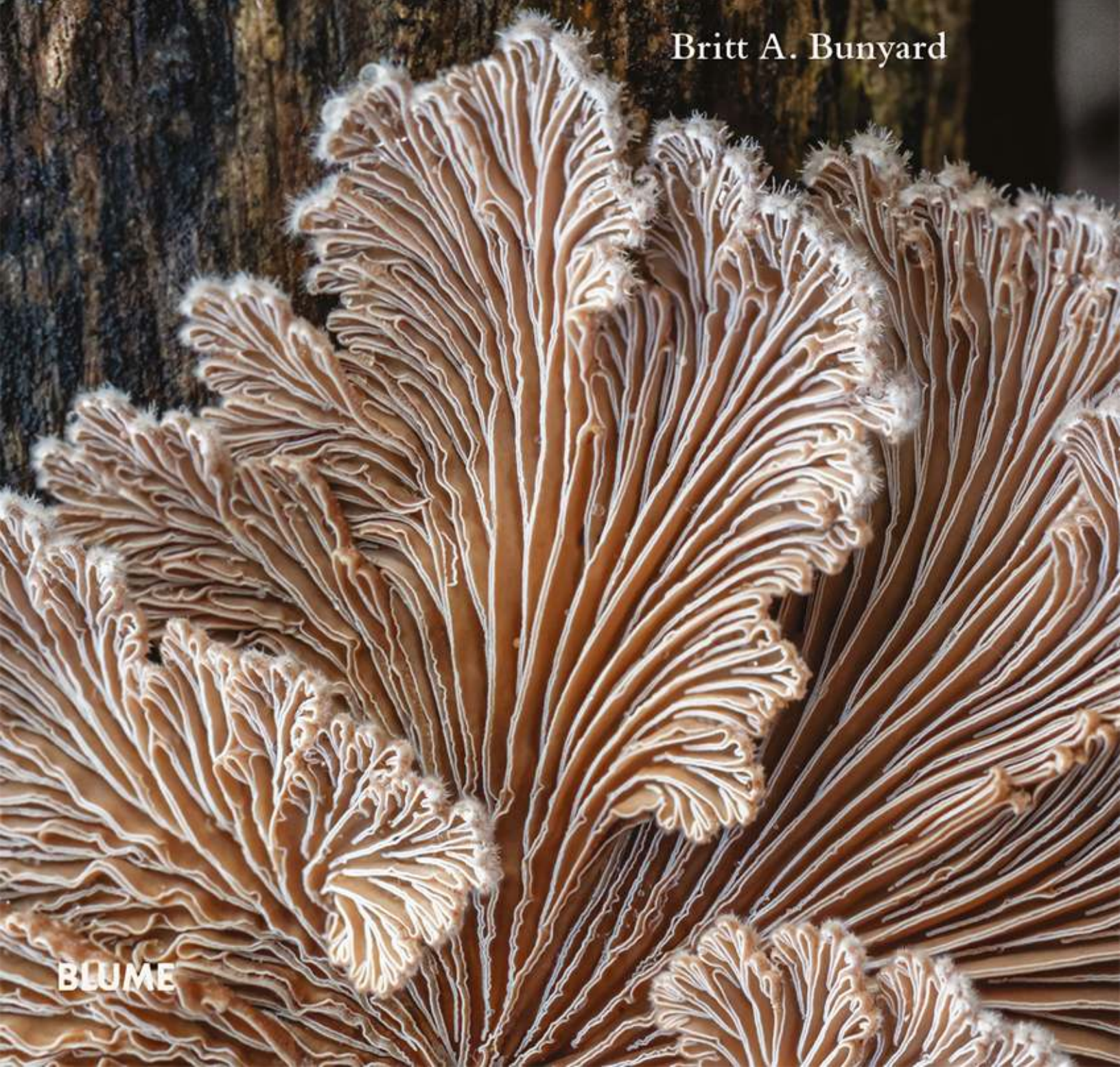


LA VIDA DE LOS HONGOS

LA HISTORIA NATURAL DE LOS ARQUITECTOS
OCULTOS DEL EQUILIBRIO ECOLÓGICO
DESCOMPONEN, NUTREN, CONECTAN, REGENERAN

Britt A. Bunyard

BLUME



LA VIDA DE LOS
HONGOS



LA VIDA DE LOS HONGOS

LA HISTORIA NATURAL DE LOS ARQUITECTOS
OCULTOS DEL EQUILIBRIO ECOLÓGICO

DESCOMPONEN, NUTREN, CONECTAN, REGENERAN

Britt A. Bunyard



BLUME



Titulo original *The Lives of Fungi*

Edición Nigel Browning, Kate Shanahan

Dirección del proyecto Natalia Price-Cabrera

Dirección de arte Wayne Blades

Diseño Gilda Pacitti

Documentación iconográfica Natalia Price-Cabrera

Ilustración Sarah Skeate

Traducción Remedios Diéguez Diéguez

Revisión de la edición en lengua española Antonio Gómez Bolea
Profesor de Micología (Departamento de Biología Evolutiva, Ecología
y Ciencias Ambientales; Sección de Botánica y Micología; Institut de Recerca
de Biodiversitat [IRBio]; Facultat de Biologia, Universitat de Barcelona)

Coordinación de la edición en lengua española
Cristina Rodríguez Fischer

Primera edición en lengua española 2026

Primera edición en formato electrónico 2026

© 2026 Naturart, S.A. Editado por BLUME

Carrer de les Alberes, 52, 2.º, Vallvidrera, 08017 Barcelona

Tel. 93 205 40 00 E-mail: info@blume.net

© 2022 UniPress Books Limited, Londres

I.S.B.N.: 979-13-87881-95-5

Todos los derechos reservados. Queda prohibida la reproducción total
o parcial de esta obra, sea por medios mecánicos o electrónicos,
sin la debida autorización por escrito del editor.

WWW.BLUME.NET





CONTENIDO

6
.....
INTRODUCCIÓN

10
.....
¿QUÉ SON LOS HONGOS?

28
.....
REPRODUCCIÓN

64
.....
QUÍMICA Y FISIOLÓGÍA

98
.....
SAPRÓTROFOS Y PARÁSITOS

134
.....
PATÓGENOS, PANDEMIAS Y PLAGAS

170
.....
SIMBIONTES MUTUALISTAS

206
.....
HONGOS Y HUMANOS

242
.....
LOS HONGOS Y EL FUTURO

278 Glosario

282 Recursos

284 Índice

288 Agradecimientos



INTRODUCCIÓN

«Todo depende de todo».

(Lema traducido del pueblo haida del noroeste del Pacífico)

Toda la vida en el planeta está conectada, pero esas conexiones son invisibles en su mayoría. Mientras lee estas líneas, los microbios que cubren gran parte de la superficie de su cuerpo, tanto por dentro como por fuera, están realizando sus funciones. De hecho, la inmensa mayoría de las células vivas que componen el ecosistema que es «usted» no son humanas, sino microbianas, y una cuantas son fúngicas.

Ocurre algo similar con el árbol que ve desde su ventana. También está compuesto en su mayor parte por células vegetales no vivas; la mayoría de las células vivas que componen ese árbol probablemente no sean siquiera células vegetales. Los organismos endófitos que

se encuentran en los tejidos de la planta son responsables de gran parte del control hormonal del espécimen; determinan su resistencia a la sequía y al calor, y la producción de toxinas en respuesta al ataque de patógenos o herbívoros. Las micorrizas de las raíces del árbol son responsables de la absorción de agua y nutrientes. Estos hongos se adhieren a los árboles adyacentes, con los que no guardan parentesco, y cuentan con cuerpos fructíferos que albergan artrópodos que se alimentan de hongos (micófagos). A su vez, estos artrópodos son parasitados por nematodos, o por artrópodos más pequeños, como las avispas parasitoides braconíidas (que dependen de virus para ocultar sus huevos parásitos invasores al sistema inmunitario de las larvas del huésped, y así continúan las conexiones).

Sin embargo, lo que todos estos organismos vivos tienen en común (de hecho, lo que todos los organismos vivos de este planeta tienen en común) es la dependencia de los hongos. Y a pesar de que estamos rodeados de ellos, siguen siendo poco conocidos. Con el planeta y los recursos naturales bajo la presión constante de un hábitat cada vez más reducido y una población humana en rápido crecimiento —con la consiguiente contaminación, las especies invasoras y otros desastres provocados por el hombre—, cada vez cobra mayor importancia ser conscientes de los tesoros naturales que nos rodean.

Las setas y otros hongos son organismos hermosos e interesantes, aunque sé que no todo el mundo comparte esta opinión. En muchos casos, los hongos se contemplan como meros recicladores de nutrientes y descomponedores de materia orgánica (es decir, los que pudren aquello que una vez estuvo vivo). Sin embargo, los métodos más actuales





para detectar el ADN de organismos en el entorno, las técnicas microscópicas mejoradas y los nuevos métodos de cultivo están demostrando que los hongos son mucho más omnipresentes de lo que se pensaba. Además, están revelando que los hongos son bastante más importantes para el medio ambiente y, por extensión, para el ser humano.

Basándonos en su masa y en el número de especies, los hongos (junto con los insectos) probablemente sean los organismos más comunes y con mayor éxito evolutivo del planeta. Los hongos crecen en todos los continentes de la Tierra, desde los picos más altos hasta los desiertos más áridos, desde las profundidades de los océanos hasta nuestros propios patios traseros. Y no se detienen en nuestras puertas: también se desarrollan (para disgusto de la mayoría) dentro de nuestros hogares. Los avances en la microscopía moderna nos han permitido saber que hay mohos y otros hongos en casi todas las áreas del entorno y que probablemente ninguna planta, consideradas como

↑ *Favolaschia calocera* es un hermoso descomponedor de madera que ha aparecido recientemente en numerosos lugares y hábitats nuevos. El cambio climático y los viajes y el comercio internacionales están cambiando los paisajes micológicos que nos rodean.

← Las setas son las estructuras reproductivas de los hongos. Presentan una desconcertante variedad de formas y tamaños. El esquizófilo común (*Schizophyllum commune*) es una de las setas más numerosas; se encuentra en la madera muerta, en todos los continentes (excepto en la Antártida).



la piedra angular de todos los hábitats, puede prosperar durante mucho tiempo sin sus socios fúngicos. Entrelazados entre las raíces como micorrizas, creciendo de manera epifítica en la superficie de las plantas, y presentes en los tejidos vegetales como endófitos, los hongos manejan los hilos de la naturaleza. Por contra, también causan la gran mayoría de las enfermedades de las especies vegetales, incluidas aquellas a las que debemos nuestra supervivencia como fuentes de alimento, fibra y medicinas. Una vez más, los hongos mueven los hilos.

↑ Los hongos presentan una enorme variedad de colores, y sus formas abarcan desde las más simples hasta las más complejas; en algunos casos, incluso parecen de otro mundo. Su ecología y el papel que desempeñan en el medio ambiente son igualmente diversos.

Como especie, los humanos hemos llegado a un punto crucial en nuestra historia. Cuando nació, habitaban nuestro planeta unos 2500 millones de personas, pero a principios de la década de 1990, cuando era un alumno de posgrado que estudiaba las setas y otros hongos, la población había aumentado a 5300 millones. Ahora la cifra se ha elevado a 7800 millones, y se prevé que aumente a 9700 millones en 2050. Estas cifras, que crecen sin parar, ponen de relieve los inmensos retos a los que nos enfrentamos a la hora de abordar el cambio climático global y de averiguar cómo podemos mantener, como especie, los ecosistemas saludables de los que dependemos para nuestra existencia.

No hay duda de que los hongos desempeñarán un papel importante en este proceso, ya que los seres humanos (posiblemente) recolectamos, utilizamos y consumimos setas y otros hongos desde el inicio de los tiempos. En la actualidad se recolectan setas silvestres en todos



los continentes, excepto en la Antártida, y muchas especies se pueden cultivar con relativa facilidad. Sin embargo, las setas comestibles más abundantes son las ectomicorrícicas, que significa que interactúan de manera simbiótica con las raíces de los árboles. Estas especies tienen un suministro continuo de nutrientes de los árboles que las albergan, lo que les permite producir frutos en abundancia cada año, pero los bosques de todo el mundo se enfrentan a una enorme presión para otros usos. Las consecuencias más habituales son la deforestación o la degradación de los ecosistemas forestales, con un impacto directo en los hongos que albergan.

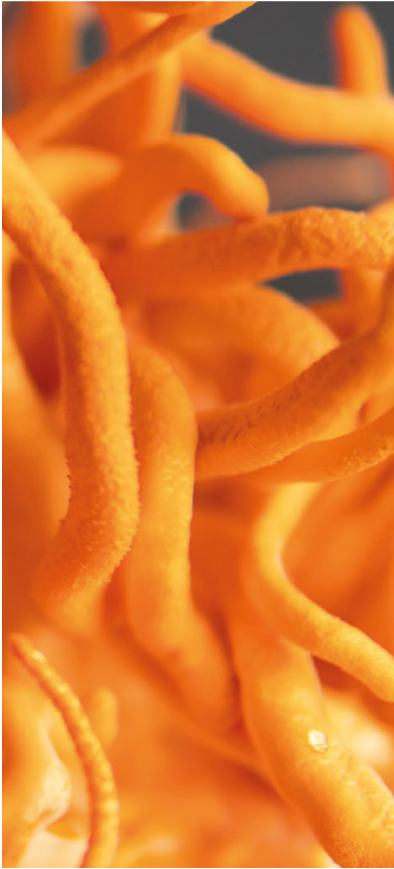
A pesar de su importancia crucial para el planeta, apenas prestamos atención a los hongos mientras realizan sus funciones y, sin embargo, hacen cosas y viven de una manera que a la mayoría de las personas les parecerían de otro mundo (algunos hongos hacen cosas que ni siquiera

podría imaginar). Sin embargo, si las condiciones son las adecuadas y se encuentra en el lugar oportuno en el momento preciso, podría ser testigo de un momento mágico: el que se produce cuando las setas emergen del suelo del bosque. Su asombrosa fuerza hidráulica contradice su apariencia delicada, ya que empujan los escombros y la hojarasca. Una a una, sus cabezas maduran y se abren para liberar innumerables esporas a los caprichos de la más ligera brisa. No se sabe dónde aterrizarán, pero si las condiciones y el sustrato son favorables, el ciclo comenzará de nuevo. Sin embargo, la seta es solo la punta micológica del iceberg, ya que el cuerpo principal del hongo permanece oculto. Además, los hongos que producen cuerpos fructíferos macroscópicos —setas con el tamaño suficiente para resultar visibles— constituyen solo una pequeña fracción de todos los hongos. Entonces, ¿qué son los hongos? ¿De qué son capaces y qué hacen en el entorno?

¿Qué son los hongos?

Los hongos constituyen todo un reino de la vida y, como ocurre con los miembros de los reinos animal y vegetal, son muy diferentes entre sí. Sus formas de obtener alimento, sus mecanismos de defensa, su genética, su reproducción y su comunicación, entre otros muchos elementos, son muy diferentes a los comportamientos animales que la mayoría de las personas conocen.



↓ *Cordyceps militaris* cultivado.

Durante la mayor parte de la historia de la ciencia, los hongos se consideraron plantas. Desde Aristóteles, todos los seres vivos se clasificaban como plantas o como animales dependiendo de si podían moverse o no. El sistema de clasificación que utilizamos en la actualidad (con rangos de parentesco como reino, filo, géneros, etcétera) fue desarrollado por Carlos Linneo (Carl Nilsson Linnæus) en el siglo XVIII. Sin embargo, aunque resulta más sofisticado, no supuso un gran cambio en el caso de los hongos, que siguieron considerándose plantas. Por lo tanto, resulta más que un poco irónico que en estos tiempos que corren, con unos conocimientos mucho más avanzados sobre la relación evolutiva de todos los seres vivos del planeta, resulte que los organismos más estrechamente relacionados con los hongos no sean las plantas, sino los animales (incluidos los seres humanos).

Si encontrase una seta en un bosque cercano, resulta evidente que la reconocería. Del mismo modo, si sujetase una hoja verde en la mano, sabría que procede de una planta. Sin embargo, la gran mayoría de los hongos no producen setas, y ¿qué pasaría si el material vegetal no fuese verde? ¿Cómo sabría entonces qué es lo que está viendo? Es más: ¿cómo se clasifica la vida? Para responder a una pregunta tan fundamental, se necesitan ciertos conocimientos de biología y fisiología.

La primera regla de la biología es que los seres vivos se componen de células. La célula es un conjunto de todos los materiales necesarios para gestionar la vida de ese organismo, contenidos dentro de una membrana fosfolípida semipermeable. Sin embargo, por sencillo que parezca, no todos los biólogos están de acuerdo: según esta definición, un virus no sería un ser vivo, pero habría científicos que argumentarían lo contrario.

En el nivel más simple, la vida en su conjunto se divide en procariotas y eucariotas. Los procariotas son organismos unicelulares (que incluyen las bacterias) que carecen de orgánulos rodeados de membranas y tampoco tienen núcleo. Su ADN consiste en un único cromosoma circular. Además de una membrana celular, las bacterias pueden tener o no una pared celular rígida, pero eso es todo.

INTRODUCCIÓN

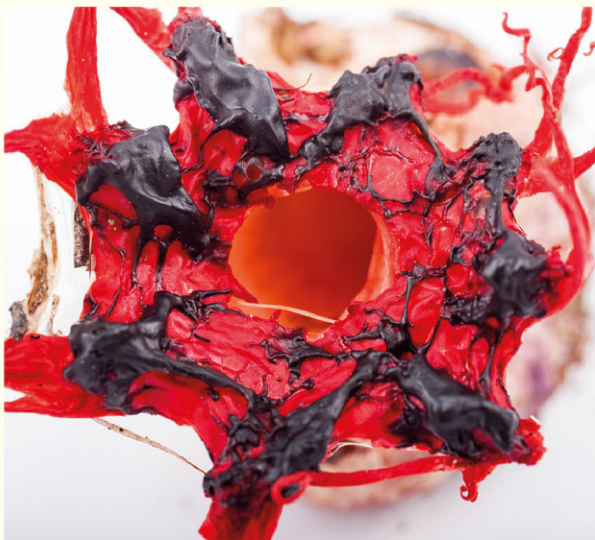
En comparación, los eucariotas están mucho más organizados desde el punto de vista fisiológico. Cuentan con orgánulos rodeados de membranas, como las mitocondrias y el núcleo, y su ADN está organizado en complejos cromosomas. Los eucariotas incluyen protistas unicelulares, plantas, animales y hongos.

Los hongos obtienen su energía por todos los medios heterotróficos imaginables; es probable que algunos hongos hagan cosas que ni siquiera puede imaginar. Quizás la mayoría de los hongos son parásitos, y es posible que todas las plantas tengan patógenos fúngicos específicos de cada especie (es el caso de muchas de nuestras variedades de cultivos agrícolas). Otros hongos son saprótrofos (obtienen su alimento de la materia orgánica en descomposición), y algunos son simbioses mutualistas de otros organismos, sobre todo de plantas. Unos pocos hongos son carnívoros; atrapan y matan a sus presas animales como fuente de nitrógeno.

Sin embargo, lo que todos los hongos tienen en común son las paredes celulares compuestas de quitina,

que aporta resistencia y flexibilidad al cuerpo del hongo. La quitina es similar a la celulosa de las plantas, pero se compone de largas cadenas de carbohidratos conectados por un enlace químico específico distinto. Además de en los hongos, la quitina se encuentra en el exoesqueleto de los insectos y otros artrópodos; el grupo de protistas más estrechamente relacionado con los hongos también presenta las paredes celulares de quitina.

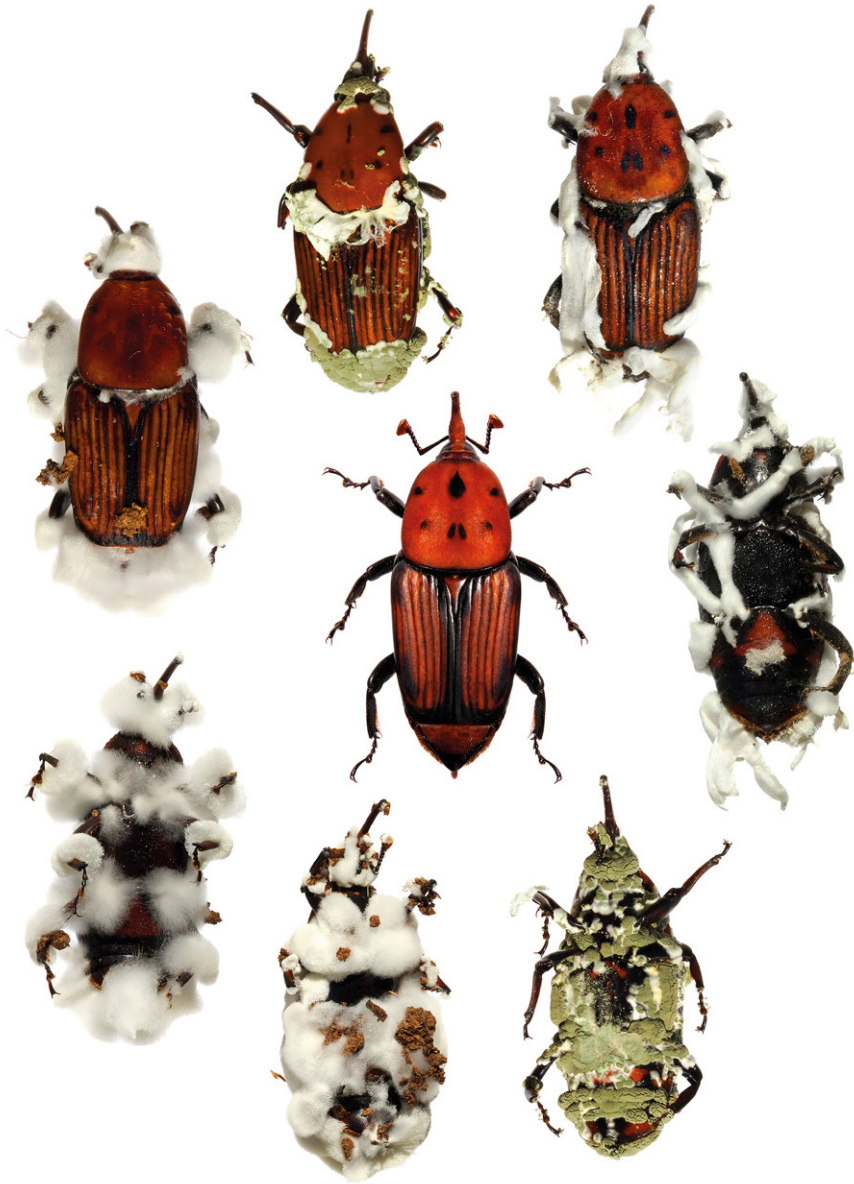
Los seres humanos no producen quitinasas, que son las enzimas necesarias para degradar la quitina. Una idea errónea muy extendida es que los hongos son indigestos y no nutritivos porque están compuestos de quitina. Sin embargo, aunque es cierto que la quitina (o la celulosa vegetal, para el caso) tiene poco valor nutricional, hay muchos otros elementos dentro de las células de los hongos y las plantas que sí son nutritivos. Además, la quitina que ingerimos cuando consumimos setas y otros hongos actúa en nuestro organismo como fibra, de forma muy similar a la celulosa vegetal. Aunque es indigerible, la fibra tiene un papel beneficioso en nuestra dieta.



← Los hongos fétidos, como el *Aseroe rubra*, pueden parecer una forma de vida extraterrestre, pero están altamente especializados en la producción de esporas y atraen a los insectos para que hagan gran parte del trabajo, de forma similar a la polinización de las plantas por parte de los insectos.

→ Los hongos no siempre son mutualistas con los insectos. *Beauveria bassiana* y *Metarhizium anisopliae* son hongos entomopatógenos (que matan insectos). En la imagen se observa un picudo rojo de las palmeras (*Rhynchophorus ferrugineus*) atacado por estos hongos, con un espécimen no infectado en el centro para poder comparar.

¿QUÉ SON LOS HONGOS?





FORMA Y FUNCIÓN

Las estructuras reproductoras de los hongos presentan una gran variedad de tamaños, formas y colores, pero los cuerpos fructíferos con el tamaño suficiente para poder calificarlos como setas solo son producidos por ascomicetos y basidiomicetos. En general, las formas comunes de los cuerpos fructíferos se agrupan en cuerpos fructíferos con láminas, poros o tubos, púas o espinas (agáriscos y boletos); setas en forma de repisa con poros o láminas (políporos); hongos en forma de nido de pájaro y de copa; bejines y similares; hongos gelatinosos; hongos

coralinos y en forma de maza, así como trufas y hongos similares a las trufas.

Sin embargo, la similitud de las formas de los cuerpos fructíferos puede resultar engañosa. Como resultado de la evolución convergente, los hongos ascomicetos y basidiomicetos presentan especies que producen cuerpos fructíferos similares, como copas, mazas y trufas. Esta evolución ha llevado a grupos dentro de un filo a producir formas parecidas. Así, tenemos varios órdenes dentro de los basidiomicetos que producen cuerpos fructíferos similares a repisas, pero no todos son políporos. Son el entorno y la selección natural los que impulsan al organismo a adaptarse a su situación; así, muchos grupos de hongos basidiomicetos producen formas similares a las trufas, ya que es el cuerpo fructífero más adecuado para los entornos áridos.

↑ Las setas suelen adoptar formas hermosas, a veces parecidas a otros organismos, como esta *Ramaria stricta* con forma de coral.

Diversas formas de reproducción

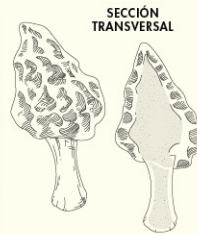
Los hongos y los organismos similares a los hongos producen estructuras reproductoras con una amplia variedad de tamaños, formas y colores. Las formas más comunes consisten en láminas, poros o tubos, púas o espinas; pueden ser en forma de repisa con poros o láminas; en forma de copa, coral o maza; mucilaginosos o gelatinosos, o redondos y esféricos como una bola. Numerosos mohos diminutos carecen de cuerpo fructífero; simplemente crean propágulos reproductivos a partir de conidióforos.



REBOZUELOS



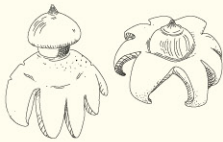
FALSAS COLMENILLAS



COLMENILLAS

SECCIÓN
TRANSVERSAL

SECCIÓN
TRANSVERSAL



ESTRELLAS
DE TIERRA



FALOS



BEJINES

SECCIÓN
TRANSVERSAL



BOLETOS

SECCIÓN
TRANSVERSAL



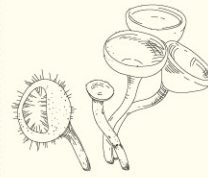
CONIDIÓFOROS SIMPLES



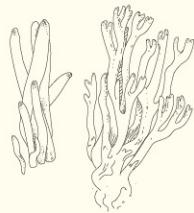
CONIDIÓFOROS SIMPLES



PLASMODIO MUCILAGINOSO



HONGOS EN COPA



HONGOS CORAL



HONGOS CON LÁMINAS



HONGOS CON PÚAS



POLÍPOROS



REGISTRO FÓSIL DE HONGOS

Aunque los hongos blandos y carnosos no se fosilizan muy bien, disponemos de un registro fósil. Sin duda, los primeros hongos se originaron en el agua, como gran parte de la vida primitiva en la Tierra. Según el registro fósil, se cree que los hongos ya existían en el período Proterozoico tardío, hace entre 900 y 570 millones de años (Ma), y tal vez incluso antes. Los microfósiles de «hongos» más antiguos se hallaron en el esquisto de la isla Victoria y se dataron en torno a 1010-890 Ma, aunque todavía no se ha llegado a determinar si son realmente hongos. Sea cual sea la fecha exacta, el consenso parece apuntar a que los hongos probablemente llegaron a la tierra justo antes de que lo hicieran las primeras plantas terrestres (que datan de hace unos 700 Ma) y allanaron el camino para que las plantas pasaran de un entorno marino a hábitats cada vez más secos.

Los primeros organismos «similares a los líquenes» que vemos en el registro fósil datan de hace unos 600 Ma, y hace unos 550 Ma los quitridios y los hongos superiores se separaron de un ancestro común. Los primeros hongos identificables taxonómicamente datan de hace 460 Ma, y parecen similares a los Glomeromycota modernos. Hace unos 400 Ma, los Basidiomycota y los Ascomycota se separaron de un ancestro común. Los primeros insectos aparecieron en escena hace unos 400 Ma; los primeros escarabajos y moscas datan de hace unos 245 Ma.

Gran parte de lo que sabemos de los hongos que ya no existen proviene de especímenes hallados en ámbar. Debido a las cualidades conservantes de la resina de los árboles, el ámbar es un medio que preserva con gran detalle objetos delicados como los cuerpos fúngicos. La resina no solo impide que el aire llegue a los fósiles, sino que además elimina la humedad del tejido, lo que da lugar a un proceso conocido como deshidratación inerte.

Además, el ámbar posee compuestos antimicrobianos que matan los microorganismos que pudrirían la materia orgánica, embalsamando así de forma natural todo lo que queda atrapado. Gracias a estas propiedades, algunas setas fosilizadas de los períodos Cenozoico y Cretácico se han conservado en perfecto estado en ámbar. La seta más antigua es *Palaeoagaricus antiquus* (100 Ma), que se asemeja a los miembros actuales de la familia Tricholomataceae, mientras que otras especies incluyen *Archaeomarasmius leggetti* (90 Ma), *Protomyces electra* (20 Ma) y *Coprinites dominicana* (20 Ma). Estas tres últimas son muy parecidas a las setas que se pueden encontrar hoy en los bosques.

Se cree que las relaciones micorrícicas surgieron hace más de 400 Ma, cuando las plantas comenzaron a colonizar los hábitats terrestres. Estas relaciones se consideran una innovación fundamental en la evolución de las plantas vasculares. No hace mucho se descubrió la primera ectomicorriza fósil asociada a plantas con plantas de floración (angiospermas). Los fósiles se hallaron en un trozo de ámbar indio del Eoceno inferior (hace 52 Ma), solo 13 millones de años después de la extinción de los dinosaurios. Las micorrizas son extremadamente raras en el registro fósil.

⌘ Como se explica en el texto, el ámbar conserva de manera exquisita los organismos que quedan atrapados en él. Aunque se conocen muy pocos fósiles de setas, resulta habitual encontrar en ámbar organismos que se alimentan de hongos, como esta mosca fúrida micofágica.

→ El fósil de hongo más antiguo que se conoce es *Ouaspheira giraldae*, hallado en pizarra formada hace entre 900 y 1000 millones de años, en lo que hoy son los Territorios del Noroeste de Canadá. A pesar de su antigüedad, los fósiles están muy bien conservados. Las esporas del hongo, claramente visibles, miden menos de una décima de milímetro de largo y están conectadas entre sí mediante filamentos hifales (hifas) finos y ramificados.



CLASIFICACIÓN Y TAXONOMÍA

En el momento de redactar estas líneas, existen más de 150 000 especies de hongos con su denominación, aunque se estima que probablemente haya alrededor de 1,5 millones de especies en total. Esto significa que la gran mayoría de los hongos todavía están por descubrir y describir. La razón es que los hongos son enigmáticos: el tamaño microscópico de la mayoría de ellos hace que resulte difícil encontrarlos, y los que no admiten el cultivo permanecen en el anonimato. Sin embargo, sabemos que existen numerosos hongos invisibles porque dejan su ADN en el suelo y otros sustratos.

Los principales grupos de hongos se han clasificado según las características de sus estructuras reproductoras sexuales. Hasta hace poco, eso significaba que los hongos

se agrupaban en cuatro clases: quitridiomycetos, zigomicetos, basidiomicetos y ascomicetos. Aunque muy simplificado, este esquema taxonómico sigue siendo un sistema bastante útil para entender qué son estos hongos y cómo se reproducen.

Los esquemas de clasificación desarrollados más recientemente separan los hongos en divisiones (o filos), aunque no todos los científicos están de acuerdo con las jerarquías taxonómicas para algunos de los grupos más extraños. Los nombres formales de los filos se escriben con mayúscula (Chytridiomycota, Glomeromycota, Basidiomycota y Ascomycota), mientras que «Zygomycota» se suele representar entre comillas porque se trata de un grupo artificial de hongos que, en conjunto, no son monofiléticos. Entre estos grupos, los basidiomicetos y ascomicetos (o «basidios» y «ascos», como a veces los denominan los micófilos) se conocen colectivamente como hongos «superiores». Aparte de los micólogos, la mayoría de la población solo conoce los basidiomicetos más grandes y vistosos, y algunos ascomicetos.

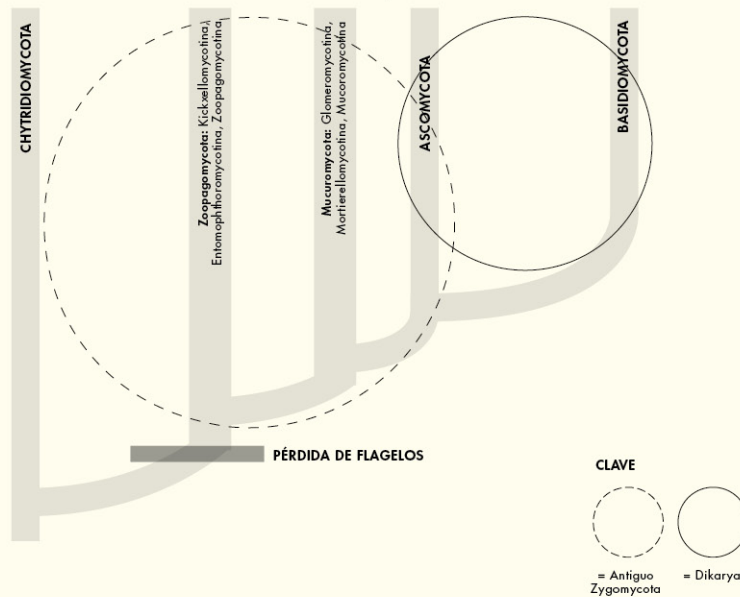
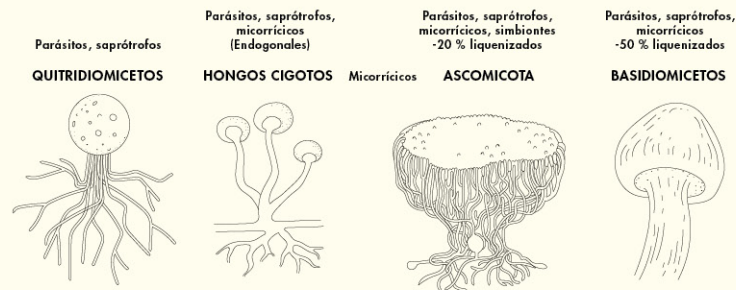
Sin embargo, si los hongos se clasifican en función de su reproducción sexual (el estado teleomórfico o «perfecto» del ciclo de vida), ¿qué ocurre con las formas asexuales (el estado anamórfico o «imperfecto»)? Muchos hongos se conocen solo como anamorfos, y muchos de ellos son importantes desde el punto de vista económico, ya que causan daños a los cultivos, pudren los alimentos almacenados o provocan micosis. Esos hongos suponen un problema para los taxónomos, cuyo trabajo consiste en darles un nombre. Así, en el pasado, esos hongos «imperfectos» se agrupaban simplemente en un gran grupo (los deuteromicetos o *fungi imperfecti*) con independencia de su relación evolutiva. Sin embargo, más recientemente, el análisis de secuencias de ADN ha permitido a los investigadores determinar por fin el estado teleomórfico y, por lo tanto, el nombre teleomórfico de cualquier hongo, sin necesidad de intentar que produzca esporas sexuales en cultivo.

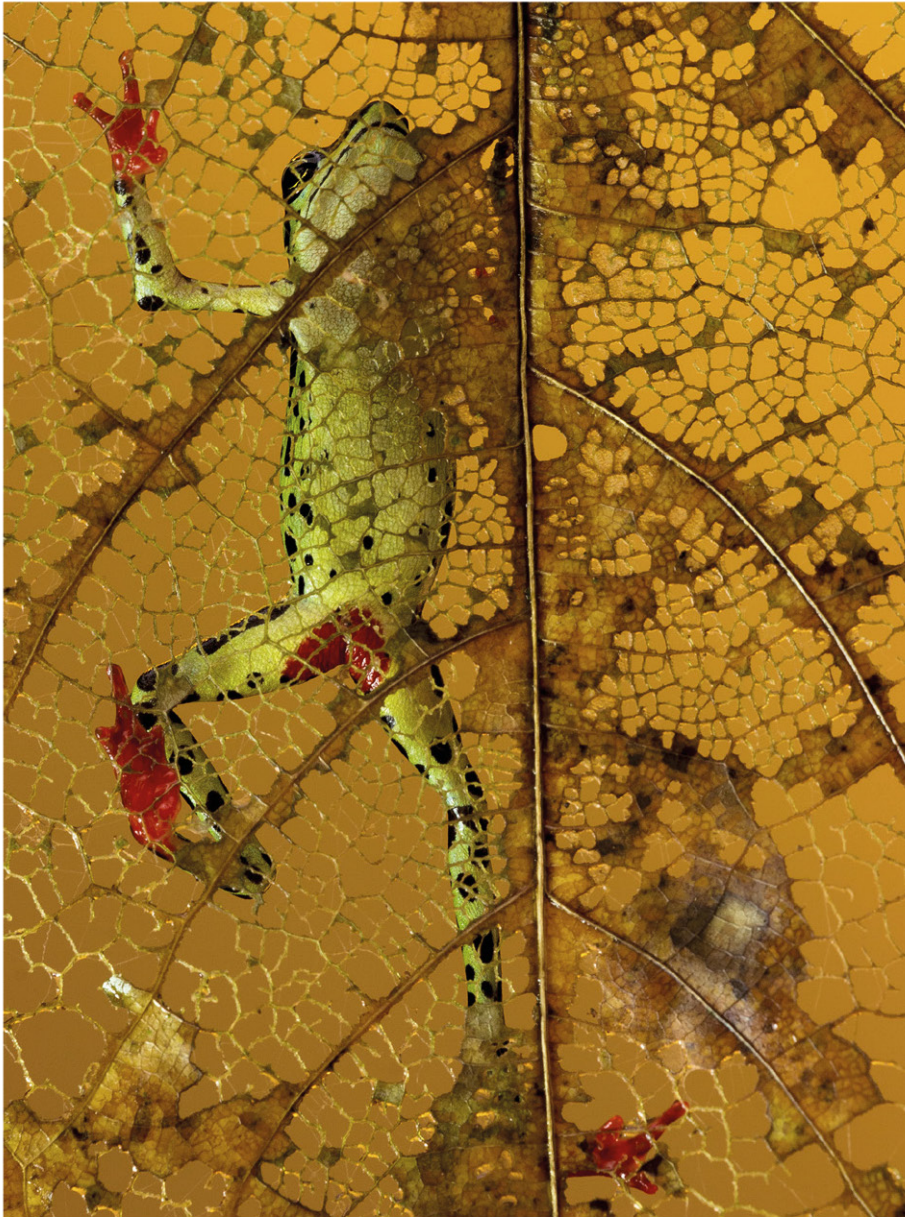


← Las setas de ostra jóvenes (especies de *Pleurotus*) son unas setas culinarias muy apreciadas y fáciles de cultivar.

Filogenia de los hongos

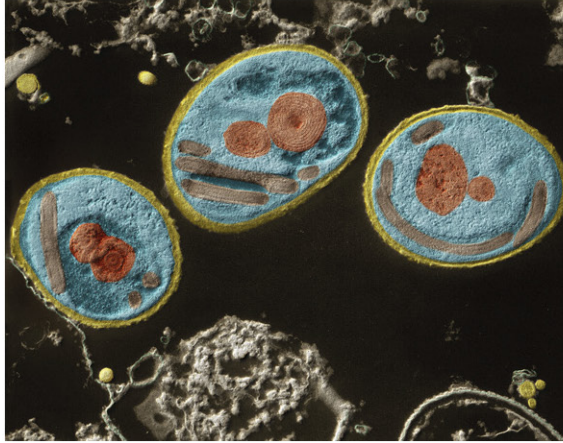
Los esquemas de clasificación modernos dividen los hongos en los filos Chytridiomycota, Glomeromycota, Basidiomycota y Ascomycota, y el polifilético «Zygomycota» se está separando poco a poco. También se señala la ecología de cada grupo de hongos, así como los que son móviles.





← Algunos quitridiomycetos son conocidos patógenos de anfibios como este jambato amazónico (*Atelopus spumarius*) infectado que se arrastra sobre una hoja en Ecuador.

→ Algunos de los hongos más extraños y menos conocidos son los Microsporidios, en la imagen con un aumento de 58 000 X mediante microscopía electrónica de transmisión (TEM) con color mejorado. Los Microsporidios viven en el interior de las células de sus portadores y tienen una fisiología y un genoma extremadamente reducidos.



El análisis de la secuencia del ADN de algunos hongos imperfectos también ha dado lugar a algunas sorpresas. En el caso de *Aspergillus* (y esto se sabe desde hace décadas), se ha confirmado que más de 300 especies pertenecen a un mínimo de 11 géneros teleomórficos. Esto resultaba un tanto problemático, ya que *Aspergillus* es un nombre de anamorfo. Así, en 2012, los científicos cambiaron las normas sobre los nombres, con excepciones para los nombres de anamorfos (asexuales) ya establecidos en los casos en que el cambio al nombre del teleomorfo supusiera un gran problema. En consecuencia, algunas especies de *Aspergillus* (incluidos productores de micotoxinas muy conocidos como *Aspergillus flavus*, *A. parasiticus* y *A. ochraceus*) conservan el nombre del teleomorfo, pero cuando es preferible utilizar nombres teleomórficos, que es el caso de géneros teleomórficos bien establecidos como *Eurotium*, *Emericella* y *Neosartorya*, se utilizan estos últimos.

Antes de entrar en una breve disertación sobre los hongos «verdaderos», conviene mencionar el grupo más nuevo de hongos: los *Microsporidia*. Hasta 2006, este extraño grupo de organismos diminutos se consideraba protista, pero ahora se cree que son hongos primitivos extremadamente simplificados, o solo los parientes más

cercanos de los hongos; se necesitarán más análisis para aclarar las relaciones evolutivas de este grupo. Sin embargo, resulta poco probable que vea un microsporidio, ya que se trata de parásitos unicelulares muy pequeños que se alimentan de animales (en su mayoría insectos). Toda la vida de un microsporidio, incluida la replicación, tiene lugar dentro de la célula de su anfitrión. Si proceden de un verdadero ancestro fúngico, hace mucho tiempo que abandonaron el crecimiento hifal para vivir como endosimbiontes. Los microsporidios figuran entre los eucariotas más pequeños que se conocen, y tienen los genomas eucariotas más pequeños.

Mientras que los microsporidios representan el grupo más reciente, los quitridiomycetos se han considerado durante tiempo los hongos «verdaderos» más primitivos. Presentes en todo el mundo, la mayoría de los quitridiomycetos son saprótrofos (se alimentan de materia orgánica en descomposición), aunque algunas especies son parásitas de plantas y animales (como veremos más adelante, están relacionados con la extinción mundial de los anfibios). Los quitridiomycetos son los únicos hongos móviles; producen zoosporas impulsadas por flagelos en forma de látigo. Todos los hongos situados por encima de ellos en el árbol de la vida de los hongos son inmóviles.



Nuestro siguiente grupo, el de los zigomicetos, siempre ha sido una mezcla heterogénea de hongos agrupados por el hecho de tener hifas aseptadas. Algunos ejemplos de hongos zigomicetos son el moho negro del pan (*Rhizopus stolonifer*) y las especies *Pilobolus* (el lanzador de sombreros), que son capaces de lanzar esporas a grandes distancias.

Los glomeromicetos eran parte de los zigomicetos, pero ahora poseen su propio filo, el de Glomeromycota. Estos hongos apenas se conocen. Muy pocos (si es que hay alguno) tienen reproducción sexual; no forman cuerpos fructíferos visibles; algunos forman grupos de esporas asexuales, y eso es todo. También sabemos que los glomeromicetos son simbioses mutualistas de la mayoría de las plantas (son micorrízicos), por lo que es probable que sean quienes manejan los hilos de toda la vida en el planeta.

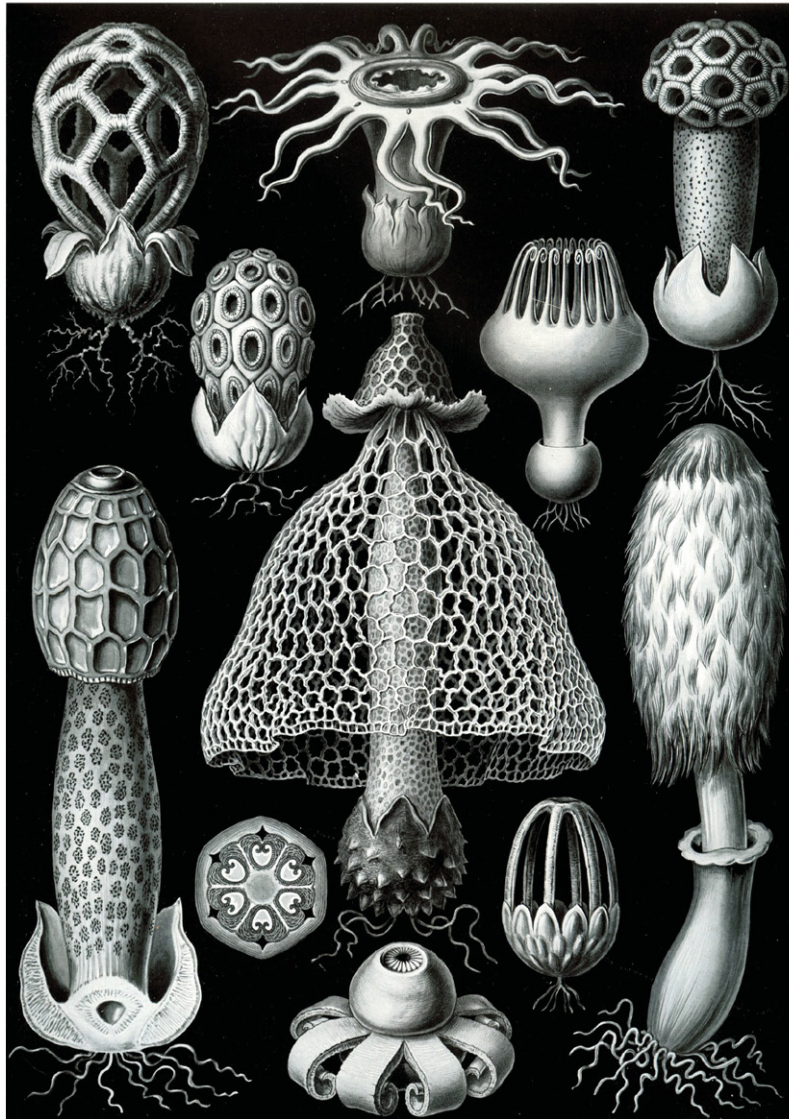
Los hongos más evolucionados en la actualidad son los basidiomicetos y los ascomicetos, y tienen el mismo ancestro. Los basidiomicetos incluyen la mayoría de las

setas que conocemos. Producen esporas sexuales en células especiales con forma de maza llamadas basidios (de ahí su nombre alternativo, hongos de maza), mientras que los ascomicetos (conocidos como hongos de saco, o sacciformes) producen esporas sexuales en una célula especial en forma de saco llamada asca. Los ascomicetos constituyen el grupo más grande de hongos, e incluyen las colmenillas, las trufas y las levaduras.

Ambos grupos crecen mediante hifas con septos, aunque algunos miembros crecen como levaduras unicelulares, y viven como saprófitos, parásitos o simbioses mutualistas.

↑ Algunos ascomicetos producen setas muy coloridas con forma de copa, como esta bonita *Sarcoscypha coccinea*, la peziza escarlata.

→ En el siglo XIX, el naturalista alemán Ernst Haeckel estudió e ilustró numerosos animales, pero algunos hongos (en especial los vistosos basidiomicetos) también le impresionaron.





HONGOS PATÓGENOS

Muchos de los hongos que existen en la actualidad en el planeta (tal vez incluso la mayoría) son patógenos. Sin embargo, como ocurre con todas las formas de vida, los hongos también tienen sus propios parásitos y patógenos. De hecho, existen muchos hongos que son parásitos de otros hongos. Por ejemplo, el hongo gelatinoso común *Tremella* (mantequilla de bruja) se consideró durante mucho tiempo un saprótrofo de la madera en descomposición, ya que a menudo se ve cerca de especies de *Stereum* (falsa cola de pavo), que es otro saprótrofo de los troncos caídos. Sin embargo, resulta que *Tremella* es un parásito de hongos como *Stereum* (y *Peniophora*).

Como los animales, los hongos pueden verse afectados por virus, patógenos similares a virus e incluso priones (los científicos estudian los priones de los hongos de la levadura para comprender mejor cómo provocan los priones enfermedades en los mamíferos, como el kuru en los humanos o la encefalopatía bovina del ganado). Los virus son bastante comunes en los hongos y pueden causar enfermedades de gran importancia económica, como la enfermedad la France de los champiñones en las explotaciones comerciales de setas. Los virus fúngicos son persistentes, y se sabe que se transmiten a través de anastomosis y de las esporas. Dado que la anastomosis solo se produce entre hongos de la misma especie, este método de transmisión no introduce virus en nuevas especies.

En la mayoría de los casos se desconoce el papel de los virus en la vida de los hongos. Sin embargo, en algunos hongos fitopatógenos, el virus puede actuar como mutualista de la planta reduciendo el efecto de la patología del hongo. El ejemplo más estudiado es el del chancro del castaño, causado por el hongo *Cryphonectria parasitica*.

← La mantequilla de bruja (*Tremella mesenterica*) aparece principalmente en madera muerta, y a menudo se da por supuesto que es un saprótrofo. En realidad, este hongo es un parásito de otros hongos que crecen dentro de la madera en descomposición.

↗ Muchos organismos simbióticos diferentes crecen juntos. Cada líquen se compone de varios organismos, incluidos hongos y fotobiontes.



Cuando el hongo alberga el hipovirus Cryphonectria, la patología del hongo en la planta se reduce bastante. Esto se ha propuesto como método para rejuvenecer los bosques de castaños de Norteamérica. También se han encontrado otros ejemplos de virus asociados a la hipovirulencia en hongos fitopatógenos, entre ellos en *Ophiostoma ulmi*, el agente causante de la grafiosis del olmo.

Aunque no son mutualistas de sus hongos hospedadores, estos virus son beneficiosos para las plantas que albergan os patógenos fúngicos. De hecho, en un ejemplo, un virus

fúngico es un socio obligatorio en una compleja simbiosis mutualista a tres bandas que permite a las plantas crecer en los suelos geotérmicos del Parque Nacional de Yellowstone, en Estados Unidos. *Dichanthelium lanuginosum* es una gramínea que crece en suelos con temperaturas superiores a 50 °C, pero para ello necesita un hongo endófito (*Curvularia protuberata*) infectado con el virus de tolerancia térmica Curvularia.

Se trata de un claro mutualismo, ya que la hierba no puede sobrevivir sin el hongo, este debe estar infectado con el virus para conferir tolerancia térmica a las plantas.

ÍNDICE

- insectos 43-46, 48, 51, 74
 «control mental» 84-85
 escarabajos de la ambrosía 46, 175
 granjas 46, 175-179, 198
 hongos fétidos 54
 hormigas 85, 175, 177-178, 198, 226
 melaza 107
 mutualismos 174-175
 perforadores de la madera 46, 101, 178
 poliporo laberíntico 194
 seta acuática 58
 termitas 175, 176, 177-178, 198
 xilófagos 46
 invasivas, especies 228-229
- J**
 Janzen, Dan 174
 juicios de las brujas de Salem 88, 150
- L**
 laboulbeniales 196
Laccoccephalum mylittae 274-275
Laccoccephalum tumulosum 274
 lanzador de sombreros 22, 62-63
 Leary, Timothy 261
Lentinula edodes 36, 103, 238-239
Lentinus brumalis 36
 levadura 78-83
 de cerveza 78-83
 lignina 102-103
 ligninólisis 74-75
 líquenes 69, 172, 188-193, 200-201, 264, 265, 279
 de crin de caballo 200-201
Lophodermium pinastri 86-87, 104
 luciferina 74
- M**
 madera 101-104
 chancro del castaño 141
 «consola de pino» 202
 copa verde-azul 132
Cryphonectria parasitica 136
 grafiosis del olmo 25, 142-145
 hongo de la podredumbre seca 230
 insectos agricultores 46, 177, 178
 ligninólisis 74-75
 líneas oscuras (veteado) 70, 90
 mosaico forestal 216
 poliporo laberíntico 194
Malassezia 112
 mantequilla de bruja 24
Marasmius
 crinis-equi 104
 oreades 106, 128-129
Massospora cicadina 85, 96-97
 matamoscas / falsa oronja 236-237
 medicina 76, 78, 92, 192, 218, 245-247
Megacollybia 117
 meiosis 279
 melaninas 68, 69
 vegetales 114-121
 melaza 107, 171
Meripilus vitreus 71
 Meselson, Matthew 94
Metarhizium
 acidum 226
 anisopliae 225, 226
 micangios 46
 micelio 279
 micobionte 279
 micoheterótrofos 187
 micorrizas 6, 8, 17, 180-187
 arbusculares 182-183, 210-211, 213, 278
 micosis 279
 micotoxinas 21, 88, 94, 200, 244
 microhongos 69
Microsporidia 21
 mildiu
 de la vid 162-163
 de la patata 136, 138, 154-157
 Millardet, Pierre Marie Alexis 162
 mimetismo 48-51, 60
 mitosis 279
 moho
 de las bodegas 83
 negro 22, 107, 232
 mohos negruzcos 107
 mongui 272
Monilinia
 fructicola 69
 vacinii-corymbosi 51
 monocarion 279
 Moore, James 261
Monchella 142, 268-269
 muerte repentina del roble (MRR) 145, 147
 murciélagos 138, 140-141, 228
 café 140-141
 mutualismo 12, 22, 24-25, 48, 101, 170-205
Mycena 72, 75
 Mycowood, instrumentos de 71
- N**
 naranja de haya 122-123
Nectriopsis violacea 168-169
Neolentium lepidus 250
 Noble, David 147, 149
Nothofagus 79, 80, 122
 Nylander, William 192
- O**
 obligado 280
Omphalotus 72
 onigena del caballo 126-127
Onygena 109
 corvina 126
 equina 126-127
 Onygenales 109, 110, 126
 oomicetos 145, 154, 162
Ophiocordyceps
 sinensis 92-93
 unilateralis 85
Ophiostoma ulmi 25, 143-145
 orellana 250
 oronja 158-159
 mortal 150, 229, 254, 270, 271
 orquídeas 51, 187
 otolitos 36
 Ötzi, cuerpo momificado 90
- P**
 paclitaxel 184
Palaeoagaricites antiquus 17
 pandemias 134-169
Pandora formicae 85
Panellus 72
 stipticus 74
 Paracelso 76
Paracocidioides 112
 parásitos 12, 98-133, 187
 coevolución 174
 de animales 21, 110-113
 de hongos 24
 de las plantas 21, 114-121
 paredes celulares 12
 patógenos 12, 24-25, 46, 48, 52, 86, 90, 101, 112, 185, 202, 226
 de humanos 110, 112
Pauromotylis pila 60-61
 Peck, Charles Horton 85
Penicillium 69, 245-247
 peridiolos 40-41, 56
 Persoon, Christian Hendrik 168
 peziza de las carboneras 276-277
Phallales véase hongos fétidos
Phallus indusiatus 54-55
Phanerodontia chrysosporium 103
Phlebiopsis gigantea 226
Phlebopus portentosus 178-179
Pholiota carbanaria 217
Phytophthora 138
 cinnamomi 149
 infestans 154-157
 ramorum 145, 147
Pilobolus 41
 crystallinus 22, 62-63
 pino de Wollemi 148-149
 pipas fantasma 187
 placas pseudoesclerociales 70

- plantas epiparásitas 187
 mutualismos 180-187
 parásitos 114-121
 reguladores del crecimiento 115-116
Plasmopara viticola 162-163
 plasmogamia 280
Pleurotus nebrodensis 240-241
 podredumbre
 anular roja 202
 del corazón 103-104, 226
 del pie 104, 117
 Pöldmaa, Kadri 160
 polilla lagarta peluda 117
 polillas fantasma 92
 polinización 48, 51, 124
 poliporo
 brumal 36
 laberíntico 194-195
 polizontes de cascarudos 196-197
Porodaedalea pini 202-203
 priones 24
Protomyces electa 17
Psathyrella aquatica 58-59
 pseudoflores 48, 50, 52, 115
Pseudogymnoascus destructans 140-141
 pseudopolinización 48, 52
 psilocibina 259, 261, 272
Psylocybe 258-261
cubensis 272-273
semilanceata 272
tampanensis 272
venenosa 272
Puccinia
coronata avenae 119
graminis 119-120
monoica 52-53
- Q**
 queratina 109, 110, 126
 quitina 12
 quitridiomycetos 18, 21, 116, 138-139
 quitridiomycosis 138-139
- R**
 radiación 69
 atómica 69
 ionizante 69
 Reagan, Ronald 94
 Reboleira, Ana Sofia 196
 red
 de Hartig 182
 micelial 187
 registro fósil 16-17, 106-107, 177, 181
 reproducción 28-63, 67
 respiración 102
 resupinados, hongos 44
Rhizopus stolonifer 22
 rizoides 138
 rizomorfos 68, 72, 104, 106, 117, 280
 rizosfera 210
 roya 52-53, 119-121, 152-153
 de la avena 119
 del café 152-153
 del enebro y el manzano 121
 del tallo del trigo 119-120
 vesicular del pino blanco 120-121
Russula 130
- S**
Sacharomyces
cerevisiae 78-79, 248
eubayanus 79
pastorianus 78-79
 saco, hongos de, véase ascomicetos
 Sagara, Naohiko 109
 saprótrofos 12, 24, 54, 90, 98-133, 140, 181, 280
 sarna del manzano 117-119
 Schultes, Richard Evans 259
 Schwarz, Marie Beatrice «Bea» 143
 senderuela 128-129
Septobasidium subilacinum 44
Serpula lacrymans 230-231
- seta
 acuática 58-59
 de los Césares 158-159
 de san Jorge 166-167
 langosta 130-131
 orellana 229, 238
 orellana de Nebrodo 240-241
 titán 198-199
- setas
 con láminas 35, 58, 198, 217
 cultivadas 238-239
 mágicas 259-261, 272-273
shiitake 36, 103, 226, 238
 simbiosis 101, 170-205
Choanephora 51
 insectos 46
Massospora acadina 96
 micorrizas arbusculares 210
- síndrome de la nariz blanca (SNB) 140-141
Sphaerobolus stellatus 56-57
Spilocaea pomi 119
Sporophagomyces chrysostomus 160-161
Sporormiella 106-107
Sporothrix schenckii 112
 Spribille, Toby 200
Stereum 24
 Stradivarius, violines 71
- T**
 taxonomía 280
 teleomorfo 18, 21, 280
 teliosporas 124
 termitas 175, 176, 177-178, 198
Termitomyces 177
titanicus 198-199
 termotolerancia 25
 tiña 110
 tizón 119, 124-125
 de las acículas del pino 86-87
 del maíz 124-125
 Tokay, vinos 83, 232
- toxinas 21, 76-83, 88, 94, 200, 252-257, 270
Candida albicans 112
 fusariosis de la espiga 94
Tienella 24
Trichoderma
harzianum 226
reesei 224
Tricholoma gambosa 166-167
 tricotecenos 94
 trufas 33, 43, 60
 de baya 60
 de baya escarlata 60-61
 negra 266-267
Tuber magnatum 266
Tuber melanosporum 266-267
- U**
Ustilago maydis 124-125
- V**
 Vasquez, Gianrico 240
 velo de novia 54-55
Venturia inaequalis 117-119
 vinos «botritizados» 232
 violines 71
 virus 24-25
- W**
 Wasson, R. Gordon 258-261
 Westerdijk, Johanna 143
 «Wood Wide Web» 185, 187
- X**
Xylaria 104
longipes 71
- Z**
Zasmidium cellare 83, 232
Zhu Douxi 268
 zigomicetos 18, 22, 51, 62, 84, 96
 zigosporas 280
 zombificación 67, 85
 zoocoria 42-47, 60
 zoosporas 21, 116, 138-139, 154

AGRADECIMIENTOS

Este libro es muy personal. Además de ser una recopilación de datos que encontrará en muchos otros recursos micológicos, también es un compendio de mis historias favoritas sobre hongos de todo el mundo. Algunas de ellas, sin duda, serán conocidas para los micófilos formados. Muchas otras resultan bastante desconocidas, y es probable que este libro sea el único medio en el que las encuentre impresas. Espero que disfrute leyendo sobre estos fascinantes organismos tanto como yo he disfrutado escribiendo.

Estoy en deuda con los numerosos educadores y mentores que me han influido a lo largo de mi vida; necesitaría mucho espacio para darles las gracias a todos, y los editores son muy estrictos en cuanto al número de palabras. Gracias a los fotógrafos que han compartido las hermosas imágenes de setas y hongos utilizadas en este libro. Gracias también a los autores de los numerosos artículos publicados en *Fungi Magazine* a lo largo de los años; algunos de ellos dieron pie a parte de las entradas de este libro. Y sería un descuido por mi parte no dar las gracias a Kate Shanahan, Natalia Price-Cabrera y a todo el talentoso equipo de editores e ilustradores de UniPress Books por proponerme la idea de este libro, y por su paciencia y tolerancia conmigo durante todo el proceso.

CRÉDITOS DE LAS IMÁGENES

El autor y el editor agradecen sinceramente el permiso para reproducir en este libro el siguiente material protegido por derechos de autor.

Shutterstock: pág. 4 (sup. izda.): vilax; pág. 4 (sup. dcha.): valzan; pág. 4 (inf. izda.): bogdan ionescu; pág. 4 (inf. dcha.): Aksanova Natalya; pág. 5 (sup. dcha.): xpixel; pág. 5 (c. dcha.): Pisut chounyoo; pág. 5 (inf. izda.): Shutterstock; pág. 5 (inf. dcha.): lams; pág. 7: CKHatten; págs. 8-9: Take Photo; págs. 10-11, 273: Dmytro Tyshchenko; pág. 12: mark higgins; pág. 13: Protasov AN; pág. 16: Matteo Chinellato; pág. 30: Kichigin; pág. 34: epioxi; págs. 38, 41, 227 (sup.), 277: Henri Koskinen; pág. 39: Josep M. Peñalver Rufas; 57: weinkoetz; págs. 66-67: Denis Gavrilov Photo; pág. 70: Melinda Fawcett; pág. 71 (sup.): Kimberly Boyles; pág. 72 (sup.): Anne Powell; pág. 77: Anita Kot; pág. 79: Filip Fuxa; págs. 80-81: Pablo Rodríguez Merkel; pág. 89: PHOTO FUN; pág. 101: Sajjadabadi; pág. 103 (inf.): U CHAOSHU; pág. 110: Pee Paew; pág. 117: bogdan ionescu; pág. 119: kroya25; pág. 123: Ralf Broskvar; pág. 137 (círculo): Filaud; pág. 137 (círculo): Yayah-Ai; pág. 142: Ruth Swan; pág. 152 (sup.): Plauto Photography; págs. 154, 247: Everett Collection; pág. 159: Agorastos Papathanis; pág. 163: Somogyi Laszlo; pág. 174: Michael Siluk; pág. 177: Zulashai; pág. 179: MR. ALKID PHUMSIRICHAT; págs. 184-185: dugdax; pág. 188: My September; pág. 203: Henrik Larsson; pág. 205: R. Croaker; pág. 208: Iva Hani; pág. 213: Budimir Jevtic; págs. 214-215: James Percy; pág. 216: Ryan McGill; pág. 218: Favioux; pág. 219 (inf.): Chen Min Chun; pág. 222: Susanne Leitelgeb; pág. 223: Matjaz Preseren; pág. 224: Wingedbull; págs. 226, 233: srullik; pág. 228: Kirsanov Valeriy Vladimirovich; pág. 231: LariBat; pág. 237: Fotolot; pág. 239: Trialist; pág. 245: ChWeiss; pág. 246: Kallayanee Naloka; pág. 248 (izda.): Martina Kachakova; pág. 248 (dcha.): Jirawan Muangrak; pág. 249: Kateryna Kon; págs. 252-253: Botanic Table of Elements; págs. 256-257: NK55; pág. 258: anilram; pág. 261: Joseph Sohm; pág. 264 (izda.): Dominic Gentilcore PhD; pág. 265: Bokond Horvath; págs. 280-281: Mary Elise Photography; pág. 283: dan_nurgitz.

Alamy Stock Photo: págs. 3, 271: Roger Phillips; págs. 6, 25: Pat Canova; págs. 42-43: Henrik Larsson; pág. 45: Naturepix; pág. 47: fotototo; pág. 50: 916 collection; pág. 53: Malcolm Schuyt; págs. 71 (inf.), 106, 129, 217: Henri Koskinen; pág. 83: Panther Media GmbH; pág. 91: BuitenBeeld; pág. 97:

Nature Picture Library; pág. 100: Arterra Picture Library; pág. 103 (sup.): INTERFOTO; pág. 108: Tommi Syvänpää; pág. 111: Science Photo Library; pág. 113 (sup.): Science Photo Library; pág. 131: Kevin Oke; pág. 133: Hakan Soderholm; pág. 137 (inf.): Colin Munro; pág. 138 (dcha.): Nature Picture Library; pág. 144: Andrew Hasson; pág. 145: Inga Spence; pág. 147: Ashley Cooper pics; pág. 152 (inf.): danaan andrew; pág. 153 (sup.): Tribune Content Agency LLC; pág. 157 (sup.): Science History Images; pág. 157 (inf.): Glasshouse Images; pág. 167: Roger Phillips; pág. 180: Emmanuel LATTES; pág. 183 (sup.): Scenica & Science; pág. 186: Bill Gossansky; págs. 192-193: Biosphoto; pág. 195: Marina Sutormina; pág. 199: image BROKER; pág. 201: Lee Rentz; pág. 220: David Pressland; pág. 227 (inf.): Custom Life Science Images; pág. 250: Justin Long; pág. 254 (izda.): Marcus Harrison – plantas; págs. 262-263: REUTERS; pág. 267: Hemis; pág. 269: Randy Beacham; pág. 275: Reading Room 2020.

Science Photo Library: pág. 20: Javier Aznar / Nature Picture Library; pág. 21: Eye of Science; pág. 31: Hervé Conge, ISM; pág. 63: Wim Van Egmond; pág. 69: Dennis Kunkel Microscopy; pág. 95: SCIMAT; pág. 95 (recuadro): Keith Weller / US Department of Agriculture; pág. 139 (izda.): US Fisheries and Wildlife Service / Ryan Van Linden, New York Department of Environmental Conservation; pág. 225: Dr. Kari Lounatmaa; pág. 235: Photo Researchers, Inc.

Nature Picture Library: pág. 14: Guy Edwardes; pág. 22: Guy Edwardes / 2020VISION; págs. 24: John Waters; págs. 26-27: Andrés M. Dominguez; pág. 33: Niall Benvie; pág. 73: Juergen Freund; pág. 173: Benoe Mate.

Nature in Stock: pág. 2: Ronald Stiefelhofen; pág. 84: Paul Bernier / Minden Pictures.

Fotógrafos independientes: pág. 17: Corentin C. Loron; págs. 18, 114, 116, 241: Britt A. Bunyard; pág. 35: Joe McFarland; pág. 59: Jonathan Frank; pág. 61: James & Dawn Langiewicz; pág. 87: Carlos Cortés; pág. 93: Daniel Winkler; pág. 107 (sup.): Eric Smith; pág. 127: Andrus Volk; pág. 161: Enrique Rubio; pág. 169: Danny Newman.

Creative Commons / Dominio Público: pág. 23: Dominio Público / DPEE.UU.-expirado; pág. 44 (izda.): Gerhard Koller (CC BY-SA 3.0); págs. 44 (dcha.), 105: Alan Rockefeller (CC BY-SA 3.0); pág. 48: Janet Graham (CC BY 2.0); pág. 49 (izda.): Sealox (CC BY-SA 4.0); pág. 49 (dcha.): Dominio Público / DPEE.UU.-expirado; pág. 53: Lesireck (CC BY 2.0); pág. 68: Stu's images (CC BY-SA 3.0); pág. 72 (inf.): Karin März/Dominio Público; págs. 74-75: Jpallante (CC BY-SA 4.0); pág. 78 (izda.): Bob Blylock (CC BY-SA 3.0); pág. 78 (dcha.): Dominio Público / DPEE.UU.-expirado; pág. 82: James Sowerby / Dominio Público / DPEE.UU.-expirado; pág. 104: Paul Venter / Dominio Público; pág. 107 (inf.): Henk Monster (CC BY 3.0); pág. 107 (recuadro): Michael Koltzenburg (CC BY-SA 3.0); pág. 109: Ben Mitchell / Wildeep / Dominio Público; págs. 112, 165, 244 (dcha.): Nephron (CC BY-SA 3.0); pág. 113 (inf.): Graham Beards (CC BY-SA 4.0); pág. 118: Dominio Público / The National Gallery, Londres; pág. 121: Yue Jin / Dominio Público; pág. 125: Jamain (CC BY-SA 3.0); pág. 138 (izda.): Dr. Alex Hyatt, CSIRO (CC BY 3.0); pág. 139 (dcha.): Djspring (CC BY-SA 3.0); pág. 140: VanVlip (CC BY-SA 3.0); pág. 141: Claudette Hoffman (CC BY-SA 3.0); pág. 142: Dominio Público; pág. 146: Alkerbelz (CC BY-SA 3.0); pág. 149: Mary Ann Hansen (CC BY-SA 3.0); págs. 150-151: Baker, Joseph E. / Dominio Público; pág. 151 (recuadro): Dominique Jacquin / Dominio Público; pág. 153 (recuadro): Smartee (CC BY-SA 3.0); pág. 172: Dominio Público; pág. 178: Ryane Snow (CC BY-SA 3.0); pág. 183 (inf.): Rit Rajarshi (CC BY-SA 4.0); pág. 190: Dominio Público / Dominio Público / DPEE.UU.-expirado; pág. 191: Jason Hollinger (CC BY 2.0); pág. 197: Gilles San Martin (CC BY-SA 2.0); págs. 210, 211 (sup.): Keith Weller / USDA; pág. 211 (inf.): Sara Wright / USDA; pág. 212: André-Ph. D. Picard (CC BY-SA 3.0); pág. 219 (sup.): Michael Hartwich (CC BY-SA 4.0); pág. 221: Sasata (CC BY-SA 3.0); pág. 244 (izda.): CDC / Dra. Lucille K. Georg (PHIL #3964), 1955; pág. 254 (dcha.): Dan Molter (CC BY-SA 3.0); pág. 259: Dominio Público; pág. 264 (dcha.): Doug Collins (CC BY-SA 3.0).

Se ha tratado por todos los medios de localizar a los titulares de los derechos de autor y obtener su permiso para utilizar material protegido. La editorial pide disculpas por cualquier posible error u omisión en esta lista de créditos, y agradecería la notificación de las correcciones, que se incorporarían en futuras reimpresiones o ediciones de este libro.