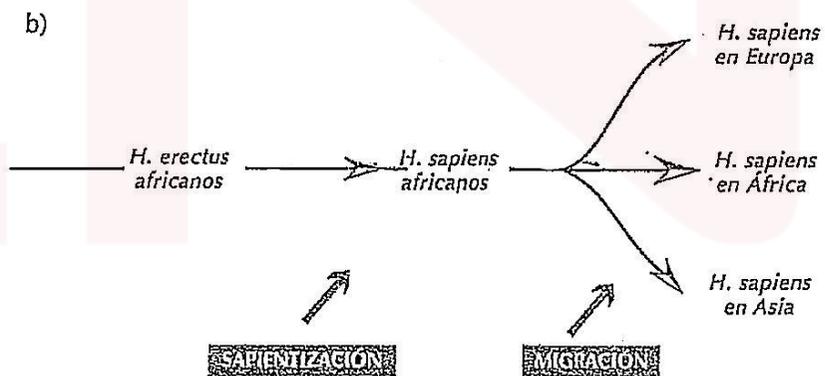
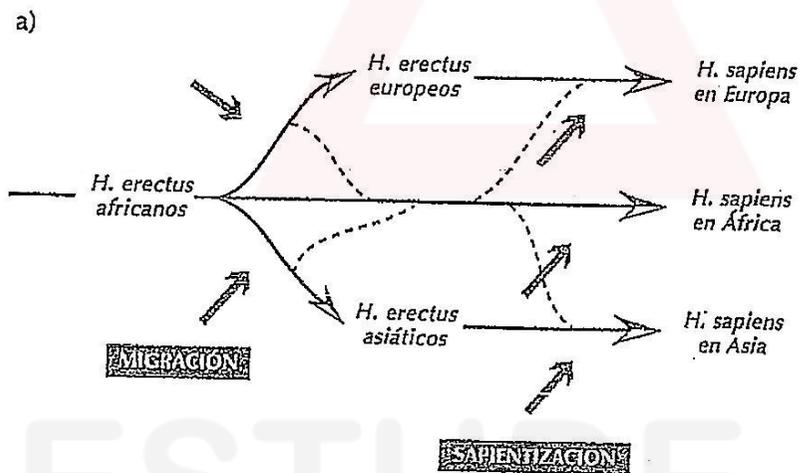


Figura 9.5
Dos modelos alternativos acerca del origen de los humanos modernos: a) modelo de continuidad regional, b) modelo del "arca de Noé".

Pero la evolución a veces plantea dilemas, regresiones, y "callejones sin salida". Es el caso de una variante de *Homo sapiens* conocida como "hombre de Neandertal", descubierta en 1857, en el valle del río Neander, Düsseldorf, Alemania y que ubicamos en la subespecie *H. sapiens neandertalensis*.

Los neandertales aparecen entre 125.000 y 100.000 años atrás y no se encuentran registros fósiles de menos de 35.000 años. Las causas de su desaparición están aún sujetas a discusiones paleontológicas, pero mientras vivieron, fueron hábiles cazadores que se extendieron por Asia y Europa, adaptándose a las condiciones de frío extremo de la última glaciación. Se sabe que se abrigan con pieles y que se refugiaban en cavernas. También que eran diestros en la fabricación de herramientas.

Los períodos geológicos que corresponden al Pleistoceno Inferior y al Pleistoceno Medio, tienen su correlato cultural en un período que los arqueólogos llaman *Paleolítico Inferior*. Es el caracterizado por las industrias o tradiciones oldovaiense u oldovaica, y achelense, mencionadas anteriormente. Por su parte, el período geológico llamado Pleistoceno Superior, corresponde a los períodos culturales conocidos como *Paleolítico Medio* y *Paleolítico Superior*. En el Paleolítico Medio, entonces, época del auge de los neandertales, estas industrias que permanecieron sin cambios durante tanto tiempo, fueron sustituidas por una tradición llamada *mus-*

teriense⁸, y caracterizada por la presencia de lascas obtenidas/a partir de núcleos de sílex⁹, trabajadas en forma de hojas finas, puntas, cuchillos y raspadores.

Son de gran interés los descubrimientos realizados en la cueva de Shanidar, Irak, de los cuales se deduce que los neandertales enterraban a sus muertos y colocaban flores a modo de ofrendas en sus sepulturas¹⁰.

Con respecto a su anatomía, el cráneo es grande, bajo y con prominentes arcos superciliares, y la capacidad cerebral es algo mayor que la de los humanos modernos.

Poseían una característica exclusiva en la cara: una saliencia en la línea media que desplaza hacia delante la nariz y los maxilares dándole un aspecto algo redondeado. La frente se desliza hacia atrás y no se desarrolla verticalmente como en los humanos modernos; las cavidades de la nariz y los ojos son bastante grandes.

Para algunos investigadores, todo el conjunto de cráneo y cara, representa una adaptación al frío; por ejemplo, las cavidades nasales lejos del encéfalo, lo protegen contra las variaciones de la temperatura (recordar el desplazamiento de la frente) y su gran tamaño serviría para calentar el aire inspirado.

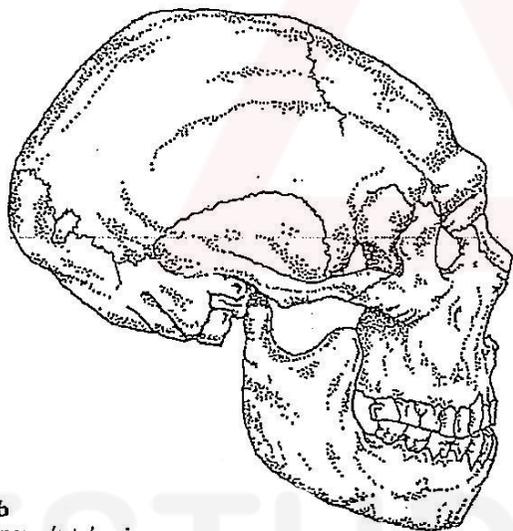


Figura 9.6
H. sapiens neandertalensis.

En cuanto al resto del esqueleto, las diferencias con respecto al hombre moderno se hacen menores. Quizás haya un mayor desarrollo y peso en algunos huesos, y también alguna diferencia en la pelvis, relacionada con el ancho que necesitaría el canal de parto para permitir la salida de una cabeza de mayor tamaño.¹¹

Se podría pensar en un primer momento, que los neandertales constituyen un paso en la transición hacia los *sapiens*, pero esto no fue así. Hay evidencias de hombres modernos anteriores a los neandertales, y por otra parte coexisten con ellos durante mucho tiempo. Pero, ¿cuál fue la causa de su abrupta extinción? Algunos insinúan que constituyeron un modelo "superadaptado" al frío y que un aumento de la temperatura los habría hecho desaparecer¹². Otros piensan que compitieron desventajosamente con los *sapiens*; o incluso que llegaron a cruzarse con ellos. El hecho es que entre los 35 y 32.000 años, los macizos neandertales desaparecieron, dejando sus huesos, sus instrumentos y sus tumbas.

Nuevas evidencias para nuevos árboles

Desde la desaparición de cualquier vestigio fósil de *H. erectus*, hasta la aparición de fósiles de hombres de Neandertal o de humanos modernos, transcurren 100 o 200.000 años. ¿Qué ocurrió durante ese lapso? Y lo que es más importante, ¿dónde sucedió?

Estas preguntas solían tener siempre las mismas respuestas, y estas nunca venían de Europa. Hasta que entre 1978 y 1990, un investigador español, Emiliano Aguirre, decide investigar unas antiguas cuevas en la sierra de Atapuerca, al este de Burgos. Se trata de unas 25 cavidades, muchas de ellas interconectadas, en donde existen depósitos de relleno. Se excavaron tres de estos depósitos: Gran Dolina, Galería y Covacha de los Zarpazos. Allí se encontraron en sucesivos niveles, restos de flora y fauna que permitieron reconstruir las distintas condiciones paleoclimáticas por las cuales atravesó la zona.

También se excavó la Sima de los Huesos, en Ibeas, una especie de chimenea vertical de más de 10 metros de profundidad que se comunica con un túnel en pendiente; en su fondo aparecieron restos de 30 individuos anteriores a los neandertales, cuya antigüedad fue estimada en 300.000 años: Para los modelos evolutivos tradicionales, estaríamos en presencia de un *H. erectus*. Sin embargo, por las características especiales de su cráneo y demás huesos del esqueleto, Aguirre propone ubicarlos como pertenecientes a la subespecie *Homo sapiens heidelbergensis*.¹⁴

Pero el panorama aún no estaba completo. Los investigadores Eudald Carbonell, José María Bermúdez y Juan Luis Arsuaga, volvieron al depósito de sedimentos investigado por Aguirre y conocido como Gran Dolina. Después de años de investigaciones y excavaciones, y luego de exhumar cientos de fósiles de animales, encontraron algunos molares semejantes a los de un *Homo* muy primitivo, y de una antigüedad aproximada a los 800.000 años.

El investigador Richard Leakey había descubierto en 1984, a orillas del lago Turkana, un homínido de 1,6 millones de años¹⁴; según él y su equipo es una variante temprana de *H. erectus*. Sin embargo, otros investigadores europeos creen que se trata de una especie más primitiva a la que llaman *Homo ergaster*. Entonces cabía la pregunta: ¿eran los dientes y el trozo de mandíbula de la Gran Dolina partes de un *H. ergaster*? ¿Eran *Homo heidelbergensis*, como todos los fósiles europeos del Pleistoceno medio?

Sólo en 1996 obtuvieron la respuesta: hallaron un trozo de la cabeza de un niño de aproximadamente once años; una parte de un rostro completamente moderno, pequeño, como el de los *sapiens*, y con un cerebro expandido, pero mucho más antiguo que los *heidelbergensis*: 800.000 años. Se lo llamó *Homo antecessor*, y de alguna manera cambió la historia de la evolución humana; ahora el árbol del linaje humano, debía reconstruirse nuevamente.

La hipótesis de Arsuaga, Carbonell y Bermúdez es más o menos la siguiente¹⁵:

El origen de la humanidad, se encuentra en África. Allí, entre 1,5 y 2 millones de años, vivía el *Homo ergaster*. Siguiendo el modelo evolutivo del "arca de Noé", estos investigadores arriesgan que *ergaster* se desplazó a Asia, transformándose gradualmente en *H. erectus* en el camino. Los humanos modernos no descenderían de los *erectus*, ya que estos constituirían una especie asiática.

Pero no toda la población de *ergaster* se desplazó a Asia. Quedó una parte que dio origen al *Homo antecessor*, el famoso "niño de Atapuerca" encontrado en la Gran Dolina. Allí se inicia la segunda gran migración, pero esta vez, de los *antecessores*, y no fue Asia el lugar de destino, sino Europa, más precisamente, España. Allí, más o menos hace 300.000 años, dieron lugar a los *H. heidelbergensis*, encontrados en la Sima de los Huesos. Cien mil años después, habrían evolucionado a hombres de Neandertal.

Siguiendo el mismo razonamiento anterior, los investigadores españoles suponen que las poblaciones de *H. antecessor* que nunca salieron del África, evolucionaron hacia *H. sapiens sapiens*, los humanos modernos. Estos dejaron África hace 100.000 años, siguiendo las mismas rutas migratorias de los otros humanos; llegaron a Europa y Asia, reemplazando a las poblaciones de neandertales y a los *Homo erectus*.

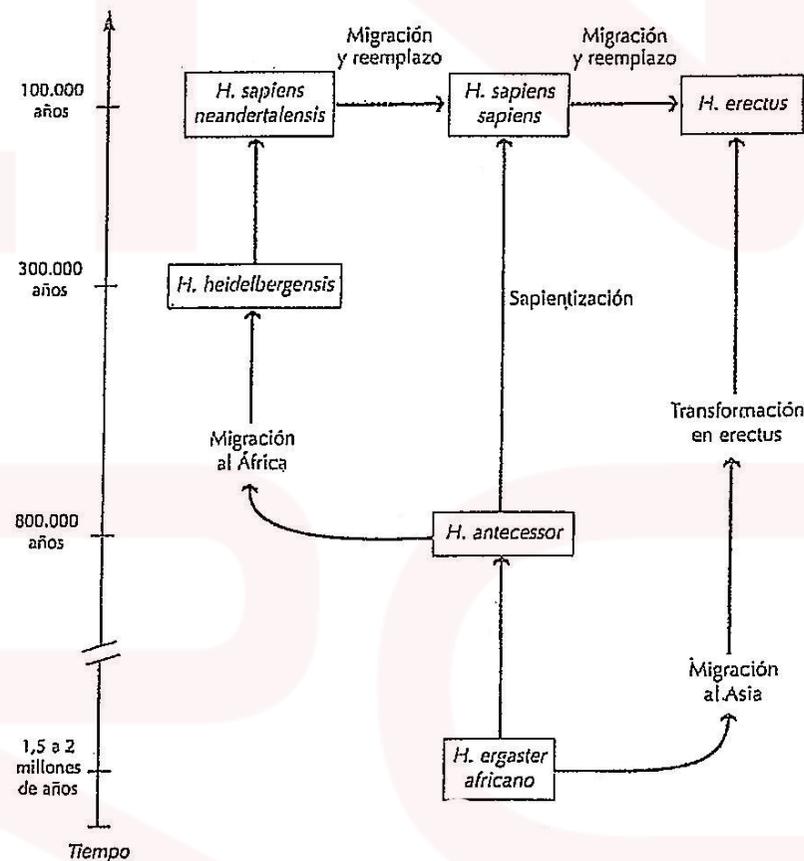


Figura 9.7
Nuevas hipótesis acerca del origen del linaje humano (según los investigadores españoles E. Carbonell, J. Bermúdez y J. Arsuaga).

Es por eso que, según estas hipótesis, hace 100.000 años, pudieron haber coexistido tres especies de homínidos.

A través de varios caminos y siguiendo hipótesis muchas veces opuestas, hemos llegado al fin al *Homo sapiens*. Pero todavía es necesario despejar algunos interrogantes acerca de sus últimos asentamientos. ¿Cuándo llega a América? ¿Qué vías utiliza? Y también podemos plantear algunas preguntas de más difícil respuesta: ¿qué es lo propiamente humano en el hombre? ¿Qué destino le espera? ¿Continuará su evolución?

Notas

1. La "calavera negra", como se llamó el descubrimiento que Alan Walker efectuó en 1985, a orillas del lago Turkana, presentaba una rara combinación de características australopitecinas, no pudiendo ubicárselo en ninguno de los grupos conocidos; es por eso que se propone para él, el nombre de *A. aethiopicus*.
2. Lewin, Roger: *Evolución humana*. Barcelona, Salvat, 1993.
3. Harris, Marvin: *Introducción a la Antropología General*. Madrid, Alianza, 1986.
4. En Prezletice, Checoslovaquia, se encontró un fragmento de un diente, y en Vértesszöllös (Hungría), Petralona (Grecia) y Mauer (Alemania), trozos de cráneos y dientes.
5. Existen varias explicaciones acerca de la coexistencia de estos dos tipos de herramientas. Algunos proponen una especialización dentro del grupo *erectus* que llevó a una parte de la población a desarrollar las técnicas olduvaienses, y a otra, las achelenses, según la tarea que llevaran a cabo. Otros mencionan la existencia de dos tribus, una más primitiva y otra más evolucionada. Por último se habla de las diferentes materias primas que se utilizaban, y la necesidad de crear instrumentos también diferentes.
6. Durante el Pleistoceno Inferior, los avances glaciarios más importantes en Europa fueron el llamado Günz y el Mindel. Los otros fueron el Riss y el Würm, todos con sus correspondientes interglaciares. En África no hubo períodos glaciares propiamente dichos sino épocas de grandes lluvias a las que se llamó *pluviales*.
7. Lewin, Roger: *op. cit.*
8. La expresión *Musteriense*, deriva del yacimiento neandertalense de Le Moustier, en Perigord, Francia.
9. El sílex o pedernal, es una roca sedimentaria dura, variedad del cuarzo, que al fracturarse, produce aristas cortantes; de allí su eficacia como herramienta relacionada con las actividades de la caza.
10. La *palinología* es una disciplina que se ocupa del estudio del polen y las esporas de las especies vegetales. Gracias a ella, se analizaron los granos de polen fósiles encontrados en el enterramiento neandertalense de la cueva de Shanidar y se identificaron las especies a las que pertenecían. Para mayor información, véase Trinkaus, Erik y Howells, William. *Neandertales*. En *Investigación y Ciencia*, edición en español de *Scientific American*, n° 41, febrero de 1980.
11. Trinkaus, Erik y Howells, William: *op. cit.*
12. Evolutivamente, los individuos que presentan características menos especializadas, son más lábiles a la hora de responder a las presiones ambientales. Por el contrario, los más adaptados o especializados, no pueden desandar el camino, y suelen convertirse a veces en "callejones sin salida" evolutivos, destinados a extinguirse, como decíamos antes.
13. Aguirre, Emiliano. "Los yacimientos de Atapuerca", en *Investigación y Ciencia*, edición en español de *Scientific American*, n° 229, octubre de 1995.
14. Para una atrayente narración acerca del descubrimiento del "niño de Turkana" o del "joven Turkana", véase Leakey, Richard y Lewin, Roger: *Nuestros orígenes. En busca de lo que nos hace humanos*. Barcelona, Crítica (Grijalbo Mondadori), 1995.
15. Kunzig, Robert. "¿Nuestro antepasado? Revelador hallazgo en Atapuerca", en *Discover*, (en español). Miami, Florida, Ideas & Capital, marzo de 1998.

Capítulo 10

Del *Big Bang* al *Homo sapiens*: ¿un camino inevitable?

Hemos tratado de recorrer más de 15.000 millones de años de historia del Universo, y ahora nos enfrentamos a nosotros mismos, al ser humano como especie biológica y cultural: el *Homo sapiens sapiens*. Para explicar su origen, se han ensayado diversas hipótesis que ordenaremos para su mejor comprensión.

Origen de los humanos modernos: dos visiones contrapuestas

Con respecto al origen del hombre moderno, como señalamos en el capítulo anterior, se plantean dos hipótesis opuestas: En un caso, se sostiene que los *sapiens* modernos evolucionaron desde sus antepasados *erectus* dispersos por todo el mundo, durante el último millón de años. En el otro, los humanos modernos surgieron en África, hace unos 200.000 años y desde allí se extendieron por todo el mundo.

En general, esta discusión representa la continuación de una vieja polémica ya señalada antes, entre los paleoantropólogos y los biólogos moleculares. Para estos últimos, los registros fósiles no son una fuente objetiva de datos porque muchas veces los caracteres físicos encontrados coinciden con ciertos modelos previos que los paleontólogos se esfuerzan por comprobar. Además sostienen (con cierto grado de inocencia científica), que las secuencias genéticas son totalmente objetivas ya que su estudio carece de prejuicios teóricos¹. Por su parte, los paleontólogos acusan a los genetistas de utilizar el método, poco fiable para ellos, del reloj molecular² basado en el ADN presente en los orgánulos celulares llamados *mitocondrias*. Trataremos de sintetizar ambas posturas.

La hipótesis del origen africano reciente, es la sustentada por Allan Wilson y Rebecca Cann³, y se ha hecho popular en la literatura paleoantropológica con el nombre de "hipótesis de la Eva mitocondrial".

Como señalamos antes, en 1967, el bioquímico Vincent Sarich midió la distancia evolutiva entre los chimpancés y los seres humanos modernos, estudiando algunas de sus proteínas y comparando sus secuencias respectivas de aminoácidos. Cuanto mayores fueran las diferencias encontradas en las secuencias, mayores serían también las distancias evolutivas entre las especies. Actualmente, para la confección de estos "relojes moleculares", se trabaja con las secuencias de genes que codifican las proteínas y no con las secuencias de aminoácidos.

Hacia 1980, se comenzaron a estudiar las últimas etapas de la evolución humana recurriendo al ADN que reside en las mitocondrias que se encuentran en el citoplasma de las células, y no en su núcleo. Este ADN, llamado *mitocondrial*, presenta la ventaja de codificar alrededor de 40 genes (comparado con los aproximadamente 100.000 que codifica el ADN nuclear). Además acumula mutaciones que no afectan las funciones de la misma mitocondria, y por ello no son eliminados por la selección natural.

Peró el ADN mitocondrial tiene una ventaja adicional: cuando el óvulo se une al espermatozoide en el momento de la fecundación, ambos contribuyen con su ADN nuclear; por el contrario, todo el citoplasma de la célula resultante procede del óvulo, y con él, todas sus mitocondrias. Así, el ADN nuclear se hereda de ambos padres, mientras que el ADN mitocondrial sólo proviene de la madre.

Los ADN mitocondriales de los hermanos, son los más parecidos, y esa similitud se va haciendo cada vez más pequeña a medida que el parentesco se aleja.

Los genetistas sostienen que todo el ADN mitocondrial humano tiene que haber tenido una sola antecesora que llaman "Eva".

Más tarde, en 1988, Thomas Kocher, de la Universidad de Berkeley, llegó a la conclusión de que Eva era africana, y que el África fue la cuna de toda la humanidad.

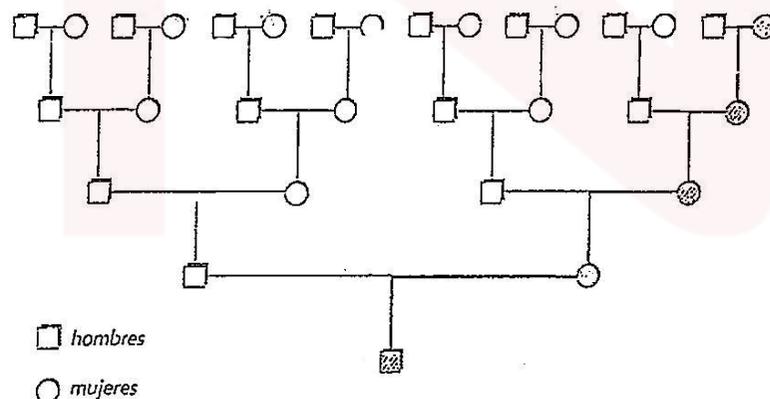


Figura 10.1
GENEALOGÍA DE UN INDIVIDUO A TRAVÉS DE SU ADN MITOCONDRIAL.
(Los trazos verticales representan los vínculos entre padres e hijos; los trazos horizontales representan las parejas de padres. La línea que une los símbolos rayados, señala un linaje de ADN mitocondrial.)

El nacimiento tuvo lugar, según el reloj molecular, hace unos 200.000 años. La hipótesis corresponde al modelo que en el capítulo anterior llamamos del "arca de Noé", o de sustitución.

La hipótesis alternativa sostiene la evolución multirregional de los seres humanos. Es decir, que cada grupo surgió separadamente, a partir de los *erectus* que ya se habían dispersado por el planeta.

Los especialistas en prehistoria y antropología Alan Thorne y Milford Wolpoff⁴, inclinados a favor de esta última postura, descreen que, como pensaba Wilson, en 200.000 años pueda haberse sustituido completamente toda la población antecesora del África y el resto del mundo. Además, para ellos, el ADN mitocondrial sólo es una guía (y a veces poco confiable), mientras que los registros fósiles aportan las verdaderas pruebas.

El poblamiento de América y Oceanía

Sea cual fuere el modelo aceptado de pasaje de los antecesores de *Homo sapiens* hacia los humanos modernos, lo cierto es que después de su establecimiento en Asia y África, tuvo lugar su dispersión hacia Australia y América.



Figura 10.2
Rutas migratorias hacia Europa,
Asia, América y Australia.

La ruta señalada a través del estrecho de Bering, parece no ofrecer desacuerdos, aunque sí los tiene la fecha probable de la travesía.

En las hipótesis del poblamiento temprano, se sostiene una fecha aproximada a los 30.000 años; en las del poblamiento tardío, entre 11.000 y 12.000 años.

El camino a través del estrecho de Bering fue posible ya que la intensa glaciación provocó el descenso del nivel del mar, dejando un corredor libre de hielo por el cual los eurasiáticos pudieron colonizar América. Por el contrario, para llegar a Australia, hace unos 40.000 años, fue necesario atravesar el mar.

Genes y cultura: distintos códigos para nuestra herencia

Alfred R. Wallace, quien desarrolló simultáneamente con la obra de Darwin su teoría de la selección natural, compartía plenamente los principios darwinianos para las plantas y los animales inferiores y superiores; sin embargo, se detenía respetuosamente ante el hombre, y necesitó plantear el supuesto de una inteligencia superior que llevara a nuestra especie hacia un destino prefijado. Esto condujo, a Wallace en su momento, y a muchísimos otros investigadores actuales que lo sucedieron, a considerar una separación, un "hiato" entre el hombre y su perfección, y el resto de la naturaleza.

Pero, ¿qué es lo que lleva a algunos científicos a demarcar una frontera tan infranqueable? ¿Cuáles son los atributos especiales que hacen del hombre un ser humano?

Como dice Francisco Ayala⁶, una investigación acerca de las diferencias y las semejanzas entre el hombre y los antropoides puede llevarnos a desentrañar el verdadero significado de la naturaleza humana. Atributos tales como el lenguaje, el arte, la ética o la religión, van más allá de su sustento biológico y se proyectan en un nuevo mundo cultural.

Entre las diferencias anatómicas, es sin duda el desarrollo del cerebro el atributo que implicó las mayores consecuencias evolutivas para el hombre como especie. Sin embargo, como señala Roger Lewin, el cerebro, aquello que llamamos "conciencia"⁷ y el lenguaje, son tres cualidades inseparables.

En cuanto al desarrollo del cerebro, desde Lucy y sus parientes australopitécinos con un cerebro que apenas superaba los 400 cm³, se llega a un promedio de 1.300 cm³ en los humanos modernos. Sin embargo,

parece que las proporciones que las distintas zonas del cerebro representan en el volumen total, son de mayor importancia que el tamaño general.

Existe, sin dudas, una organización cerebral humana y otra simiesca. Veámos en qué consiste.

Como es bien sabido, en el cerebro se distinguen dos grandes mitades llamadas *hemisferios cerebrales* (derecho e izquierdo). Cada uno, a su vez, está organizado en *lóbulos* (parietal, temporal, frontal y occipital). Estos lóbulos controlan una serie de funciones; las mejor localizadas son las relacionadas con los sentidos, como el oído, el tacto o el olfato, ubicadas en los lóbulos parietales. Pero muchas funciones, como las que organizan el lenguaje articulado, son muy difíciles de localizar con seguridad. Existen sin embargo, dos zonas principales relacionadas con el lenguaje: una es el *área de Broca*, ubicada en el lóbulo frontal izquierdo, y que se asoció durante mucho tiempo con la producción de los sonidos, relacionándola con el control de los movimientos de los labios, la mandíbula, la lengua y las cuerdas vocales. La otra es el *área de Wernicke*, ubicada en el lóbulo temporal izquierdo, y que suele asociarse con la comprensión del lenguaje⁸. De todos modos, es extremadamente difícil encontrar sus huellas en los fósiles de homínidos; a excepción de *Homo habilis*, y además, la presencia de vestigios de estas áreas es sólo una prueba indirecta de la capacidad del habla. Muchos otros aspectos relacionados con la capacidad lingüística, como el idioma o el vocabulario que utilizamos, parecen no tener una ubicación cerebral definida.

Peró con respecto al habla, existen otras estructuras que la posibilitan y que están relacionadas directamente con el aparato de fonación. En los humanos, la laringe está ubicada de tal manera que, durante la deglución, queda ocluida temporalmente, impidiendo el paso de los alimentos al sistema respiratorio. Además, deja mayor espacio libre por encima pudiendo variar así la emisión de los sonidos. Los demás mamíferos conservan una posición elevada de la laringe, lo que les permite respirar y tragar al mismo tiempo.

Muchos paleoantropólogos sostienen que la laringe de *H. erectus*, ya había comenzado a descender, posibilitando esa mayor gama de sonidos. Con respecto a la emisión de sonidos en los hombres de Neandertal, las discrepancias en las opiniones son grandes. Se supone que el cráneo tan particular de esta especie, con su proyección nasal característica (mencionada en el capítulo anterior), impediría una correcta dicción. Sin embargo, el hallazgo de un hueso hioides en un esqueleto de un neandertal, idéntico a los similares de los humanos modernos, llevó a los investigadores a suponer parecidas capacidades lingüísticas.

Para Richard Leakey, el lenguaje apareció gradualmente en la evolución del hombre, y sin duda alguna, estrechamente relacionado con un modo de subsistencia cazador-recolector incipiente.

Los seres humanos se dictan a sí mismos normas de conducta, o normas éticas, que aceptan dentro de ciertos límites, y gracias a las cuales pueden convivir y juzgar moralmente su conducta. Como esas normas éticas son universales, es posible pensar que tienen un sustento biológico, y que están relacionadas con el *Homo sapiens* como especie y que también son producto de la evolución biológica.

Para algunos, sin embargo, los códigos morales surgen en la sociedad y muchas veces se oponen a la naturaleza biológica del hombre.

Esta discusión es muy antigua y podría aclararse si se distinguiera entre la *capacidad ética* y las normas mismas de conducta. Para Francisco Ayala⁹, las normas morales están basadas en principios que son exclusivamente culturales y no surgen, como generalmente aceptan los partidarios de la escuela sociobiológica, como resultado de la selección natural. Para ellos, la prohibición del incesto o el castigo al adulterio, son conductas promovidas por esta selección natural que tendrían como objetivo la preservación del acervo genético humano y la conservación de la especie.

Para Ayala en cambio, los hombres son seres biológicamente éticos porque pueden prever las consecuencias de sus actos (o sea, pueden establecer la relación entre medios y fines), pueden evaluarlos, como buenos o malos, y finalmente, elegir entre varias alternativas posibles de acción. Y esas características tienen un fuerte correlato biológico en el desarrollo creciente del cerebro que posibilita la abstracción y la reflexión.

Sin embargo, sobre este sustrato orgánico se edifica la cultura. Con el desarrollo de las extremidades anteriores y el acrecentamiento de la destreza manual, surge la posibilidad de fabricar utensilios y herramientas, pero también el arte que encontramos brillantemente representado ya desde el paleolítico superior. Con la base de un cerebro desarrollado y un aparato de fonación adecuado, surge el lenguaje y la organización social para las actividades domésticas, pero también la expresión de los más profundos sentimientos a través de las palabras.

De la misma manera, sobre una capacidad ética universal en los seres humanos, se levanta el gigantesco edificio de las normas morales.

Los seres humanos poseen una herencia biológica o somática, codificada en la secuencia de bases del ADN; sin embargo, la herencia cultural, que abarca el lenguaje, la tecnología, la organización social y los modos de convivencia, el arte y los valores éticos y religiosos, de los que hablabamos en párrafos anteriores, excede el ámbito orgánico y no bastan

para su transmisión los mecanismos de la duplicación de los ácidos nucleicos. Es necesaria la transmisión de las experiencias acumuladas por el grupo, de padres a hijos, de mayores a menores, de generación en generación.

De esta manera, así como la evolución biológica, también existe la evolución cultural que permitió al hombre adaptarse y sobrevivir.

Palabras finales

Del caos o de la nada, de la indiferenciación o del mismo cuerpo de los dioses, surgió el Universo. O quizás, de la gran explosión de un punto pequeño, caliente y denso que desencadenó más de 15.000 millones de años de acontecimientos. Desde la formación y la consolidación de los sistemas solares y sus planetas, al surgimiento, inagotable al parecer, de la vida en sus más variadas expresiones.

A lo largo de estos capítulos, intentamos mostrar la unidad de todo el proceso evolutivo, que comienza con los átomos y las moléculas más simples haciéndose cada vez más complejos en las condiciones especiales de la atmósfera terrestre, hace 4.600 millones de años. El "caldo primitivo" inicial generó enjambres-moleculares y formas precelulares, y finalmente, junto con la síntesis de la primera molécula de ADN, los primeros seres vivos.

Los escenarios cambian, las especies varían, pero los principios son esencialmente los mismos: variabilidad o biodiversidad creciente, recursos escasos, competencia, lucha por la vida, supervivencia del más apto, adaptación. Y otra vez: el azar y la necesidad.

¿Y son también el azar y la necesidad los que llevan a la aparición del *Homo sapiens* sobre la Tierra? ¿Fue predestinada, como decía Teilhard de Chardin¹⁰, esa aparición?

Su presencia en este mundo, ¿fue obra de la casualidad o de la inevitabilidad? ¿Será también inevitable que el mismo *Homo sapiens* provoque, con la degradación y la depredación continuas e indiscriminadas del mismo ambiente en el cual vive, la última y más grande extinción en masa que conoce el planeta y que seguramente también lo hará desaparecer?¹¹

Y por último, si hubiesen sido diferentes algunas situaciones y otros los acontecimientos, ¿podríamos no haber existido nunca?

No tenemos respuestas a estas preguntas, pero quizás puedan ayudarnos las palabras de Stephen Hawking, cuya obra inspiró gran parte de este libro:

"Hasta ahora, la mayoría de los científicos han estado demasiado ocupados con el desarrollo de nuevas teorías que describen cómo es el universo para hacerse la pregunta de por qué. Por otro lado, la gente cuya ocupación es preguntarse por qué, los filósofos, no han podido avanzar al paso de las teorías científicas (...). No obstante, si descubrimos una teoría completa, con el tiempo habrá de ser, en sus líneas maestras, comprensible para todos, y no únicamente para unos pocos científicos. Entonces todos; filósofos, científicos y la gente corriente, seremos capaces de tomar parte en la discusión de por qué existe el universo y por qué existimos nosotros. Si encontrásemos una respuesta a esto, sería el triunfo definitivo de la razón humana, porque entonces conoceríamos el pensamiento de Dios."¹²

Notas

1. Véase el apartado *Algunas aclaraciones acerca de las teorías*, en el capítulo 2 de este libro.
2. Véase el apartado *Identidad bioquímica del hombre*, en el capítulo 7 de este libro.
3. Wilson, Allan C. y Cann, Rebecca L.: "Origen africano reciente de los humanos", en *Investigación y Ciencia*, edición española de *Scientific American*, n° 189, junio de 1992.
4. Thorne, Alan G. y Wolpoff, Milford H.: "Evolución multirregional de los humanos", en *Investigación y Ciencia*, ed. cit.
5. Para el paleoantropólogo Richard Leakey, existen tres temas de interés permanente y que suscitarán las más encendidas polémicas: el *Hiato*, la *Inevitabilidad*, y la *Sexta extinción*. Con respecto a la primera, se refiere a la consideración de que entre el mundo humano y el animal existe un profundo abismo que nos convierte en seres especialísimos; para este autor, las cualidades más esenciales de la humanidad, como la conciencia, la ética o el lenguaje, no aparecieron repentinamente, sino que son la resultante de una larga evolución. El otro tema que discute es si la presencia del hombre en este mundo fue obra del azar de las mutaciones y de la dirección de la selección natural, o si por el contrario toda la historia evolutiva del planeta es una preparación para su llegada inevitable. El tercero de los temas se refiere a la depredación indiscriminada que el hombre hace de su hábitat y que puede llevarlo a la extinción en masa más grande que haya visto la Tierra: la sexta extinción. Para un mayor desarrollo de estos temas, véase Leakey, R. y Lewin, R.: *Nuestros orígenes. En busca de lo que nos hace humanos*. Barcelona, Crítica (Grijalbo Mondadori), 1995.
6. Ayala, Francisco J.: *Origen y evolución del hombre*. Madrid, Alianza Universidad, 1995.
7. Para Lewin, la conciencia es la última adquisición del animal social. Se

trata de un movimiento introspectivo en el cual uno puede verse a sí mismo, y ser por ello capaz de predecir cómo reaccionarán los demás ante parecidas situaciones. Véase Lewin, R.: *Evolución humana*. Barcelona, Salvat, 1993.

8. Estas áreas reciben su nombre en honor de los investigadores Paul Broca y Carl Wernicke. Broca fue un eminente fisiólogo, antropólogo y cirujano francés, que vivió entre los años 1824 y 1880. Descubrió el llamado centro del lenguaje articulado, a partir de sus investigaciones en tumores cerebrales. Fue autor de numerosos libros de antropología y medicina. Por su parte, Wernicke fue un médico alemán del siglo pasado, que realizó investigaciones en pacientes con daños cerebrales, llegando a la conclusión de que si el daño estaba localizado en el lóbulo temporal izquierdo, era posible la emisión de sonidos, pero el lenguaje se volvía incomprendible.
9. Ayala, Francisco J.: *op. cit.*
10. El filósofo, teólogo y paleontólogo Pierre Teilhard de Chardin, nació en Francia, en 1881 y murió en New York, en el año 1955. Considera que el hombre es la fase culminante y final en la escala creciente de perfeccionamiento del Universo.
11. Leakey, Richard y Lewin, Roger: *La sexta extinción. El futuro de la vida y de la humanidad*. Barcelona, Tusquets, 1997.
12. Hawking, Stephen: *Historia del tiempo: del big bang a los agujeros negros*. Buenos Aires, Alianza, 1996.