

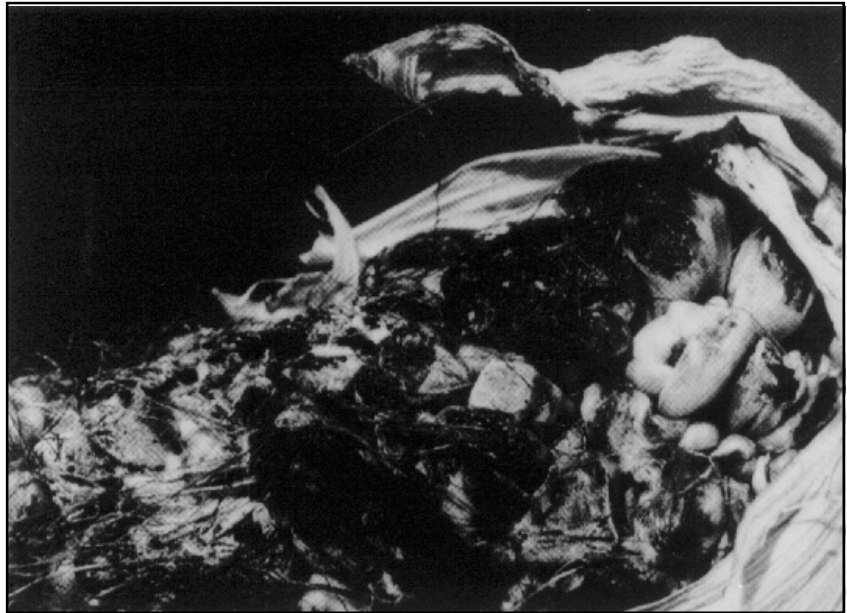
El asombroso reino de los hongos

José Ruiz Herrera

Hongos y taxonomía

El primer problema que se encuentra al introducirse en el estudio de los hongos es la definición del propio material de estudio: ¿qué es un hongo? Para apreciar la naturaleza de este problema, baste citar algunos casos extremos. En el clásico libro de micología de C. J. Alexopoulos, *Introductory Mycology*¹, se dice que los hongos son organismos con núcleo que se reproducen por esporas, carecen de clorofila (por lo tanto no son fotosintéticos), se reproducen sexual o asexualmente y tienen estructuras somáticas filamentosas y ramificadas rodeadas por una pared celular hecha de celulosa, quitina o ambas. Una definición que intenta ser exhaustiva² señala que son organismos heterotróficos (incapaces de usar el bióxido de carbono como única fuente de carbono), e ingieren su alimento por absorción. Su talo es variable desde ameboide y unicelular, hasta tubular rodeado por una pared celular. Puede ser único multicelular (septado) y hallarse sobre o dentro del substrato. Su pared está hecha de un polisacárido llamado quitina, pero también puede contener celulosa. No son organismos móviles, pero en algunos casos sus esporas sí lo son; pueden ser haploides, homocarióticos, heterocarióticos, dicarióticos o diploides, etc. En contraste, una definición concisa es la siguiente: “lo que define a los hongos es su capacidad de formar largas células tubulares llamadas hifas por un procedimiento de crecimiento apical”³. Esta definición es aceptable con la única limitación de que existen otros organismos, que ahora se han separado de los hongos, y que adquirieron el mismo hábito de crecimiento por

El Dr. José Ruiz Herrera es investigador titular del Departamento de Ingeniería Genética de la Unidad Irapuato del Cinvestav.



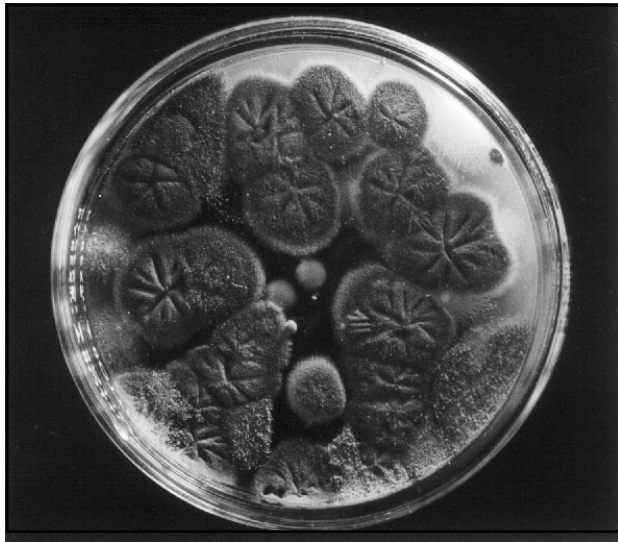
evolución paralela. Examinar sus diferencias finas con los hongos sería demasiado largo y de escasa importancia para los no-especialistas.

Para entender las razones de esta confusión, debemos recordar que ya avanzado el siglo XX se consideraba la existencia de dos reinos de organismos vivos en la naturaleza: el vegetal y el animal. La diferencia fundamental en esta clasificación radicaba en el concepto de movilidad: las plantas son sésiles y los animales móviles. En esos dos reinos se incorporaban organismos extraordinariamente variados, con la única condición de que cumplieren con el criterio mencionado, lo cual condujo a numerosos conflictos taxonómicos.

Cuando Linneo intentó clasificar a las bacterias descubiertas por Leeuwenhoek en el siglo XVII, se encontró con tan severos problemas que decidió introducirlas en un grupo que llamó *Chaos infusorium*. Este nombre indica el estado de confusión en la taxonomía de la época. Ya en el siglo XIX, y con más visión, Cohn colocó a las bacterias dentro de los hongos, en un grupo llamado hongos anormales o *Schizomycetes*. Dado que era imposible aplicar la definición de especie (aquellos organismos que pueden cruzarse produciendo descendencia fértil) a las bacterias, y siguiendo el modelo binomial linneano, Cohn las clasificó en especies de acuerdo con un sistema inventado para los hongos (y las especies extintas): una especie correspondía a un prototipo

morfológico. Para entonces ya los hongos se clasificaban dentro de las plantas, por su incapacidad de movimiento y sus semejanzas anatómicas: si las plantas tienen raíces, un tallo, y estructuras aéreas donde se forman las semillas, los hongos tienen unas estructuras ramificadas que se introducen en el substrato para extraer nutrientes, poseen un talo aéreo que emerge de dicho substrato y estructuras también aéreas, algunas de ellas muy complicadas y multicolores, como son las setas que vemos en el campo, y en las cuales se forman las esporas.

A mediados del siglo XX sobrevino la primera revolución taxonómica cuando diversos autores concluyeron que se podían distinguir dos tipos de organización celular en todos los organismos. La característica más notable era la presencia de un núcleo verdadero, rodeado por una membrana. Para su confirmación se requirieron, por supuesto, notables avances en las técnicas de observación microscópica, y eventualmente la invención del microscopio electrónico. Con ello los organismos se reclasificaron en procariotes, aquellos cuyas células carecían de un verdadero núcleo, y eucariotes con núcleo verdadero. Las diferencias, sin embargo, no se reducían al núcleo: sólo los eucariotes poseían un sistema endomembranal y organelos como mitocondrias y cloroplastos, entre las más notables; aunque cabe decir que la lista de diferencias es extensa. Esta división separó a las bacterias de los hongos, ya que las primeras son procariotes y los hongos son



eucariotes, pero éstos siguieron siendo considerados como vegetales. Más adelante los hongos fueron elevados al notable reconocimiento de *reino*, al ser considerados diferentes de las plantas: por su incapacidad para usar la luz como fuente de energía (fotosíntesis), por la composición química de su pared celular; y aún más, lo que originalmente se había considerado como semejanzas anatómicas, ahora se veía como diferencias infranqueables. En esta nueva taxonomía se reconocían cinco reinos: hongos, bacterias y protozoarios, además de plantas y animales. Esta taxonomía no se considera válida actualmente.

Dominios

¿Cuál es la filosofía y cuáles son los métodos de que se han valido los investigadores para revolucionar aún más la taxonomía? En primer término se considera que son más importantes las relaciones filogenéticas que los caracteres morfológicos secundarios para clasificar los organismos. En segundo lugar, se han tratado de comparar las características bioquímicas, y los cambios lentos que han ocurrido en algunas macromoléculas durante su evolución, principalmente asociados a diferentes DNA y proteínas. Esta metodología ha llevado a considerar la existencia de tres “super-reinos” o dominios: bacterias y arqueas, que son procariotes, y los eucariotes. Entre éstos se distinguen cinco reinos: plantas, animales, alveolados, stramenopiles y hongos. Como consecuencia

de estos cambios taxonómicos, los hongos han ido perdiendo grandes grupos que antes se clasificaban dentro de su dominio.

¿Cuál ha sido la importancia de los hongos en el contexto evolutivo? Baste decir que la mayoría de los expertos considera que los hongos fueron los “inventores” de la pluricelularidad: un carácter fundamental que permitió el desarrollo de tejidos y órganos que constituyen a las plantas y animales. Además de ello, existen datos que indican que los hongos fueron los primeros organismos eucarióticos que salieron de las aguas donde nació la vida para conquistar la tierra firme. No sólo eso, sino que los hongos permitieron también el establecimiento terrestre de las plantas, y con ello indirectamente de los animales que se nutren de ellas, mediante la formación de micorrizas, como se indicará más adelante. La “salida de las aguas” la reproducen actualmente los hongos para llevar a cabo su reproducción. Los hongos crecen sumergidos en una capa acuosa, independientemente si el medio es acuático o terrestre. Los nutrientes pasan a través de toda la superficie de sus hifas (cuyo conjunto se llama micelio). Para ello, esa superficie debe tener afinidad con el agua, es decir, ser hidrofílica. Pero al formarse las estructuras reproductivas, éstas deben orientarse hacia el aire y abandonar el medio acuoso. Para llevar a cabo la hazaña mecánica de romper la tensión superficial, los hongos forman unas sustancias hidrofóbicas (que repelen al agua), las hidrofobinas, que recubren la superficie de las hifas y les permiten salir del agua secas y escurridas.

Relaciones simbióticas

El impacto de los hongos en la evolución terrestre de las plantas se basó en su capacidad para desarrollar relaciones simbióticas con las raíces, desde las más simples y primitivas hasta las más complicadas, así como con las algas para formar los líquenes. Esta relación simbiótica, que se inició hace cerca de 500 millones de años, está tan extendida que se calcula que el 95% de las plantas vasculares poseen micorrizas. Los hongos en las micorrizas obtienen de la planta material hidrocarbonado para su nutrición, y ellos a su vez sirven de pelos radiculares a las plantas, lo que les permite absorber material nitrogenado y minerales del suelo. Sin los hongos, las plantas o no crecerían, o lo harían muy ineficientemente. Sin los hongos micorrizicos, la invasión de la tierra por los

vegetales, y con ello toda evolución de la vida como la conocemos, hubiese sido imposible. Otros hongos también establecen relaciones mutualistas con animales. Un ejemplo es la relación que han establecido con hormigas que los cultivan y utilizan como alimento. Al mudarse de hormiguero, las hormigas llevan consigo esporas de “sus” hongos para cultivarlos en su nuevo domicilio. Otras asociaciones son las que han establecido con los herbívoros para digerir la celulosa, con larvas de insectos acuáticos y crustáceos marinos, y con diversos insectos, además de las hormigas. De hecho, cada día se descubren más de estas insospechadas asociaciones.

Colonizadores

En medios naturales, las características de crecimiento de los hongos los convierten en los colonizadores más eficientes. Los hongos son organismos modulares. A partir de un propágulo inicial forman una “colonia” por el continuo crecimiento de las hifas, las cuales tienen un diámetro microscópico diez a cien veces menor a un milímetro. Este crecimiento es apical, es decir, ocurre radialmente, pero está restringido a la punta de las hifas. Las hifas se ramifican e invaden toda la superficie. Si los nutrientes se agotan, la colonia envía “hifas exploradoras” hasta encontrar nuevas fuentes nutritivas. Se sabe que hongos parásitos, que sólo crecen sobre árboles vivos, pueden enviar hifas de ese tipo hasta localizar nuevas presas situadas a decenas de metros de distancia. Para ello deben poder guiarse por señales específicas y bombear los nutrientes desde el árbol colonizado que sirve de base de la exploración hasta el extremo de las hifas.

A ciertos intervalos, y en respuesta a varios estímulos, las colonias de los hongos producen esporas, que son el equivalente de la semilla, y que permiten su dispersión y preservación. Las esporas germinarán en condiciones adecuadas para formar nuevas colonias. Las colonias circulares de los hongos pueden ser vistas en alimentos o frutos contaminados, en la superficie de la piel en las micosis cutáneas, o en el campo, en los llamados “corros de brujas” que son círculos de setas (cuerpos fructíferos) de colonias subterráneas que miden ¡hasta 200 m de diámetro! y pueden tener cerca de 500 años de antigüedad. En el estado de Washington, EUA, se describió una colonia de un hongo que cubría 1500 acres y cuya edad se calculó en cerca de 1000 años, ¡y aún

sigue creciendo! ¡Y todavía nos asombramos del tamaño y longevidad de ballenas y secuoyas!

Villanos y héroes

Los hongos son los destructores más implacables de materia orgánica que existen en la naturaleza. Esta actividad puede ser considerada indeseable si se desea preservar el material que es atacado por ellos. Pero en los ciclos de la naturaleza, en donde lo que muere debe ser degradado para que los ciclos de la vida continúen, su papel es vital. Baste sólo señalar que los hongos son los únicos organismos capaces de degradar a la lignina que constituye un componente fundamental de la madera, junto con la celulosa. Dramatizando el impacto de la acción fúngica en el mantenimiento de los ciclos vitales del planeta, Dodge señaló que a la muerte del último vegetal o animal en la Tierra, siempre habría un hongo encargado de descomponer su materia orgánica.

Desde una visión antropocéntrica, los hongos pueden ser villanos o héroes. Su capacidad patogénica hacia todos los vegetales, cultivados y silvestres, provoca graves pérdidas en el campo, al igual que su actividad degradativa durante el almacenamiento. En los animales, incluido el hombre, los hongos producen micosis superficiales o profundas, las cuales se consideraban hasta hace poco de mediana morbilidad, baja mortalidad y exclusivas de las clases pobres de los países tropicales. Este concepto ha cambiado, ya que las micosis han proliferado en los países ricos, sobre todo en enfermos sujetos a largos tratamientos con antibióticos o drogas inmunosupresoras, o con enfermedades crónicas como la diabetes, o virales, particularmente el SIDA. Son además las infecciones intrahospitalarias de más rápido incremento. El problema se agrava por la carencia de antimicóticos eficientes. Quizás, el hecho de que las micosis fueran consideradas enfermedades de países pobres no estimuló su estudio por las grandes compañías farmacéuticas, algo que empiezan a lamentar ahora.

Diversas características de los hongos los convierten en agresivos patógenos: su capacidad de penetrar la piel sana, de destruir los tejidos superficiales e integumentos mediante enzimas casi exclusivas de ellos como la queratinasa; su capacidad de crecer en forma de micelio, con un avance tipo *blitzkrieg* sobre las defensas del



huésped; su escasa capacidad antigénica, que impide montar defensas inmunológicas, y por el contrario sí inducir cuadros alérgicos; su capacidad de crecer dentro de células inmunitarias del huésped sin ser destruidos; su capacidad de cambiar de forma de crecimiento de micelio a levadura. Otros hongos no son en sí patógenos, pero producen peligrosas toxinas, de las cuales las aflatoxinas son las más problemáticas. Schachter ha descrito algunas características sobre la patogénesis de los hongos que rayan en los límites de la ciencia ficción. Describe así un hongo fitopatógeno que induce cambios en la planta invadida, cuyas hojas adquieren la organización y color de las flores y en cuya superficie dulce y pegajosa crece el hongo formando esporas. Estas pseudo-flores atraen insectos que al libar la miel, en vez de polen transportan las esporas del hongo a otras plantas, que son así invadidas. Más extraño aún es el caso de hongos que atacan insectos que normalmente viven enterrados en el suelo. Los insectos infectados cambian su conducta de forma sorprendente. Abandonan sus tradicionales madrigueras que les sirven de refugio, y suben a los árboles donde se fijan hasta morir, cubiertos literalmente por

millones de esporas, que pueden ser así dispersadas por el viento y el agua. Existen entre los hongos análogos de las plantas carnívoras. Estos hongos del suelo atrapan a pequeños gusanos llamados nemátodos por medio de trampas muy ingeniosas. Algunas tienen forma de bastones pegajosos que se unen tenazmente a la superficie de los nemátodos impidiendo que escapen. Los desesperados movimientos del animal sólo conducen a que se peguen a un número mayor de trampas. Otros hongos forman lazos hechos de tres células. Al tocar a dos o tres de ellas, el nemátodo dispara un mecanismo de hinchamiento de las células, lo que cierra el lazo y estrangula al nemátodo que queda imposibilitado de escapar. En éste, y en el caso anterior, el hongo crece en el interior del animal, que le sirve de alimento.

Si éste es el papel de villano, el de héroe lo juegan los hongos mediante la producción de antibióticos. Debemos recordar que la penicilina, el primero y el más perfecto antibiótico conocido, que ha salvado millones de vidas humanas, se obtiene a partir de hongos, al igual que toda la familia de sus derivados. Pero no son sólo

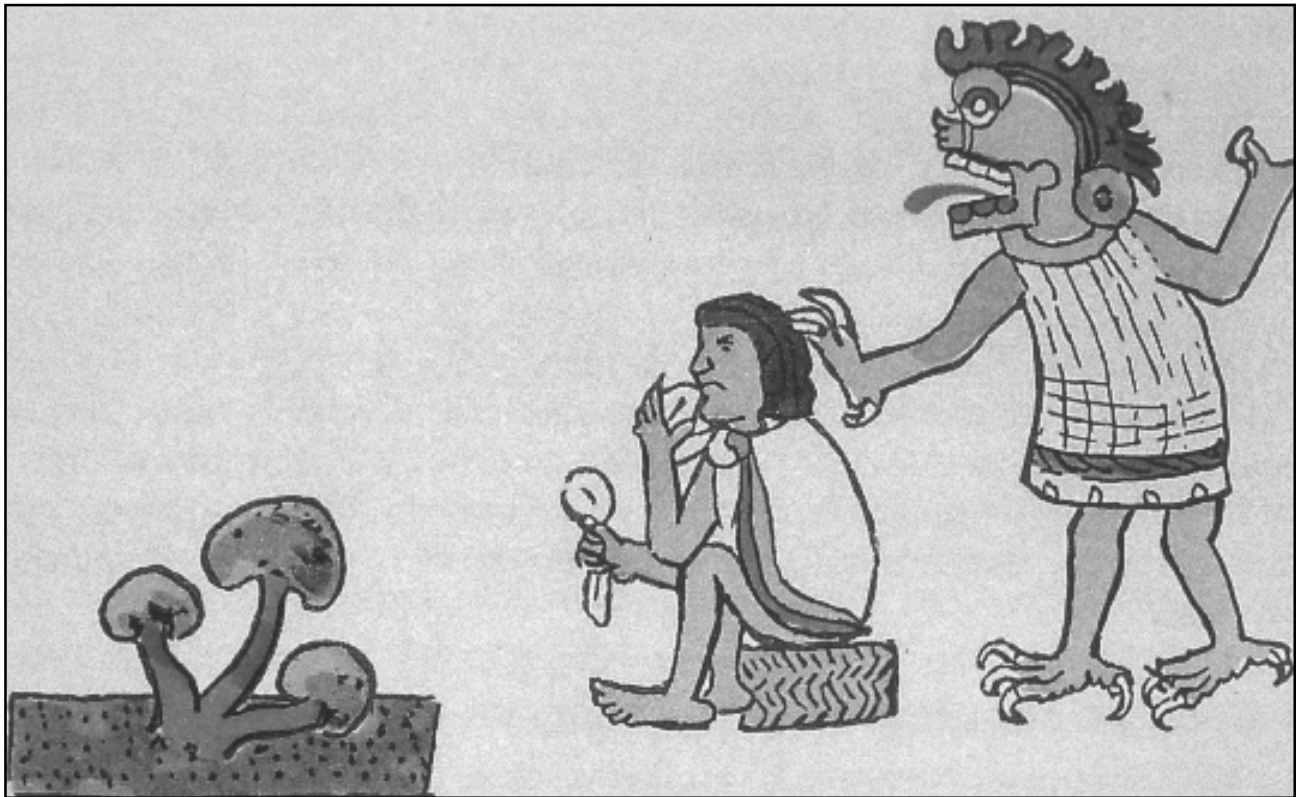


Figura 1. Representación de Teo-nanacatl y un individuo consumiendo hongos alucinógenos. Códice Magliabecchian.

antibióticos; los hongos producen también una inmensa variedad de productos útiles en la medicina y la industria: vitaminas, sustitutos de plasma, anticancerígenos, aceleradores de la cicatrización, metabolitos secundarios, enzimas, múltiples proteínas heterólogas, polisacáridos, ácidos orgánicos, y un largo etcétera. Por otro lado, es importante tomar en cuenta que lo que podría ser considerado en ciertas circunstancias como una propiedad nociva de los hongos, como lo es su capacidad patogénica, bajo otras adquiere características utilitarias. Los hongos que infectan insectos o atrapan nemátodos pueden ser empleados en programas de control biológico de diversas plagas, reduciendo con ello el uso masivo de fungicidas, con los consiguientes beneficios ecológicos. Se dice que “perro no come carne de perro”, pero los hongos no respetan esta máxima, y pueden atacar a otros hongos. Si las presas son hongos fitopatógenos, salta a la vista que los primeros pueden usarse también en el desarrollo de programas de control biológico contra los segundos.

Los hongos son también alimento. Han permitido la elaboración del pan y se consumen masivamente como

los champiñones, en alimentos tradicionales como el pozol, en antojitos, o como *delicatessen*, entre los cuales las trufas constituyen el *súmmum*. Y los hongos han brindado al ser humano el placer de acompañar el pan diario con la bebida, permitiendo la elaboración de los vinos y licores, la cerveza, y toda la inmensa variedad de bebidas fermentadas tradicionales de cada pueblo. Como alimento espiritual, los brujos de diversas culturas mesoamericanas utilizaban a los hongos alucinógenos para la cura de ciertas dolencias y problemas mentales. No debe extrañar que los hongos fuesen venerados, y que su uso estuviese regido por una deidad, *teo-nanacatl*, que en tiempos modernos se convirtió en el santo *Nanacatl* de la zona mixteca (figura 1).

El estudio de los hongos ha sido realizado por científicos de los campos más diversos. Los naturalistas han sido fascinados por la inmensa variedad de forma y color de los cuerpos fructíferos, que han sido coleccionados y clasificados mediante incansables excursiones a todos los rincones del mundo. A los bioquímicos, los hongos les permitieron demostrar los mecanismos de

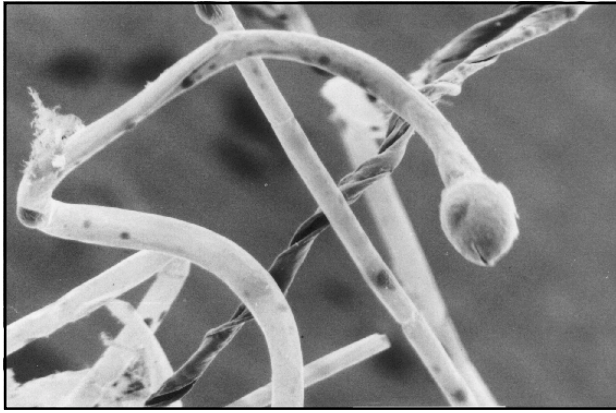


Figura 2. Esporangióforos y esporangios del hongo *Phycomyces blakesleeanus*. Microscopía electrónica de barrido.

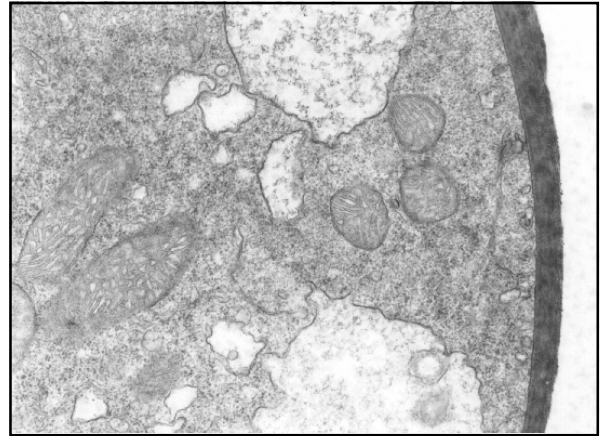


Figura 3. Estructura sub-celular del hongo *Mucor rouxii*. Microscopía electrónica de transmisión.

degradación de las fuentes de carbono, y el metabolismo intermediario. Estos estudios sirvieron de base para establecer el concepto de la unidad bioquímica de todos los seres vivos. A los genéticos les sirvieron para establecer cuál es la función bioquímica de los genes, mediante la demostración de que cada gen codifica la síntesis de una enzima; y más recientemente, fue un hongo el organismo eucariótico del que primero conocimos la secuencia total de su material hereditario, que constituye el primer capítulo en la búsqueda de la secuencia de nuestro propio genomio.

Perspectivas

Actualmente se puede decir que el estudio de los hongos está enfocado desde puntos de vista aplicativos y básicos. Los primeros se dirigen tanto para controlar sus aspectos nocivos, como para explotar sus características utilitarias. Los segundos tienen como objetivo su utilización para la comprensión de los fenómenos básicos de la biología de los animales y las plantas, partiendo de la base de que son los eucariotes más simples y fáciles de manipular en el laboratorio. A otros científicos nos fascina además el estudio de los hongos por sí mismos, y por el gran número de propiedades tan particulares de este reino de organismos; por ejemplo: cómo ocurre el crecimiento apical, cuáles son y cómo se establecen las propiedades fractales de las colonias de hongos, qué factores limitan su crecimiento y cómo se consumen los nutrientes durante la colonización, cómo se forman sus estructuras características, por ejemplo la pared celular, qué regula las alteraciones que inducen en el desarrollo y conducta

de otros organismos, e incluso cómo se regula su propio comportamiento. En este último sentido no puedo resistir la tentación de comentar algo sobre el comportamiento del esporóforo (la hifa que sostienen a las esporas) de algunos hongos. Esta estructura muestra reacciones conductuales extraordinarias: puede orientarse hacia un rayo de luz tan débil como el de una estrella o en contra de suaves corrientes de aire, puede alejarse del campo gravitacional de la tierra o evitar objetos cercanos, independientemente de su naturaleza y en la total obscuridad. Este fascinante ejemplo muestra que el origen de la conducta es bastante más primitivo de lo supuesto.

No cabe duda que el reino de los hongos es asombroso, y siendo real, ofrece un mayor número de sorpresas que las que tuvo Alicia en el imaginario país de las maravillas. Seguramente que muchos de sus secretos se revelarán en el futuro próximo a los científicos que los estudiamos, para beneficio de la ciencia y sus aplicaciones tecnológicas; pero otros más seguirán ocultos para atraer a un número creciente de jóvenes que respondan al llamado de la ciencia por sí misma.



Notas

1. C.J. Alexopoulos, *Introductory Microbiology* (Wiley, Nueva York, 1962).
2. M. Ulloa, *Diccionario Ilustrado de Micología* (UNAM, 1991).
3. S. Bartnicki, en *A Century of Micology* (Cambridge Univ. Press, Cambridge, 1996).