



**F. Mestres, M. Soley, M.I. Álvaro, B. Arias, M.C. Auladell,  
N. Bonada, J. Ferrer, N. Hladun, G. Llorente, J. Martínez,  
M.D. Vinyoles**

# Una maravilla llamada vida

**Cómo son, cómo funcionan  
y de dónde vienen los seres vivos**

# Índice

<i>Prólogo</i> . . . . .	11
Capítulo 1. ¿Qué es la vida? . . . . .	15
Capítulo 2. Macromoléculas, membranas y metabolismo . . . . .	31
Capítulo 3. El origen de la vida . . . . .	55
Capítulo 4. Las primeras células . . . . .	71
Capítulo 5. El sexo promueve adaptaciones . . . . .	91
Capítulo 6. De los primeros eucariotas a los organismos multicelulares . . . . .	109
Capítulo 7. Estructura y funcionamiento de plantas, hongos y animales . . . . .	133
Capítulo 8. La especiación produce la diversidad de la vida . . . . .	155
Capítulo 9. Estrategias para el estudio de la diversidad de la vida . . . . .	171
<i>Epílogo</i> . . . . .	193
<i>Pequeñas investigaciones</i> . . . . .	199
<i>Bibliografía</i> . . . . .	207

## Prólogo

El barco se movía mucho... en ningún momento se quedaba quieto sobre el agua. Charles seguía mareado. Jamás conseguiría no sentir aquel vacío en el estómago y aquella sensación de malestar cuando navegaba. Pese a todo, aún podía leer. Aquel año 1832 ya había iniciado el viaje que cambiaría su concepción del mundo. El capitán Fitzroy le había proporcionado un libro: el primer volumen de los principios de geología de Charles Lyell. Él, el joven Charles Darwin, se quedó muy impresionado por aquella obra. La teoría uniformista de Lyell proponía que el relieve de la Tierra era el resultado de hundimientos y elevaciones acaecidos en el transcurso de largos periodos. Las fuerzas que actúan hoy en día son las mismas que, a lo largo de muchísimos años, han dado lugar al paisaje actual. Darwin aún no era consciente de la influencia que tendría Lyell en la concepción de su teoría evolutiva... Aún era demasiado joven. Años después reconocería la importancia de dicha influencia en su obra.

Aquella mañana de verano de 1880, Charles Chamberlain, ayudante de Louis Pasteur, estaba muy nervioso. Pasteur, antes de irse de vacaciones, le había encargado que inoculara a unas gallinas que empleaban para sus experimentaciones una dosis de un cultivo de bacterias causantes de la enfermedad conocida como el cólera aviar. Charles se olvidó de su cometido y también se fue de vacaciones. A su regreso se dio cuenta de que no había cumplido con el encargo, ¡y ya había pasado un mes! Rápidamente inoculó a las gallinas el cultivo preparado antes de su marcha. Sorprendentemente,

las gallinas no murieron víctimas de la enfermedad, como era de esperar; solo sufrieron una forma suave de cólera aviar. Charles, muy decepcionado porque esperaba que murieran y poder diseccionarlas, y nervioso por no haber hecho lo que Pasteur le había ordenado, intentó matar las gallinas repitiendo el experimento. Pasteur, una vez enterado de todo el asunto, se lo impidió. Se había dado cuenta de que la inoculación de bacterias debilitadas de un cultivo envejecido inmunizaba las gallinas contra la enfermedad. ¡Ya conocía los experimentos de Jenner realizados en 1796! La diferencia es que Jenner inoculaba muestras de pústulas de la viruela bovina que habían infectado las manos de mujeres que ordeñaban vacas y Louis Pasteur lo hacía con bacterias patógenas debilitadas. Pasteur, en homenaje a Jenner, llamó al procedimiento de inoculación *vacunación*, ya que Jenner realizó sus pruebas con virus procedentes de personas infectadas con el virus de la viruela de las vacas.

El *pub* Eagle estaba lleno; hacía mucho frío afuera aquel 23 de febrero de 1953 en Cambridge. Francis, que sostenía una pinta de cerveza en la mano, proclamó en voz alta, ante la sorpresa de su compañero James: «¡Hemos descubierto el secreto de la vida!». Dos meses después, la revista *Nature* publicó su descubrimiento: una estructura para el ácido desoxirribonucleico (ADN). La estructura del ADN se hizo pública en un artículo de ciento veinte líneas que revolucionó el mundo de la biología. Pero este artículo no era solo el fruto de los estudios de Crick y Watson, sino que se basaba en los estudios llevados a cabo sobre la difracción de los rayos X en la molécula de ADN por Maurice Wilkins (que recibió el Premio Nobel junto con Watson y Crick) y Rosalind Franklin, que murió de cáncer en 1958 antes de que se le pudiera otorgar el Nobel que también merecía.

Estos tres ejemplos nos muestran que la ciencia avanza gracias a los descubrimientos de investigadores anteriores, a colaboraciones mutuas y a un trabajo en equipo en el cual un investigador basa sus descubrimientos en los resultados de investigaciones previas: Darwin y Lyell, Pasteur y Jenner, Watson, Crick, Wilkins y Franklin y muchísimos otros.

Queremos hacer mención de una conocida frase atribuida a diversos filósofos y científicos (siendo el más famoso Sir Isaac Newton) pero que en realidad fue formulada por el filósofo neoplatónico, erudito y administrador catedralicio del siglo XII Bernardo de Chartres: «Nos esse quasi nanos, gigantium humeris incidentes».

Decía Bernardo de Chartres que somos como unos enanos encaramados a los hombros de gigantes. Podemos ver más y a mayor distancia que ellos, no porque nuestra vista sea más aguda o nuestro cuerpo tenga mayor estatura, sino porque nos alzamos más arriba gracias a la altura de los gigantes sobre cuyos hombros descansamos.

Hay que recordar que cualquier descubrimiento importante en ciencia —y, sin duda, también en biología— está hecho por hombres y mujeres, científicos y científicas, que a veces pueden ser gigantes intelectuales, pero que siempre descansan sobre los hombros de otros gigantes que han investigado y han hecho descubrimientos antes que ellos.

Este libro que tenéis en vuestras manos es el fruto de un trabajo en equipo. Han colaborado en él muchos autores, profesores y profesoras que impartimos clases en la Facultad de Biología de la Universidad de Barcelona y que hemos elaborado una obra que presenta una panorámica de la biología actual bajo el paradigma del proceso evolutivo. En estas páginas, queridos lectores, encontraréis los descubrimientos de muchos gigantes intelectuales explicados de una manera sencilla pero con profundidad y rigor científico. En los distintos párrafos encontraréis la síntesis de muchos años de investigación, de esfuerzos para comprender la naturaleza, realizados por muchísimos investigadores que a lo largo del tiempo han contribuido al conocimiento de la biología actual. Los autores, que hemos trabajado en conjunto y hemos formado parte de un equipo multidisciplinar nada fácil de coordinar, hemos querido hacer una obra que satisficiera vuestra curiosidad y despertara vuestras ganas de aprender acerca de esta maravilla llamada vida.

Esperamos que disfrutéis de la lectura.

## CAPÍTULO 1

### ¿Qué es la vida?

Esta es una de las preguntas más difíciles que podemos plantearnos. De hecho, es más fácil describir la vida que definirla. Una estrategia para responder a esta cuestión es encontrar una definición, lo más inclusiva posible, de ser vivo. O bien buscar cuál es el mínimo denominador común que comparten todos los seres vivos. Pero el problema radica en encontrar este elemento común que nos señale de forma clara el límite entre la vida y la no-vida.

No obstante, ¿tiene sentido, desde un punto de vista científico, intentar responder «qué es la vida»? Sabemos que la filosofía, la religión y la literatura nos ofrecen explicaciones. Incluso, en nuestro día a día, hablamos de la vida de una forma coloquial, dando por descontado que sabemos qué es. ¿Pero lo sabemos realmente? Pese a nuestros conocimientos actuales sobre biología, química y física, aún no hay una respuesta única a esta pregunta. De hecho, podemos hallar muchas formas distintas de definir la vida. ¿Seguir buscando la definición nos aportará algo valioso? En ciencia, si una pregunta está bien formulada —y esta lo está porque es clara y directa—, vale la pena trabajar para buscar soluciones. El camino puede ser largo, pero no cabe duda de que el proceso de investigación, discusión crítica y reflexión nos ayudará a entender mejor la esencia básica de la vida. Esto puede implicar formular una definición de mayor consenso. ¿Y de qué puede servirnos

llegar a este punto? Sencillamente los humanos necesitamos saber, y gracias a ello hemos llegado donde estamos, con su lado claro y su lado oscuro. Con todo, esperamos que estos conocimientos aporten más luces que sombras con vistas a construir un mundo más sostenible a todos los niveles, incluidas las relaciones humanas.

### ¿QUÉ PROPIEDADES TIENE LA VIDA?

Como ya hemos señalado al comienzo, resulta más fácil hablar de las propiedades de la vida que intentar definirla. ¿Cuáles son las propiedades intrínsecas de la vida? ¿Qué diferencia realmente a un ser vivo de un objeto inerte? Por ejemplo, el fuego consume energía, puede crecer, moverse y, por lo tanto, tiene la capacidad de saltar de un lugar a otro e ir reproduciéndose. Los seres vivos tienen todas estas propiedades, pero, en cambio, las llamas no tienen vida. El fuego no dispone de un libro de instrucciones y de unos mecanismos para ejecutarlas. Podemos encontrar otros ejemplos, como los ordenadores, que sí tienen información y la ejecutan, e incluso podrían producir otras máquinas como ellos siguiendo las instrucciones que contienen, pero tampoco son seres vivos. En cambio, un árbol está vivo y no puede desplazarse. Por lo tanto, más que determinadas propiedades, que también pueden encontrarse en el mundo «no vivo», la vida es el resultado de la interacción de estas propiedades: la información genética que marca el metabolismo particular de cada célula para crecer, mantenerse y, dado el caso, reproducirse. Y lo que es más fundamental: un manual de instrucciones que se puede modificar y permite la adaptación a distintos entornos, un hecho básico para la expansión y la diversidad de las formas de vida.

Una característica clara de la vida es que es una propiedad emergente. Si nos fijamos en una célula cualquiera, veremos que incluye diferentes átomos que forman moléculas, que a su vez constituyen las diversas estructuras celulares. En ninguna de estas partes hay vida, y esta solo se origina

## Información adicional 1. Diferencias entre un organismo vivo y un objeto

a)



b)



Los organismos vivos están formados por células.  
Los organismos vivos se desarrollan y crecen.  
Los organismos vivos controlan su medio interno mediante el metabolismo.  
Los organismos vivos responden a estímulos e interactúan unos con otros.  
Los organismos vivos se reproducen.  
Las poblaciones evolucionan y se adaptan al entorno.

**Figura 1.1.** a) Una abeja (*Apis mellifera*) libando en una flor de salvia (*Salvia officinalis*). b) Escalera de la biblioteca de Ca l'Oliveres en Lliçà d'Amunt. (Fotografías de Maria Soley.)

cuando las partes se unen e interactúan entre sí. También la vida en un organismo multicelular es una propiedad emergente. En este caso, las células forman tejidos que a su vez originan órganos y sistemas que acaban dando lugar a un organismo único. Una propiedad emergente es algo que no



encontramos en las partes, ni siquiera cuando las unimos; solo aparece cuando las partes trabajan conjuntamente. Por ejemplo, si cogemos membranas, mitocondrias, núcleos y otros orgánulos de una misma célula que previamente hayamos separado, y los unimos en un medio con todos los nutrientes necesarios, no se volverá a originar la célula de la que procedían. ¡Aún no se ha podido generar vida a partir de la no-vida en el laboratorio! ¿Por qué? Esta es una cuestión importante, ya que la respuesta podría darnos la clave para entender mejor qué es la vida.

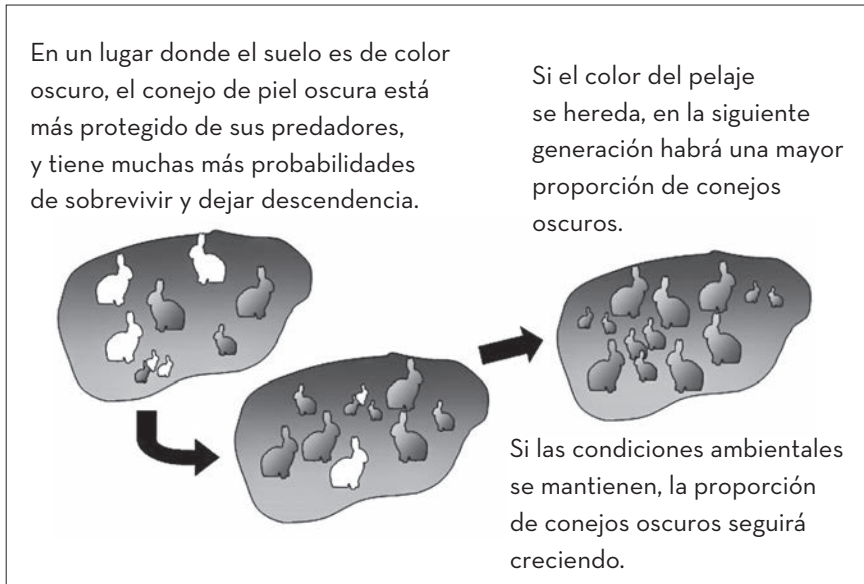
### ¿CUÁLES HAN SIDO LAS APORTACIONES CLÁSICAS AL ESTUDIO DE LA VIDA?

Puede resultarnos útil analizar qué aportaciones se han hecho sobre este tema en el pasado. En 1944 Erwin Schrödinger (1887-1961), un físico que trabajó en el campo de la mecánica cuántica y que recibió el Premio Nobel de Física en 1933, publicó un libro titulado *¿Qué es la vida?*. Todo un clásico que, pese a contener algunos errores conceptuales, aportó ideas interesantes, como la del cristal aperiódico. El autor pensaba que la materia cromosómica, que contiene el material genético, era un «cristal aperiódico», constituido por la sucesión de un reducido número de elementos, cuya *secuencia* concreta debía ser la responsable de su funcionalidad. Teniendo en cuenta que James Watson (1928) y Francis Crick (1916-2004) aún no habían descrito el modelo de la doble hélice del ADN para representar su estructura tridimensional (lo publicaron en 1953), Schrödinger ya nos hablaba de la necesidad que las células tienen de contener información y de ejecutar las instrucciones aportadas por esta información. Schrödinger recibió muchas críticas, como las de los químicos Linus Carl Pauling (1901-1994) y Max Ferdinand Perutz (1914-2002), según los cuales saltar de la física a la biología sin tener demasiados conocimientos de química es un error importante. Sin embargo, en el epílogo de una edición posterior del libro,

publicada en el año 1976, el catedrático de ecología de la Universidad de Barcelona Ramon Margalef (1919-2004), uno de los científicos catalanes más importantes a escala mundial, escribió que leer este libro no es una pérdida de tiempo, ya que evidencia la necesidad de unificar campos científicos tradicionalmente separados. Hace casi cuarenta años, Margalef ya veía lo importante que resulta para cualquier avance científico que las ciencias se fecunden mutuamente. En este sentido, nos habla de forzar al físico especialista en termodinámica para que, en sus trabajos sobre flujos de energía, considere también los sistemas abiertos como centro de atención de sus estudios. Un sistema abierto es un sistema que recibe flujos de energía y de materia de su entorno. Margalef termina diciendo que «todo sistema natural es abierto y la condición necesaria» (algunos añadiríamos gustosamente «y suficiente», pero tal vez esto pueda parecer una herejía) «para la vida es un universo físico en expansión». Esta reflexión de Margalef es un punto que aún no ha sido suficientemente trabajado, y posiblemente nos indica un camino que debe tenerse en cuenta. ¿La vida no sería posible en un universo físico sin expansión? ¿Por qué es necesaria para la vida la expansión del universo físico? Son preguntas de difícil respuesta, pero sobre las que hay que reflexionar y trabajar.

Ciertamente, sin los flujos de materia y energía, la vida no sería posible. Pero ¿por qué la vida se expresa con tantas formas distintas? ¿Cómo se explica la diversidad biológica? Charles Robert Darwin (1809-1882) observó que las poblaciones producen más individuos de los que pueden mantener y que no todos los individuos de una población son iguales. También observó que hay organismos que dejan más descendencia que otros. De estas observaciones surgió el concepto de evolución mediante selección natural. Darwin, en su libro *El origen de las especies*, publicado en 1859, nos explica qué significa este término: «la conservación de las variaciones y diferencias individualmente favorables y la destrucción de las que son perjudiciales, la he llamado selección natural o supervivencia de los más aptos». Para dilucidar el significado de esta frase, debemos fijarnos en una población (en bio-

## Información adicional 2. Cómo actúa la selección natural



**Figura 1.2.** «La conservación de las variaciones y diferencias individualmente favorables y la destrucción de las que son perjudiciales, la he denominado selección natural o supervivencia de los más aptos», *El origen de las especies*. Las características de la población cambian como resultado de la acción de la selección natural sobre los individuos. La selección natural actúa sobre los individuos, pero el cambio evolutivo afecta a las poblaciones. Fuente: 2009, Año Darwin. Facultad de Biología, Universidad de Barcelona.

logía, se denomina población a un conjunto de individuos de una misma especie). Lo primero que constataremos es que cada individuo es diferente. Algunas diferencias son hereditarias y pueden afectar a la probabilidad de sobrevivir y dejar descendencia. Así, dentro de una población habrá individuos que, en un entorno determinado, lo tendrán más fácil para reproducirse que otros. De este modo se conseguirá que determinados rasgos se mantengan y que otros vayan desapareciendo. De aquí surge el concepto de adaptación biológica, que se aplica tanto a una estructura como a un pro-



**Figura 1.3.** Si resulta tan fácil matar cualquier organismo, ¿cómo se explica la persistencia de la vida? (Fotografía: Maria Soley.)

ceso fisiológico o a una característica del comportamiento de un organismo, los cuales han evolucionado durante un periodo de tiempo a través de la selección natural de tal modo que incrementan la eficacia biológica de los organismos que los manifiestan en un entorno determinado. Es decir, incrementan sus expectativas a largo plazo de reproducirse con éxito. En conclusión, podemos decir que las características de la población cambian como resultado de la acción de la selección natural sobre los individuos. Por lo tanto, la selección natural actúa sobre los individuos, pero el cambio evolutivo afecta a las poblaciones.

Aparte de las diferencias entre los individuos de una misma población, se observa también la diversidad existente debida a los millones de especies existentes, que también se ha producido gracias a la evolución por selección

natural, mediante un proceso denominado especiación, del que hablaremos en el capítulo 8. Estos cambios son el resultado de la adaptación biológica a entornos muy diversos, incluso en condiciones muy extremas, si lo vemos desde una perspectiva antropocéntrica. Encontramos vida en ambientes con mucha salinidad, con altas y bajas temperaturas, en zonas con niveles elevados de radiactividad, en entornos muy secos o muy húmedos, en las proximidades de las chimeneas hidrotermales submarinas, etc. Seguramente también hay vida fuera de la Tierra. Llegados a este punto, podemos plantearnos muchas preguntas importantes. ¿Por qué se originó la vida? ¿La aparición de la vida sirvió para resolver algún tipo de «problema»? ¿Por qué, una vez originada, se ha mantenido la vida? ¿Si es tan fácil matar cualquier organismo, cómo se explica la persistente terquedad de la vida?

### ¿HAY QUÍMICA EN LA VIDA?

Para esclarecer muchos interrogantes sobre la vida hay que hablar primero de su química, ya que esta nos proporciona las bases para entender no solo cuáles son los constituyentes de los seres vivos, sino también cuál es su funcionamiento a escala molecular. Esto nos permite describir mejor la vida, lo cual es un paso imprescindible para poder definirla. Hay seis elementos que constituyen hasta el 98% de la masa de la mayoría de los organismos vivos: el hidrógeno, el carbono, el nitrógeno, el oxígeno, el fósforo y el azufre. ¿Cómo se explica que la vida haya evolucionado a partir de estos elementos? Sabemos que un elemento es una sustancia pura formada por un solo tipo de átomo. Los átomos contienen un núcleo con protones y neutrones y una envoltura con distintas capas en las que se encuentran los electrones. Lo que marca las diferencias entre los diversos elementos es el número de protones que hay en el núcleo de sus átomos. El número de electrones es igual que el número de protones. Los electrones se sitúan de dos en dos formando orbitales, que a su vez se estructuran alrededor del núcleo en capas. Todas las capas tienen

como máximo ocho electrones situados en cuatro orbitales (dos electrones en cada orbital), salvo la primera capa, que solo tiene dos electrones (porque solo contiene un orbital). La estabilidad de un átomo, es decir, la capacidad que tiene de combinarse con otros átomos, depende del número de electrones que haya en la capa más externa. Veamos, por ejemplo, el caso del carbono, el elemento que constituye la base de la química orgánica: tiene seis protones en su núcleo y seis electrones distribuidos en dos capas distintas. En la primera capa hay un orbital con dos electrones y en la segunda hay cuatro electrones en cuatro orbitales incompletos. Se dice que estos cuatro electrones están desaparejados. Faltan cuatro electrones para llenar al máximo sus orbitales, lo cual conferiría al átomo su máxima estabilidad.

Una manera de conseguir que los átomos de carbono ganen estabilidad es compartiendo electrones con otros átomos de carbono, o de hidrógeno, oxígeno, nitrógeno o azufre; es decir, formando enlaces químicos. Como los átomos de estos seis elementos son pequeños, los electrones compartidos en los enlaces se mantienen próximos a los núcleos, lo cual produce moléculas muy estables. Además, salvo en el caso del hidrógeno, los átomos de todos estos elementos pueden formar enlaces con dos o más átomos, lo cual posibilita la constitución de moléculas grandes y complejas, esenciales para las estructuras y funciones de los seres vivos. Aparte de los elementos ya mencionados, en los seres vivos también podemos encontrar otros elementos en cantidades mucho menores, como sodio, magnesio, silicio, cloro, potasio, calcio y manganeso, y también metales como hierro, cobalto, cobre, zinc, etc.

¿Cómo se han formado todos estos elementos? Su origen debe buscarse en la evolución del Universo, después de la gran explosión del Big Bang, hace unos 15.000 millones de años. Inicialmente había un foco con una inmensa energía que originó partículas subatómicas y posteriormente los elementos más sencillos: el hidrógeno y el helio. A partir de estos elementos se formaron las estrellas y los demás elementos más pesados. La Tierra se formó hace unos 4.500 millones de años y el origen de la vida (véase el capítulo 3) tuvo lugar hace unos 4.000 millones de años, tras una etapa inicial de

evolución química. La atmósfera de la Tierra primitiva se originó a partir de los componentes que llegaban en cometas y meteoritos. Y también gracias a la actividad volcánica, que expulsaba gases. En aquella atmósfera había moléculas simples, tales como monóxido de carbono (CO), dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), hidrógeno (H<sub>2</sub>), amoníaco (NH<sub>3</sub>), agua (H<sub>2</sub>O) y nitrógeno (N<sub>2</sub>). La energía de la luz solar, que en aquel entonces era muy potente, provocó que estas moléculas sencillas reaccionasen entre sí y formaran compuestos algo más complejos, como el formaldehído (H<sub>2</sub>CO) y el ácido cianhídrico (HCN). En presencia de fuentes de calor, los compuestos que contienen un átomo de carbono reaccionan entre sí para formar moléculas más grandes pero aún relativamente sencillas, con enlaces carbono-carbono, como acetaldehído, glicina y ribosa, que constituyen las piezas elementales (los monómeros, en lenguaje bioquímico) de las moléculas más complejas. Y a partir de los monómeros, como por ejemplo la glucosa, los aminoácidos o los nucleótidos, se originaron moléculas más grandes, como los polisacáridos, las proteínas o los ácidos nucleicos, que actualmente se encuentran en todos los sistemas vivos. También a partir de los ácidos grasos y de otras moléculas de naturaleza hidrofóbica —es decir, que repelen el agua y, por lo tanto, no son solubles en este líquido— se formaron los distintos tipos de lípidos, muy importantes tanto para la formación de las membranas biológicas como para otras funciones, como el almacenamiento de energía (véase el capítulo 2). Se ha propuesto que esta evolución química se podría haber producido también en las fuentes hidrotermales submarinas, a partir de la materia y la energía que allí se genera (véase el capítulo 3).

### ¿POR QUÉ EL AGUA ES TAN IMPORTANTE PARA LA VIDA?

Ya sea en charcas en la superficie del medio terrestre o en el fondo del mar, la vida se originó en el agua, y durante muchos millones de años solo pudo darse en estas condiciones porque la radiación ultravioleta era demasiado