

EL CUERPO, UNA HISTORIA POR PARTES

Cómo millones de años de evolución y nueve meses de desarrollo nos hacen ser como somos

RAMÓN MUÑOZ-CHÁPULI

El cuerpo, una historia por partes. Cómo millones de años de evolución y nueve meses de desarrollo nos hacen ser como somos
© Ramón Muñoz-Chápuli, 2025
© de esta edición, Shackleton Books, S. L., 2025

Shackleton
— b o o k s —

   @Shackletonbooks
shackletonbooks.com

Realización editorial: Bonal letra Alcompas, S. L.
Diseño de cubierta: Lookatcia
Diseño y maquetación: reverté-aguilár

Depósito legal: B 23723-2024
ISBN: 978-84-1361-326-0
Impreso por EGEDSA (España)



Reservados todos los derechos. Queda rigurosamente prohibida la reproducción total o parcial de esta obra por cualquier medio o procedimiento y su distribución mediante alquiler o préstamo públicos.

A Mari
A Mar
A Pablo
Por tanto recibido

Hay solo un templo en el mundo, el cuerpo humano.
Nada es más santo que esta forma suprema [...]
Se toca el Cielo cuando se acaricia un cuerpo humano.

Novalis, *Schriften*, Vol. III



CONTENIDO

Prólogo	11
Un cuerpo animal	15
En el principio fueron las células...	18
...Y esto no cambió durante muchísimo tiempo	20
La organización pluricelular, tan ventajosa como excepcional	25
Lo primero es orientarse	33
Ejes corporales	34
Tu cuerpo está del revés	37
La historia de una cabeza	45
La importancia del número tres	45
Placodas y cresta neural, las células multiusos	47
Un laboratorio de análisis químico en tu nariz	50
La vista, un milagro de la evolución	53
El oído no estaba pensado para que oyeras	55
La séptima placoda	57
Un complejo rompecabezas	61
Dos clases de huesos	62
La bóveda craneana, protectora del cerebro	64
Un orificio con mucha historia	67
Primero los dientes, luego las mandíbulas	68
El invento decisivo, las mandíbulas	70
Mandíbulas pasadas de moda	75

La herencia branquial, mucho más que huesos	81
¿Qué pasó con los músculos de las branquias?	83
La importante herencia de la faringe branquial	85
La columna vertebral: organizar el eje del cuerpo	91
Los vertebrados inventaron las vértebras... más de una vez	92
Las regiones de la columna	93
Un sistema antiquísimo de organización	96
La larga travesía evolutiva de tus piernas... y tus brazos	101
¿Cómo convertir una aleta en una pata?	102
Conectar las patas con el cuerpo	107
Cómo disponer las patas (con curiosas consecuencias para tus piernas)	109
Mueve el esqueleto	115
No es lo mismo comer pescado que ternera	116
Los músculos que desafiaron a los axiales (y ganaron)	120
Es mejor no dejarse la piel	125
Tu piel tiene un doble origen	125
Los mamíferos sobrevivieron... ¡por los pelos!	127
¿Piel grasa? ¡Enhorabuena!	129
Sudar la camiseta	130
¿Sudar leche?	131
Un éxito en la recuperación de las glándulas	133
Células madre en tu piel	136
Dar color a la piel	136
La dermis, más activa de lo que parece	138
A pleno pulmón	141
Más antiguos que los anfibios	141
Pulmones y vejigas gaseosas	144
¿Cómo aumentar la superficie en un volumen limitado?	145
Ventilar los pulmones	148
Un cordial recuerdo para tu corazón	151
Un corazón de pez en tu embrión	152
¿Cómo evitar la mezcla de diferentes tipos de sangre?	155
Romper la simetría	159

El remoto origen del corazón	162
Los accesorios del corazón (vienen de serie)	165
Sin el sistema circulatorio no habríamos llegado hasta aquí	171
Del sistema hemal al sistema circulatorio de los vertebrados	171
El endotelio marca la diferencia	175
¿De dónde salió el endotelio?	177
Hacer la digestión	181
Un tubo largo, pero bien organizado	182
Las asimetrías del tubo digestivo	188
Nitrógeno y agua: las dos preocupaciones de tu sistema excretor	191
¡Cuántos problemas da el nitrógeno!	192
Del riñón y su sorprendente historia	193
Reciclar las cañerías	197
Soma y germen: tu sistema reproductivo	201
La azarosa historia de las gónadas	202
La larga marcha de las células germinales	203
Fabricar óvulos o espermatozoides, nada que ver	204
Una cloaca ancestral muy bien aprovechada	209
Apoyar el desarrollo de tu cuerpo	211
Dos estrategias reproductivas	213
Un saco vitelino... sin vitelo	215
Una cámara sellada	216
El alantoides, menos popular que el amnios, pero ¡muy importante!	217
Del alantoides a la placenta	218
Nuestra inversión parental nos hizo especiales	219
Epílogo	
La doble historia de tu cuerpo	223
Apéndices	229
Glosario	231
Atribuciones de las figuras	235



Prólogo

Querida lectora, querido lector:

Vivimos en una época marcada por un desmedido interés por el cuerpo humano. Las cifras de facturación en sectores como la cosmética, la cirugía estética, los gimnasios o los cuidados corporales aumentan año tras año. Mirando hacia el futuro, ya se especula con escenarios transhumanistas basados en el desarrollo de tecnologías que mejorarán las capacidades del cuerpo humano. El conocimiento de nuestro genoma y la posibilidad de edición genética abren la puerta a intervenciones que podrán ser tanto positivas (tratamiento y prevención de enfermedades) como discutibles (bebés de diseño, dopaje genético, mejora de la especie humana, adquisición de superpoderes...).

No hay duda de que cada vez nos interesa más nuestro cuerpo, pero ¿realmente lo conocemos? ¿Eres consciente de cómo has llegado a ser tal y como eres? En muchos aspectos nuestro cuerpo, y en particular su historia, sigue siendo un desconocido.

Por eso, el propósito de este libro es narrar la doble historia de *tu* cuerpo. Por un lado, voy a describir las innovaciones que fueron apareciendo en nuestros ancestros a lo largo de millones de años

de evolución y que llevaron a la organización actual del cuerpo humano. Al mismo tiempo, recorreremos en paralelo otra historia, mucho más breve. Esta solo dura unos nueve meses, desde tu concepción hasta tu nacimiento. A lo largo de ese periodo, tu cuerpo adquirió su compleja forma partiendo de una simple célula. Puede parecer que son dos historias que no tienen nada que ver, pero confío en convencerte de lo contrario, de que podemos leer una parte importante de la milenaria historia evolutiva del cuerpo humano en el desarrollo embrionario.

Estoy seguro de que, si tienes la paciencia de llegar al final de este recorrido, no volverás a ver tu cuerpo como antes. Descubrirás que tu vientre corresponde al dorso de la mayoría de los animales, que tus neuronas tienen mucho que ver con tu piel, que tus dientes fueron escamas en otro tiempo, o que tu tiroides fue utilizada por nuestros antepasados para capturar alimento. Y muchas cosas más que te sorprenderán y te enorgullecerán de tener un cuerpo como el tuyo.

A lo largo de este texto he simplificado cuestiones a veces muy complejas, para facilitarte la lectura y ayudar a que fuera más amena. He reducido al máximo los términos técnicos, pero algunos han sido inevitables, así que encontrarás un pequeño glosario al final del libro. También te propongo algunas referencias en cada capítulo, por si quieres informarte más acerca de lo tratado.

Una de las cuestiones en las que he sacrificado la precisión en favor de la sencillez es la denominación de los grupos de animales. Por eso hablaré de vertebrados e invertebrados, de peces, anfibios y reptiles; aunque, en realidad, desde hace mucho tiempo estos términos coloquiales ya no se emplean en la clasificación animal. Los grupos taxonómicos deben ser monofiléticos, es decir, estar formados por todos los organismos que descienden de

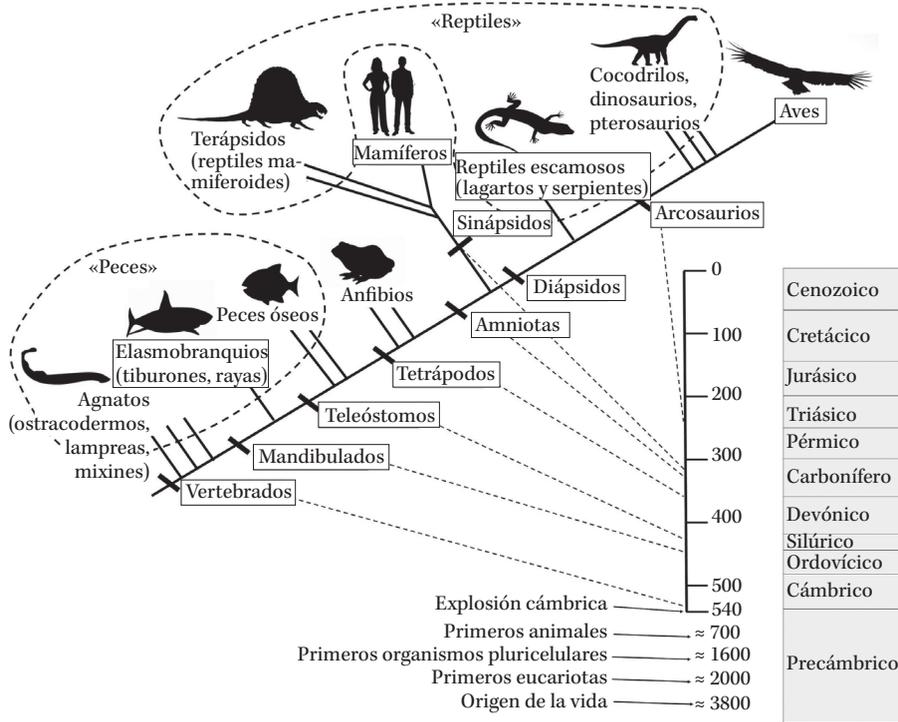


Figura 1. Esquema de la evolución de los vertebrados. Los nombres en el recuadro corresponden a grupos monofiléticos, formados por todos los descendientes de un mismo ancestro. Los demás grupos no cumplen con esta condición y por eso sus nombres no son utilizados en la taxonomía. Observa la posición de los mamíferos relativa a otros grupos. En realidad, el origen de nuestro linaje (los sinápsidos) es bastante primitivo y, desde luego, anterior al linaje de dinosaurios y aves (arcosaurios). He situado en la escala temporal (en millones de años antes del presente) los periodos geológicos y los principales acontecimientos evolutivos que se describen en este libro.

un único ancestro. Esta condición la cumplen los mamíferos y las aves, pero no ocurre en el caso de los peces, los anfibios o los reptiles. La figura que acompaña a este texto te permitirá comparar los términos coloquiales que todos conocemos con los nombres

que utilizamos los biólogos para definir a cada uno de los grupos de vertebrados. Encontrarás también una escala temporal en la que podrás situar los principales acontecimientos evolutivos que originaron estos grupos.

Para terminar, espero que me disculpes por tutearte, porque no nos conocemos, pero precisamente por tratar un tema tan personal, tu cuerpo, el mío, el de todos los humanos, me he atrevido a establecer contigo, desde el principio, un vínculo cercano a través del lenguaje. Aclarado esto, ya podemos empezar.

Un cuerpo animal

Somos animales. Sin embargo, no siempre somos conscientes de todo lo que significa que seamos animales. No nos paramos a pensar en todos los momentos, distribuidos a lo largo de miles de millones de años de evolución biológica, en los que se produjeron acontecimientos, innovaciones más o menos significativas, sin las cuales no estaríamos hoy en la Tierra en tanto que seres vivos, vertebrados, mamíferos y primates.

La idea de la animalidad humana tardó mucho en abrirse camino en la conciencia y en la ciencia. Creo que muchos naturalistas de la Antigüedad estaban convencidos de que lo éramos, pero nadie se atrevió a afirmarlo en voz alta hasta bien entrado el siglo XIX, cuando la obra de Darwin abrió el incendiario debate sobre la evolución humana, con todo aquello de que el hombre viene del mono... Se cuenta incluso que el obispo Wilberforce preguntó al gran defensor de Darwin, Thomas Huxley, en un debate público, si descendía del mono por parte de padre o de madre. Sí, los seres humanos somos animales y descendemos de ancestros animales. Y la verdad, visto con perspectiva, no había por qué montar tanto escándalo.

La palabra «animal» ya se usaba en el latín clásico para referirse a los seres dotados de *animus*, soplo o aliento vital.¹ Esta idea de que los seres animados estaban impulsados por una fuerza o fuente de movimiento interior procede de Aristóteles, el primer gran clasificador de la naturaleza. Para entender esto, es importante conocer la distinción que hacía Aristóteles entre materia y forma. Según este filósofo griego, una silla está hecha de una determinada materia (por ejemplo, la madera o el acero) a la que alguien ha dado una determinada forma (patas, asiento, respaldo...). En el caso de la silla, no hay duda de que para dar forma a la materia es necesario que exista un agente que aplique a dicha materia un plan concreto de construcción. Sin embargo, Aristóteles dedicó una parte importante de su obra a tratar el caso de los seres vivos, que le fascinaban porque eran capaces de adquirir una forma (el árbol a partir de una semilla, la gallina a partir de un huevo) sin que fueran evidentes ni el agente de su transformación ni el plan que esta seguía. Aristóteles concluyó que los seres vivos (es decir, los «animados») estaban dotados de un impulso interior que era el agente imprescindible para el desarrollo de su forma.

Pero cabe decir que no todos los seres animados manifestaban ese impulso de la misma manera, y eso también lo observó Aristóteles. Por tanto, sus almas debían de tener propiedades distintas. Por ejemplo, las plantas crecían y se reproducían, pero no eran capaces de responder a estímulos externos. Aristóteles concluyó que su alma era vegetativa (*bios*, *βίος*), una fuerza simple, necesaria y suficiente para dirigir los procesos básicos de los seres vivos: el crecimiento y la reproducción. Muy diferentes eran

¹ A su vez, *animus* deriva del griego ἄνεμος (*ánemos*, ‘soplo’ o ‘viento’). Ya sabes que la velocidad del viento se mide con el anemómetro, pero probablemente no te habías fijado en que anemómetro y animal comparten un mismo origen etimológico.

los animales, seres vivos que exploraban su medio, reaccionaban ante un peligro, huían o atacaban. Estos seres, además de alma vegetativa, debían de tener un segundo tipo de alma, el alma sensitiva (*zoé, ζωή*). Y, por último, Aristóteles concluyó que los seres humanos, además de almas vegetativa y sensitiva, debían de tener también un alma de un tipo superior, un alma racional (*psyché, ψυχή*), que es la que les permite reflexionar, razonar y comprender.² Por tanto, según Aristóteles, somos animales (sin duda) pero con un tipo de alma distinta y propia: somos animales racionales.

El cristianismo adoptó el concepto de alma, otorgándole otro sentido inspirado en las ideas platónicas. Este nuevo concepto entendía el alma como un espíritu que habita el cuerpo humano y sigue existiendo de alguna manera después de la muerte. De este modo, los animales, a pesar de que debían su nombre a la posesión de un alma, fueron separados de los humanos, ya que carecían de alma inmortal. Por el contrario, los seres humanos no podían de ninguna forma ser considerados animales. Y de ahí el debate que estalló cuando Charles Darwin (1809-1882) y Thomas Huxley (1825-1895) incluyeron a los humanos en su concepción de la evolución animal.

Pero dejemos estas cuestiones filosóficas a un lado y volvamos a la identidad animal de nuestro cuerpo, que en pleno siglo XXI ya tenemos asumida (al menos la mayoría de nosotros). Para comenzar a comprender nuestro cuerpo debemos aceptar que no es otra cosa que un cuerpo animal. ¿Qué significa esto? Busca un espejo y mírate en él. Verás tu piel, tus ojos, tu pelo... Todo lo que contemples está formado por células, aunque no seas capaz de verlas a

² He usado las palabras originales griegas, porque con el tiempo llegarán a ser muy importantes cuando se vayan definiendo las diferentes ciencias. Sí, te has dado cuenta: biología, zoología, psicología...

simple vista. De hecho, los humanos tardamos muchísimo tiempo en conocer las células, porque solo con nuestros ojos no podíamos. Además, este conjunto ingente de células tiene propiedades que lo distinguen de otros seres pluricelulares como plantas y hongos. Pero vayamos poco a poco y empecemos por el principio...

En el principio fueron las células...

El descubrimiento de las células fue posible gracias al microscopio inventado por el neerlandés Anton van Leeuwenhoek (1632-1723). Leeuwenhoek era un comerciante de paños que necesitaba lentes de aumento para comprobar la calidad de los tejidos. Tenía una habilidad excepcional para tallarlas, y su curiosidad le llevó a utilizar sus magníficas lentes para observar todo lo que se ponía a su alcance. Leeuwenhoek merece como pocos el título de descubridor de un nuevo mundo, porque nadie había contemplado antes la miríada de seres vivos que contiene una gota de agua o la tierra de una maceta. El propio sarro de los dientes, que también pasó bajo la lente del perspicaz neerlandés, le permitió describir por primera vez las bacterias, y no es preciso que mencionemos los detalles que hicieron posible que observara los espermatozoides.

Durante años, Leeuwenhoek remitió sus observaciones a la Royal Society inglesa, institución que encargó a su más habilidoso técnico, Robert Hooke (1635-1703), que fabricara un microscopio y reprodujera las observaciones de Leeuwenhoek. Con este instrumento, Hooke observó el corcho y otros tejidos vegetales, y describió la existencia de estructuras en forma de celdillas, *cellulae* en latín. Todavía hizo falta que pasaran más de cien años hasta que dos naturalistas alemanes, Theodor Schwann (1810-1882) y

Matthias Schleiden (1804-1881) enunciaron la teoría celular: la célula es la estructura básica de todos los seres vivos. Por tanto, comprender la vida y su fascinante diversidad (lo que incluye a nuestro propio cuerpo) empieza necesariamente por comprender la célula.

Un cuerpo humano es un conjunto de muchas, muchísimas células. ¿Cuántas? No se sabe con exactitud. Las estimaciones más fiables apuntan a una cifra de 30 o 40 billones. Cuando caminamos, comemos o tocamos una armónica, esos entre 30 y 40 millones de millones de células actúan de forma coordinada para que podamos movernos de forma razonablemente correcta. Esas células no son iguales. Tenemos más de 200 tipos diferentes en nuestro cuerpo: neuronas, células musculares o filtradoras del riñón, linfocitos defensivos o fotorreceptores en la retina. Cada una desempeña su función y colabora con las demás para que todo esté bien orquestado en una maravillosa sinfonía de funciones... Qué complicados somos, ¿no?

Hablemos de un animal muchísimo más sencillo. Se llama *Caenorhabditis elegans*, y es un pequeño gusano nematodo que mide alrededor de un milímetro. Habita en el suelo y, desde hace algunas décadas, también vive y se reproduce en las placas de cultivo de los laboratorios de todo el mundo. Se trata de un extraordinario modelo que nos permite entender lo que significa ser un animal, precisamente por su extrema sencillez. Su cuerpo adulto posee exactamente 959 células somáticas (sin contar las reproductoras que proliferan continuamente). ¡Qué diferencia con el nuestro! Se podría pensar entonces que la genética que gobierna su diminuto cuerpo es muchísimo más sencilla que la nuestra, pero no es así. Aunque no disponemos de la cifra exacta, los seres humanos organizamos, mantenemos y ponemos en funcionamiento nuestro

complejísimo cuerpo con alrededor de 22 000 genes codificadores de proteínas, según las más recientes estimaciones. ¿Cuántos genes necesita *Caenorhabditis elegans* para organizar sus 959 células? La lógica apunta que deberían ser muchísimos menos. Pues no. En este minúsculo animal se han descrito casi 20 000 genes. Por no hablar de la mosca del vinagre (la drosófila), que nos supera con sus casi 27 000 genes.

Esta paradoja, la falta de correlación entre la complejidad genética y la complejidad orgánica, es clave para entender lo que significa ser un animal. Y para explicarlo, tendremos que retroceder al origen de la vida en la Tierra.

...Y esto no cambió durante muchísimo tiempo

Nuestro planeta se formó por acreción de gases, polvo y fragmentos sólidos de diverso tamaño, producidos tras el colapso gravitatorio de una nube de gas y polvo interestelar. Esto ocurrió hace unos 4500 millones de años. Esta Tierra primitiva no era un lugar precisamente acogedor. Su temperatura era altísima y continuamente era bombardeada por fragmentos espaciales sólidos, atraídos por su campo gravitatorio. La superficie de la Luna, que no ha sufrido procesos de erosión y está cubierta de sus famosos cráteres, es un buen testigo de lo violenta que fue aquella época. Poco a poco la Tierra se fue enfriando y el vapor de agua de su atmósfera se condensó, y cayó en forma de lluvias torrenciales sobre las rocas, enfriándolas cada vez más. Al final, el agua pudo acumularse en las partes más bajas, formando los océanos, y fue disminuyendo el impacto del bombardeo cósmico. Aunque había agua líquida, por entonces la Tierra tampoco era un lugar agradable

para los seres vivos. Su atmósfera tenía muy poco oxígeno y los rayos ultravioletas del Sol barrían su superficie. Aun así, en aquel ambiente hostil y seguramente en el medio marino, surgió la vida, hace unos 4000 millones de años.

¿Y cómo surgió la vida en nuestro planeta? Se han propuesto diversos modelos, de los cuales los que se basan en las propiedades del ácido ribonucleico (ARN) son los más aceptados. Sin embargo, discutir sobre esto se escapa del objetivo de nuestro libro (si tienes interés puedes consultar las referencias al final de este capítulo). Lo que nos interesa ahora es que la vida surgió primero en forma de células. Células individuales, aisladas, autosuficientes, con la capacidad de absorber nutrientes, síntesis de moléculas orgánicas y reproducción. Y con la capacidad de evolucionar, de generar novedades a lo largo del tiempo gracias a procesos de mutación en su material genético. Esa capacidad de producir novedades, acoplada a procesos de selección natural, permitió que la vida evolucionara y se diversificara desde sus comienzos.

Las dos palabras clave del párrafo anterior son «células individuales». La vida surgió en forma de células independientes, básicamente organizadas como las bacterias actuales. Es cierto que en algún momento estas células desarrollaron sistemas para intercambiar material genético entre ellas, e incrementaron así su diversidad y su potencial evolutivo. Sin embargo, cada una de ellas vivía de forma autónoma, reproduciéndose por división, sin envejecer nunca y siendo potencialmente inmortales. En este mundo unicelular no había ninguna indicación de que en algún momento pudieran surgir nuevas formas de organización celular, basadas en organismos formados por miles o millones de células. De hecho, durante los primeros 2000 millones de años de evolución, la vida fue exclusivamente unicelular. Solo hace unos 1600-1800 millones

de años aparecieron en el registro fósil los primeros indicios de organización pluricelular, que tal vez correspondían a algas rojas primitivas o quizá a simples colonias de bacterias.

Durante esos 2000 millones de años de vida unicelular, los primeros seres vivos no perdieron el tiempo. Ocurrieron dos acontecimientos que iban a ser esenciales para que nosotros, los animales, entrásemos en escena mucho tiempo después. El primero fue un invento genial, la fotosíntesis. Un grupo de bacterias, las cianobacterias, adquirió la capacidad de utilizar la energía de la luz solar para sintetizar hidratos de carbono a partir del dióxido de carbono atmosférico y del agua, dos moléculas muy abundantes. Se calcula que esto debió de ocurrir hace unos 2800 millones de años. Lo bueno del invento de la fotosíntesis es que las moléculas de carbohidratos almacenan energía que se puede recuperar después si se oxidan.

Este proceso químico desarrollado por las cianobacterias tuvo un efecto secundario imprevisto: liberaba oxígeno. A medida que las cianobacterias proliferaban por todo el planeta, a lo largo de cientos de millones de años, expulsaban a la atmósfera gigantescas cantidades de oxígeno. Seguro que te estás preguntando: ¿entonces el oxígeno de nuestra atmósfera, el que nos permite respirar y oxidar carbohidratos, fue producido por aquellos primeros seres vivos? La respuesta es sí, y muchísimas más cosas. Hay que tener en cuenta que la atmósfera primitiva de nuestro planeta apenas contenía oxígeno. Los metales, como por ejemplo el hierro, permanecían inalterados, y buena parte de las primeras remesas de oxígeno se consumió para oxidar todo lo oxidable. Otra parte del oxígeno contribuyó a la formación de la capa de ozono (una molécula con tres átomos de oxígeno), que filtraba los rayos ultravioleta, haciendo habitable la superficie terrestre.

Los animales podrían no haber aparecido nunca, pero cuando lo hicieron encontraron un escenario propicio.

Así que durante los primeros 2000 millones de años de vida en el planeta Tierra lo único que pululaba por sus mares y aguas dulces eran las bacterias. Muchas y muy variadas, eso sí. Ya hemos hablado de las bacterias fotosintéticas, empeñadas en contaminar la atmósfera con su oxígeno. Otras desarrollaron reacciones químicas diversas para obtener energía usando, por ejemplo, sulfuros o amoníaco. Y otras, aprovechando la cada vez mayor disponibilidad de oxígeno, encontraron la forma de obtener moléculas orgánicas, oxidarlas y extraer de ellas la energía almacenada. Este proceso se llama heterotrofia (*héteros*: 'diferente'; *trophé*: 'nutrición') y a los humanos nos resulta familiar... Sí, porque nosotros, y todos los demás animales, somos heterótrofos: utilizamos oxígeno atmosférico para oxidar moléculas orgánicas y obtener la energía necesaria para vivir.

Pero vayamos poco a poco, porque los humanos todavía no hemos aparecido en esta historia. El segundo acontecimiento evolutivo trascendental para la aparición de los animales se produjo hace unos 2000 millones de años. Consistió en la asociación de bacterias heterótrofas (las que habían aprendido a oxidar la materia orgánica) con otras bacterias más grandes. Supuso un caso excepcional de simbiosis en el que ambos microorganismos salieron ganando. La bacteria grande podía alimentarse de materia orgánica, dejando que sus pequeños huéspedes realizaran las funciones químicas de oxidación que tan eficazmente sabían hacer. Por su parte, las bacterias huéspedes encontraron un ambiente protegido en el que vivir y reproducirse. Eso sí, dejaron de ser células libres y se convirtieron en orgánulos celulares, los mismos que hoy conocemos como mitocondrias. En las mitocondrias se

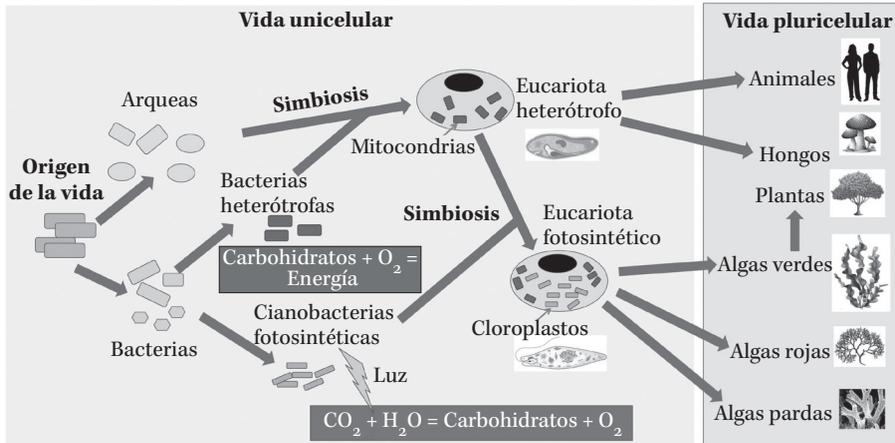


Figura 2. La vida en la Tierra apareció en forma de células individuales, y esta forma de organización fue la única que habitó nuestro planeta durante más de 2000 millones de años, diversificada como bacterias y arqueas. La vida pluricelular surgió después de dos acontecimientos fundamentales, el primero fue el origen de las células eucariotas, por simbiosis de arqueas y bacterias heterótrofas con metabolismo oxidativo, que dieron lugar a las mitocondrias. El segundo consistió en el origen de eucariotas fotosintéticos por una segunda simbiosis con cianobacterias. De esta forma aparecieron algas, hongos, plantas y animales. Solo las plantas, las algas rojas, las algas pardas y los animales se forman mediante un desarrollo embrionario. Las algas pardas probablemente adquirieron la capacidad fotosintética por un evento adicional de simbiosis entre un eucariota y un alga roja unicelular.

realiza el proceso de oxidación que proporciona a nuestras células la energía imprescindible para todos sus procesos vitales. Además de esta novedosa situación, la bacteria hospedadora rodeó su material genético de una membrana, de manera que se formó un núcleo celular diferenciado. Había nacido la célula eucariota y con ella un nuevo grupo de organismos más complejos que las bacterias: los organismos eucariotas, que son el grupo al que pertenecemos.