

DEL PREMIO NOBEL
PAUL NURSE

¿QUÉ ES LA VIDA?

ENTENDER LA BIOLOGÍA
EN CINCO PASOS

Del premio Nobel
PAUL NURSE

¿QUÉ ES LA VIDA?

Entender la biología
en cinco pasos

Edición de Ben Martynoga

geoPlaneta 
CIENCIA

¿Qué es la vida? – Entender la biología en cinco pasos

Título original: What is Life? – Understand Biology in Five Steps

DE LA EDICIÓN EN ESPAÑOL

geoPlaneta

© Editorial Planeta, S.A., 2020

Av. Diagonal 662-664. 08034 Barcelona

info@geoplaneta.com – www.geoplaneta.com

1ª edición en español: octubre del 2020

© Traducción: Begoña Merino, 2020

DE LA EDICIÓN ORIGINAL

© David Fickling Books, 2020

© Paul Nurse, 2020

Editado por Ben Martynoga

Diseño de cubierta por Paul Duffield

ISBN: 978-84-08-23358-9

Depósito legal: B. 11.849-2020

Impresión y encuadernación: Liberdúplex

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

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

El papel utilizado para la impresión de este libro es cien por cien libre de cloro y está calificado como papel ecológico.

INTRODUCCIÓN

09

LA CÉLULA

El átomo de la biología

15

EL GEN

La prueba del tiempo

29

LA EVOLUCIÓN POR SELECCIÓN NATURAL

Azar y necesidad

63

LA QUÍMICA DE LA VIDA

Orden a partir del caos

85

EL PAPEL DE LA INFORMACIÓN

Actuar como un todo

119

CAMBIAR EL MUNDO

157

¿QUÉ ES LA VIDA?

181

AGRADECIMIENTOS

205

LA CÉLULA

El átomo de la biología

Poco después de mi encuentro con la mariposa amarilla, vi una célula por primera vez. En mi clase habíamos logrado que germinaran unas cebollas y habíamos aplastado sus raíces con el portaobjetos de un microscopio para ver de qué estaban hechas. Mi profesor de biología, Keith Neal, que sabía cómo motivarnos, nos explicó que veríamos células, la unidad básica de la vida. Y allí estaban: matrices compactas de celdas parecidas a cajas, todas ellas apiladas en columnas ordenadas. Me impresionó que el crecimiento y la división de aquellas estructuras diminutas bastaran para empujar las raíces de una cebolla a través de la tierra y para proporcionar agua, nutrientes y sujeción a una planta que estaba creciendo.

Las células me maravillaban cada vez más conforme aprendía más cosas sobre ellas. Su variedad de formas y tamaños es increíble. La mayoría son demasiado pequeñas para verlas a simple vista. Son diminutas. Si pusiéramos una detrás de otra 3000 células de un tipo de bacteria parásita capaz de infectar la vejiga, no medirían más de un milímetro

de largo. Otras son inmensas. Cuando nos comemos un huevo para desayunar, debemos recordar que la yema es una sola célula. Nuestro cuerpo también tiene células enormes. Por ejemplo, algunas células nerviosas se extienden desde la base de la columna vertebral hasta la punta del dedo gordo del pie. Eso quiere decir que cada una puede llegar a medir nada menos que un metro de longitud.

Por sorprendente que pueda parecer toda esta diversidad, lo más interesante es lo que las células tienen en común. Los científicos siempre intentan identificar las unidades fundamentales. El mejor ejemplo de unidad fundamental es el átomo, la unidad básica de la materia. En el caso de la biología, la célula equivale al átomo. No solo es la unidad estructural básica de todos los organismos vivos, sino también la unidad funcional básica de la vida. Lo que quiero decir es que las células son las entidades más pequeñas que reúnen las características esenciales de la vida. Este es el fundamento de lo que los científicos llamamos «teoría celular»: por lo que sabemos, en este planeta todo organismo vivo está formado por una célula o por un conjunto de ellas. Es la entidad más sencilla de la que podemos afirmar, sin duda alguna, que está viva.

La teoría celular se enunció hace aproximadamente un siglo y medio, y hoy es uno de los pilares

de la biología. Dada su importancia para entender la biología, me sorprende lo poco que ha estimulado la imaginación de la gente. A lo mejor es porque en las clases de biología del colegio a la mayoría nos enseñan que las células son simples piezas que forman seres más complejos, cuando en realidad son mucho más interesantes.

La historia de la célula empezó en 1665 con Robert Hooke, miembro de la flamante Real Sociedad de Londres, una de las primeras sociedades científicas del mundo. Como ocurre tantas veces en la ciencia, fue una nueva tecnología lo que llevó a descubrir la célula. Puesto que la mayoría son demasiado pequeñas para verlas a simple vista, hubo que esperar a la invención del microscopio a principios del siglo XVII para comprobar su existencia. A menudo los científicos son una mezcla de teóricos y artesanos habilidosos. Ese era el caso de Hooke, que se sentía tan cómodo inventando instrumentos científicos como explorando las fronteras de la física, la arquitectura o la biología. Se construía sus propios microscopios y luego los utilizaba para explorar los extraños mundos ocultos a la vista humana.

Uno de los objetos que observó fue una lámina fina de corcho. Vio que la madera de corcho estaba formada por sucesivas hileras de cavidades con

paredes, muy similares a las celdas de los extremos de las raíces de la cebolla que yo observaría en el colegio 300 años después. Hooke dio a esas celdas el nombre latino de *cella*, que significa «pequeña habitación» o «cubículo». En aquel momento, Hooke desconocía que las células que había visto eran el componente básico no solo de todas las plantas, sino de toda la vida.

No mucho después de Hooke, el investigador neerlandés Anton van Leeuwenhoek hizo una observación crucial al descubrir que existía vida unicelular (compuesta por una sola célula). Vio organismos microscópicos nadando en muestras de agua estancada y creciendo en la placa que rascó de sus dientes (este último descubrimiento lo inquietó especialmente porque estaba muy orgulloso de su higiene dental). Dio a esos seres diminutos el nombre encantador de «animáculos», hoy en desuso. Lo que encontró proliferando entre sus dientes eran más bien las primeras bacterias descritas. Leeuwenhoek había tropezado con todo un nuevo dominio de diminutas formas de vida unicelulares.

Ahora sabemos que las bacterias y otros tipos de células microbianas («microbio» es el término general para todos los organismos microscópicos que pueden vivir como células individuales) son, con diferencia, las formas de vida más abundantes

en la Tierra. Podemos encontrarlas en todos los ambientes, desde las capas altas de la atmósfera hasta las profundidades de la corteza terrestre. Sin ellas, la vida se detendría. Descomponen los residuos, son parte de los suelos, reciclan nutrientes y capturan del aire el nitrógeno que las plantas y los animales necesitan para desarrollarse. Y cuando los científicos observan nuestro cuerpo, constatan que, por cada 30 billones de células humanas, tenemos al menos una célula microbiana. Ni tú ni el resto de los seres humanos estamos solos. Formamos una enorme colonia de células humanas y no humanas en constante cambio. Estas células de bacterias y hongos microscópicos viven en nuestro cuerpo y afectan a cómo digerimos los alimentos y a cómo nos defendemos de las enfermedades.

Pero antes del siglo XVII nadie tenía la menor idea de la existencia de esas células invisibles. Y mucho menos de que siguieran los mismos principios básicos que el resto de las formas de vida visibles.

Durante el siglo XVIII y principios del XIX, los microscopios y las técnicas de observación microscópica mejoraron mucho. Los científicos enseguida identificaron células de todo tipo provenientes de criaturas diversas. Algunos especularon con que todas las plantas y todos los animales estuvieran

formados por conjuntos de esos animáculos que Leeuwenhoek había detectado unas generaciones antes. Entonces, tras un largo proceso de gestación, se formuló la teoría celular. En 1839, el botánico Matthias Schleiden y el zoólogo Theodore Schwann resumieron su trabajo y el de muchos otros investigadores con esta frase: «Hemos visto que todos los organismos están compuestos por partes que parecen esenciales, concretamente por células». La ciencia había llegado a la esclarecedora conclusión de que la célula es la unidad estructural básica de la vida.

La repercusión de este descubrimiento aumentó aún más cuando los biólogos se dieron cuenta de que todas las células son en sí mismas una forma de vida. En 1858, el pionero de la patología Rudolf Virchow recogió esta idea en otra frase: «Cada animal parece ser un conjunto de unidades vitales, cada una de las cuales presenta en sí misma las características completas de la vida».

Esto quiere decir que todas las células están vivas. Los biólogos lo demuestran de manera convincente cuando toman células de los cuerpos multicelulares de animales o plantas y las mantienen vivas en unos recipientes de vidrio o de plástico, a menudo de base plana, llamados «placas de Petri». Algunas de estas líneas celulares han seguido cre-

ciendo en laboratorios de todo el mundo durante décadas. Gracias a ellas, los investigadores pueden estudiar procesos biológicos sin tener que enfrentarse a la complejidad de los organismos completos. Las células están activas: son capaces de moverse y responder al ambiente, y sus contenidos siempre están en movimiento. Una célula puede parecer simple en comparación con un organismo completo, como una planta o un animal, pero indudablemente está viva.

Sin embargo, la teoría celular formulada por Schleiden y Schwann tenía una laguna importante. El problema era que no describía cómo se creaban las células nuevas. La incógnita quedó resuelta cuando los biólogos observaron que las células se reproducían dividiéndose en dos. Concluyeron entonces que esa es la única forma que tiene una célula de reproducirse. Virchow popularizó esta idea con una frase breve en latín: *Omnis cellula e cellula*, o lo que es lo mismo, «toda célula proviene de otra». Esta frase contribuyó a combatir la idea incorrecta, todavía muy en boga en aquella época, de que la vida surgía espontáneamente de la materia inerte. No es así.

La división celular es la base de la reproducción y desarrollo de todos los organismos vivos. Es el primer paso importante de la transformación de un

solo óvulo fecundado de un animal en una bola de células y, por último, en un organismo vivo altamente complejo y organizado (un embrión). Todo empieza con una célula que al dividirse da lugar a dos células que pueden adoptar distintas identidades. El desarrollo posterior del embrión se basa en el mismo proceso. Son series repetidas de divisiones celulares a las que sigue la creación de un embrión cada vez más elaborado, a medida que las células maduran para convertirse en tejidos y órganos que van especializándose progresivamente. Esto significa que todos los organismos vivos, sea cual sea su tamaño o complejidad, proceden de una sola célula. Creo que todos respetaríamos a las células un poco más si recordáramos que cada uno de nosotros fue una vez una de ellas, formada cuando un espermatozoide y un óvulo se fusionaron en el momento de concebirnos.

La división celular también explica las formas aparentemente milagrosas que tiene el cuerpo de sanarse a sí mismo. Si nos cortamos con el filo de una página, alrededor del corte se producirá una división celular que curará la herida, ayudando a mantener el cuerpo sano. Sin embargo, los cánceres son el contrapunto desafortunado de la capacidad del cuerpo para iniciar nuevas series de división celular. El cáncer está causado por un crecimiento

y una división celular descontrolados que pueden extender la malignidad por el cuerpo hasta dañarlo o incluso provocar su muerte.

El crecimiento, la reparación, la degeneración y la malignidad están asociados a cambios en las propiedades de nuestras células, tanto en la salud como en la enfermedad, tanto en la juventud como en la edad avanzada. De hecho, el origen de la mayoría de las enfermedades tiene que ver con el funcionamiento celular. Entender qué va mal en las células es la base para desarrollar nuevas estrategias en el tratamiento de las enfermedades.

La teoría celular sigue influyendo en la investigación en ciencias de la vida y en la práctica médica. También ha determinado mi vida. Desde el momento en que, a los 13 años, bizqueé delante de un microscopio y observé las células de aquella raíz de cebolla, las células me han inspirado curiosidad y he querido saber cómo funcionan. Cuando emprendí mi carrera de investigador decidí estudiarlas; en concreto, cómo se reproducen y controlan su propia división.

Las células con las que empecé a trabajar en los años setenta eran de levadura, esas que la mayoría de la gente cree que solo sirven para hacer vino, cerveza o pan, no para resolver problemas biológicos fundamentales. Lo cierto es que son un mode-

lo estupendo para entender el funcionamiento celular de organismos más complejos. La levadura es un hongo microscópico cuyas células son sorprendentemente similares a las de las plantas y los animales. Además, son pequeñas y relativamente sencillas, y basta alimentarlas con nutrientes simples para que se reproduzcan deprisa. En el laboratorio las cultivamos dejándolas flotar con libertad en un caldo o encima de una capa de gelatina en una placa de Petri de plástico, donde forman colonias de color crema de unos pocos milímetros de grosor, cada una de las cuales contiene millones de células. A pesar de su simplicidad, o más bien debido a ella, las células de la levadura nos han ayudado a entender la división celular en la mayoría de los organismos vivos, incluidos los seres humanos. Buena parte de lo que sabemos sobre la división celular descontrolada que caracteriza el cáncer nos lo descubrió el estudio de estas humildes levaduras.

Las células son la unidad básica de la vida. Son entidades vivas individuales rodeadas de membranas formadas por lípidos. Pero, así como los átomos contienen electrones y protones, las células están compuestas por elementos más pequeños. Los biólogos utilizan los microscopios, actualmente de una potencia enorme, para conocer las compli-

cadras y a menudo bellas estructuras internas de las células. Las de mayor tamaño, las organelas, están envueltas en su propia capa membranosa. El núcleo es el centro de control de la célula, pues alberga las instrucciones genéticas escritas en los cromosomas, mientras que las mitocondrias, de las que puede haber hasta varios centenares, son diminutas fuentes de energía que producen la necesaria para que la célula crezca y sobreviva. Hay otras estructuras y compartimentos que desempeñan funciones logísticas complejas, como fabricar, descomponer o reciclar partes celulares, así como introducir materiales, expulsarlos o transportarlos por el interior.

Sin embargo, algunos organismos vivos están formados por células que carecen de organelas envueltas en membranas o de estructuras internas complejas. La presencia o ausencia de núcleo divide la vida en dos ramas principales. Los organismos cuyas células presentan núcleo, como los animales, los hongos y las plantas, se denominan «eucariotas». En cambio, los que carecen de núcleo se llaman «procariotas» se trata del grupo formado por las bacterias y las arqueas. La estructura y el tamaño de las arqueas se asemejan a los de las bacterias, pero en realidad son parientes lejanos. En algunos aspectos, sus funciones mole-

culares se parecen más a las de los eucariotas como nosotros que a las de las bacterias.

Una parte fundamental de la célula, ya sea procariota o eucariota, es la membrana externa. Su grosor es de solo dos moléculas, pero forma una «pared» flexible o barrera que separa a cada célula del ambiente en el que vive, definiendo lo que está «dentro» y lo que está «fuera». Esta barrera es crucial tanto desde un punto de vista filosófico como práctico. En última instancia, explica por qué las formas vivas pueden resistir eficazmente la tendencia general del universo al desorden y el caos. Protegidas por estas membranas aislantes, las células son capaces de crear y mantener el orden que necesitan para funcionar, mientras causan el desorden en su entorno más inmediato. De este modo, la vida no contraviene la Segunda Ley de la Termodinámica.

Todas las células pueden responder a los cambios que se producen en su estado interior y en el ambiente que las rodea. Aunque se encuentran separadas de su entorno, mantienen una estrecha comunicación con sus inmediaciones. Además, actúan y trabajan constantemente para conservar las condiciones internas que les permiten sobrevivir y prosperar. Esta característica también es propia de los organismos vivos observables a simple

vista, como aquella mariposa amarilla que contemplé de niño o como nosotros mismos.

Ciertamente, las células comparten muchas de sus características con todo tipo de animales, plantas y hongos. Todos ellos crecen, se reproducen, se mantienen y, al hacer todo esto, muestran el propósito de persistir, sobrevivir y reproducirse a toda costa. Todas las células, desde la bacteria que Leeuwenhoek encontró entre sus dientes hasta las de las neuronas que hacen posible que leas estas palabras, comparten estas propiedades con todos los seres vivos. Entender cómo funcionan las células nos acerca a la comprensión del funcionamiento de la vida.

La existencia de los genes, que analizaremos a continuación, es crucial para la célula. Los genes contienen las instrucciones codificadas que cada célula utiliza para formarse y organizarse, y se transmiten a cada nueva generación cuando las células y los organismos se reproducen.