

HONGOS LUMINOSOS

por Ernesto Arrondo Odriozola

El hombre primitivo tenía tendencia a mitificar, e incluso deificar, los fenómenos que actualmente tienen una explicación científica y que el hombre moderno considera normales. Sin embargo, en tiempos remotos, y debido a la escasez de conocimientos respecto al mundo natural, carecían de toda explicación lógica para aquellas sociedades primitivas.

En distintas culturas se deificó al sol, la luna, los rayos, las nubes e incluso los árboles. Estos han sido considerados sagrados por nuestros ancestros.

El tema adquiriría caracteres enigmáticos cuando observaban, en pleno bosque, troncos de árboles caídos que producían una diáfana luz. El reflejo observado en árboles caídos, envejecidos o en putrefacción, ha dado pie a múltiples creencias sobre los poderes mágicos de los árboles en todas las culturas primitivas, dando origen a leyendas, mitos e incluso poemas escritos. Hoy en día, se sabe que la luminosidad producida se debe al micelio luminiscente de ciertos hongos que colonizan la madera.

Pero no solamente en tierra firme pueden observarse estos raros fenómenos. En las noches serenas de los mares cálidos, amplias áreas de su superficie son iluminadas por multitud de puntitos brillantes, que intermitentemente se encienden y apagan. Este peculiar fenómeno es debido a un dinoflagelado denominado *Noctiluca scintillans* (= *N. miliaris*) que, en colonias de millones de individuos, puebla aquellas aguas.

En fechas relativamente recientes, los oceanógrafos quedaron perplejos al comprobar que algunos animales, que vivían en el reino de las tinieblas de las profundidades abisales, poseían órganos luminosos. De la misma manera, en tierra firme, diversos seres de organización más compleja pueden también emitir luz.

Todo el mundo conoce las llamadas luciérnagas o gusanos de luz (*Lampyris noctiluca*), cuya hembra, en las noches estivales, enciende la pequeña antorcha situada en su abdomen. Es la llamada luminosa a su amante, que repetirá incesantemente toda la noche hasta que acuda el esperado consorte.

Los organismos luminosos pertenecen a grupos botánicos y zoológicos muy diversos: bacterias, dinoflagelados, radiolarios, cnidarios, ctenóforos, turbelarios, oligoquetos, poliquetos, nemertinos, enteropneustos, gasterópodos, lamelibranquios, cefalópodos, crustáceos, miriápodos, insectos, ofiuroideos, tunicados y peces.

Algunos de los animales superiores terrestres considerados como luminiscentes, no son luminosos por sí mismos, pues la luminosidad que ha podido observarse en la pechuga y muslos de la garza, así como en el plumaje del buho no es, propiamente, una emanación lumínica dependiente de la actividad vital de estas aves, sino producida por ciertas bacterias luminosas que viven sobre ellas.

También los hongos

Naturalmente, entre la relación exhaustiva de seres luminosos, no podían faltar los hongos, tema central de estas líneas.

La mayoría de los hongos luminiscentes pertenecen a los Basidiomicetes. Los géneros más comunes que presentan esta curiosa propiedad son: *Omphalotus*, *Pleurotus*, *Mycena*, *Poromyceia*, *Dictyopanus*, *Clitocybe*, *Panellus*..., todos ellos Agaricales, aunque también los hay entre las Afiloforales e incluso entre las Falales.

Los más abundantes, tanto en especies diferentes como en cantidad, son los de los trópicos, particularmente en Melanesia (Oceanía), en donde se los considera comunes. Durante la Segunda Guerra Mundial, un reportero americano en Nueva Guinea, informaba a su esposa: "te estoy escribiendo esta carta a la luz de unos hongos". También son conocidos en las franjas tropicales de América meridional y Extremo Oriente. Sin embargo el África negra es pobre en tales especies.

Las especies exóticas emisoras de luz más conocidas son, sin duda, *Pleurotus japonicus* Kaw. y *Mycena lux-coeli*, cuyo nombre específico es bien significativo.

En nuestra vieja Europa también están representados los hongos que poseen esta cualidad, pero su número es más bien escaso.

Lo realmente curioso es que, dependiendo de las especies, la luminiscencia se presenta bien en el carpóforo, bien en el micelio, o en ambos. Mientras que en los trópicos son más comunes los carpóforos que emiten luz, en las zonas templadas son los micelios o cordones miceliares los que predominan.

Ya hemos dicho que en Europa estos hongos son escasos; pero algunos de ellos son muy conocidos, como es el caso de *Armillariella mellea* Karsten. Este peligroso hongo agarical, que causa la podredumbre de muchos árboles por él atacados, es bien conocido y estudiado en Fitopatología. Sus largas rizomorfas negras invaden la madera, y debido a las propiedades del hongo, aquella parece resplandecer en la oscuridad. Ello se acentúa cuando el micelio es joven. Todo lo antedicho se puede comprobar en el laboratorio, observando madera invadida por el micelio o preparando cultivos miceliares.

Se ha comprobado asimismo que *Armillariella tabescens* Singer, a la que podríamos definir como una *A. mellea* privada de anillo, tiene rizomorfas con las mismas propiedades luminosas. Esto nos hace aventurar que todas las especies del género *Armillariella*, muy emparentadas entre sí, pueden tener las mismas características. Naturalmente, ésto es una simple hipótesis que ha de ser demostrada. Así pues, las distintas *Armillariella*: *A. ectypa* Singer, *A. nigropunctata* Singer, *A. polymyces* Singer et Clem., *A. obscura* Romagnesi, *A. ostoyae* Romagnesi, y *A. bulbosa* Romagnesi, constituyen un magnífico campo de investigación para los micólogos que deseen especializarse en tan atrayente tema.

Otro de los ejemplos clásicos europeos es *Omphalotus olearius* Singer, en el cual, a diferencia de las *Armillariella* citadas, no es el micelio el luminiscente, sino el himenio de los carpóforos. El fenómeno, en efecto, está ligado a las células del subhimenio. Las dos variedades taxonómicas: *illudens* y *zizyphinus*, también se caracterizan por esta intensa emisión de luz, de tonalidades azulverdosas.

Otros casos los encontramos en el género *Mycena*, de las que se han citado muchas especies, entre las que destacaremos: *Mycena tintinnabulum* (Fries) Quél, *Mycena parabolica* Fries y *Mycena rorida* Quél.

En esta última especie se da un caso curioso, ya que la forma europea, de basidios bispóricos, sólo es luminiscente a nivel de micelio, mientras que la forma con basidios tetraspóri-

cos de esta misma especie, muy común en Oceanía, lo es a nivel de carpóforos. También en otras especies se da un hecho parecido. Así, *Panellus stipticus* Karsten, muestra dos formas: la norteamericana, bispórica y luminiscente, y la europea, tetraspórica y no luminosa. No solamente en hongos se ha encontrado esta curiosa diferencia de comportamiento. También en el dinoflagelado *Noctricula scintillans* existen sendas variedades con posible segregación geográfica, una productora de luz y otra no luminosa. Por otra parte, hay bastantes casos de especies próximas entre sí, de las cuales una da luz y la otra no.

¿A qué es debida esta diferencia? Los investigadores no se ponen de acuerdo. Unos aluden a las condiciones térmicas óptimas, las cuales difieren según las especies o sus variedades. Otros lo achacan a condiciones tróficas favorables. Y finalmente otros defienden que la pretendida luminiscencia de algunas especies, es debida a bacterias luminiscentes que invaden los carpóforos y micelios. Esta última hipótesis parece cierta en algunos casos citados en la literatura micológica. A muchas especies se les ha atribuido una supuesta luminiscencia, que merecería la pena se confirmase. Entre estas especies, llamémoslas dudosas, citaremos algunas: *Collybia tuberosa*, *C. cirrhata*, *Naucoria semiorbicularis*, *Phellinus pini*, *Polyporus sulphureus*, *Pulcherricium coeruleum*, *Corticium lacteum*, *Xylaria hypoxylon*...

Función

Pero ¿cuál es el significado biológico de la luminiscencia? ¿Qué función realiza? Estas preguntas y otras parecidas, son motivo de gran controversia entre los científicos. Se barajan múltiples hipótesis, pero el tema todavía no está claro y constituye hoy en día un reto científico.

En ciertos casos anteriormente citados, como las luciérnagas, peces abisales etc., la bioluminiscencia puede servir para el reconocimiento entre individuos de la misma especie o para la captura de presas con señuelo.

Pero ¿que utilización puede tener para el resto de los seres bioluminiscentes, y en concreto para los hongos? ¿Por qué los carpóforos y los micelios de ciertos hongos se iluminan?

Podría sugerirse que, en el caso de los carpóforos luminiscentes, fuera una atracción para los insectos nocturnos, y su papel consistiría en facilitar la diseminación de las esporas del hongo. Pero ¿y los micelios?. Estos ¡no poseen esporas! Pero, vayamos por partes. Antes de intentar sacar conclusiones analicemos el mecanismo de la Bioluminiscencia.

El mecanismo

Todos los seres vivos tienen necesidad ineludible de energía para realizar sus funciones vitales. Como sabemos, esta energía lumínica procede del sol, y los organismos autótrofos la transforman en energía química mediante el gran milagro de la fotosíntesis. Posteriormente, esta energía, almacenada en los enlaces químicos de las moléculas de hidratos de carbono, pasa a los organismos heterótrofos, y es utilizada por ellos una vez liberada mediante procesos oxidativos.

La energía incorporada en las mitocondrias celulares en forma de ATP (adenosín-trifosfato), se emplea, una vez liberada, primordialmente en la producción de trabajo mecánico y reacciones químicas, con producción de calor como subproducto de la reacción.

Pero también la energía acumulada en el ATP puede manifestarse de otras dos maneras que, aunque no muy comunes, no dejan de tener gran importancia biológica.

Una de ellas es la Bioelectricidad, o producción de electricidad por parte de algunos seres, como ciertos Seláceos y Teleósteos.

Otra manifestación es la producción de luz o Bioluminiscencia, debida a la oxidación de un substrato adecuado y a la interacción de dos sustancias específicas que adoptan los demoníacos nombres de *luciferina* y *luciferasa*.

El rendimiento de esta combustión es muy elevado, ya que es mínima la cantidad de energía que se pierde como radiación térmica. A pesar de ser engendrada en una combustión, no es capaz de elevar la temperatura ni siquiera una millonésima de grado. Es por tanto una llama que no da calor, siendo conocida como "luz fría".

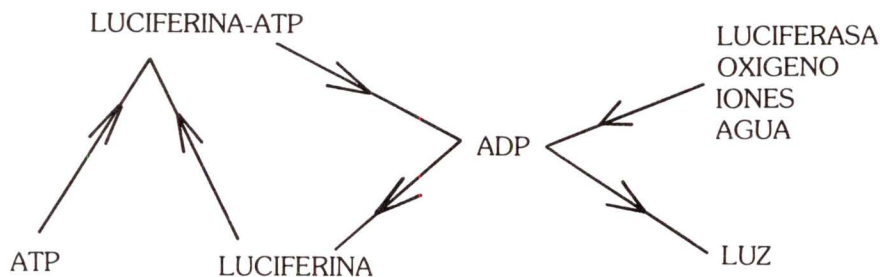
La Bioluminiscencia se encuentra a menudo bajo control del sistema nervioso; esto naturalmente en los seres que lo poseen. Obviamente éste no es el caso de los hongos luminiscentes, al no poseer éstos una organización tan compleja.

El mecanismo de la producción de luz por parte de los seres vivos responde esencialmente a un mismo modelo general. Consta por lo menos de seis componentes: el citado ATP, o mejor, el sistema ADP-ATP, vector de energía universal para todos los organismos vivos, las también enumeradas luciferina, que es una proteína específica y la luciferasa, un enzima o fermento oxidativo, así como la participación de oxígeno indispensable en todo proceso oxidativo y por último, agua e iones orgánicos. La luciferina y la luciferasa pueden extraerse de las células productoras de luz, pero no son luminosas por sí solas, precisando de la participación del resto de elementos enumerados para producirla.

Hay que hacer notar también, que la luciferina varía ligeramente en su composición, dependiendo de las distintas especies de seres vivos que la producen.

Si a la luciferina, que constituye el substrato específico, se le añade ATP, se forma el complejo luciferina-ATP. Si en presencia del oxígeno molecular e iones se añade una solución de luciferasa, la mezcla ¡emite luz!. Al mismo tiempo se consume el oxígeno y el ATP se convierte en ADP (adenosín difosfato). Si se añade más oxígeno y más ATP, vuelve a generarse luz. Evidentemente la producción de luz es un proceso que requiere oxígeno y que depende del ATP.

Podemos esquematizar el proceso de la forma siguiente:



En cierto modo, podríamos definir este proceso como una "fotosíntesis al revés". Me explicaré: en la fotosíntesis, la luz realiza reducciones orgánicas, desprendiendo oxígeno durante el proceso. En la bioluminiscencia, la oxidación de moléculas orgánicas con oxígeno molecular desprende luz.

También tiene similitudes con la respiración, ya que en ambos procesos se libera energía y en ambos es indispensable el oxígeno.

Características de la luz

La luz emitida por diferentes organismos puede ser de cualquier longitud de onda del espectro visible; es decir, para el ojo humano puede ser: roja, amarilla, verde o azul. Sin embargo tiene su máximo entre 470 y 500 nanómetros, esto es: luz verdosa.

La longitud de onda de la emisión viene determinada probablemente por la constitución química particular de la luciferina. En algunos casos, en un mismo organismo pueden presentarse dos o más clases de luciferina, y tal organismo puede entonces producir luz de varios colores. Este es el caso del gusano-tren, perteneciente al género *Phrixothrix*, que proyecta una serie de colores: rojo, verde y amarillo, que lo convierten en un semáforo viviente.

En otros casos, el color aparente puede estar profundamente alterado por la presencia de cromatóforos o filtros ubicados delante de los órganos productores de luz, como en algunos cefalópodos gigantes abisales.

Sin embargo, tanto en los carpóforos como en los micelios de los hongos, el tema es más simple, ya que generalmente emiten una luz de tonalidades blanquecinas o verdeazuladas, en consecuencia, no monocromática.

Las escasas mediciones que se han efectuado, referentes a la longitud de onda luminosa, indican que sus colores constituyentes están comprendidos entre 480 a 610 nanómetros, es decir del azul al naranja del espectro electromagnético.

La intensidad y persistencia de la luminosidad están íntimamente relacionadas con las condiciones ambientales, principalmente con la temperatura y el grado de humedad. A temperaturas bajas o heladas, la luminosidad disminuye. Lo mismo ocurre cuando éstas son excesivamente altas. La temperatura óptima para el máximo de luminosidad está comprendida entre 10° y 25° centígrados.

La desecación es un factor desfavorable, que reduce considerablemente la producción de luz. Sin embargo, ésta puede ser restaurada tras un previo rehumedecido.

Precisamente en este último aspecto, quien ésto escribe quiere aportar su humilde experiencia personal: Hace algunos años en Abalziketa, una pequeña población guipuzcoana, recogí unos magníficos ejemplares agrupados de *Omphalotus olearius* Singer, una seta controvertida no sólo por su posición sistemática, ya que ha estado clasificada en diversos géneros (*Agaricus*, *Clitocybe*, *Pleurotus*) sino por su a veces discutida luminosidad. Esto último fue precisamente lo que quise averiguar por mí mismo. Había leído en libros elementales sobre su pretendida luminiscencia, incluso se contaban bonitas anécdotas, como la que dice que en la primera guerra mundial, había soldados que en las trincheras podían leer cartas a la luz que daban estas setas sin llamar la atención del enemigo. ¿Qué habría de verdad en todo esto? Colgué del techo de una oscura habitación los "olearius". Esperé, ¡nada!, no emitían luz. Mi escepticismo fue en aumento conforme visitaba hora tras hora la oscura estancia. ¡Los libros mienten! pensé. Al día siguiente volví a mis observaciones con el mismo resultado. El tercer día se me ocurrió rociar con agua el racimo. Horas más tarde, aquella habitación se había iluminado levemente con la ténue luz verdosa que emitía el hongo.

La luminosidad es una propiedad de los tejidos vivos. Esto se constató cuando, intentando obtener jugos luminosos de los hongos con estas propiedades, los resultados fueron nulos. Con esto se demostró que, para la producción de luz, es necesario que las células permanezcan enteras. La luminiscencia se pierde si un carpóforo luminoso se seca, aplasta o pulveriza.

Evolución

La facultad de producir luz se ha desarrollado independientemente varias veces a lo largo de la evolución en diversas series filéticas. Es la llamada "convergencia adaptativa". Pero, a pesar de que la parte esencial en el mecanismo generador de luz es la misma, como ya hemos visto, esto no quiere decir que haya tenido siempre el mismo significado.

Para algunos organismos, en algún punto de su evolución, la producción de luz debió haberles conferido ciertas ventajas, como la probabilidad de supervivencia, y ha sido recogida por selección natural.

El ejemplo clásico es el de las luciérnagas, cuyos destellos constituyen señales utilizables en su vida sexual. En este caso, la bioluminiscencia ha adquirido una función útil.

Sin embargo, en la mayoría de organismos luminiscentes, esta propiedad es probablemente un subproducto accidental de intercambio de energía y no tiene ninguna función específica, como ocurre con los hongos.

En efecto, en los hongos luminosos la biofotogénesis pudiera muy bien haber sido un mecanismo de eliminación del oxígeno tóxico en sistemas exclusivamente anaerobios, fundándose dicha suposición en que se trata de una reacción que consume oxígeno.

Hace millones de años, cuando la vida primitiva hizo su aparición, las condiciones atmosféricas eran totalmente diferentes a las actuales. Los niveles de oxígeno eran extremadamente bajos. Los organismos vivientes de aquel entonces eran anaeróbicos. Con la evolución de la vida, el oxígeno ambiental fue aumentando, pero como éste es tóxico para la vida anaerobia, aquellos organismos, entre los que se encontraban los hongos primitivos, produjeron mecanismos para eliminarlo. Posiblemente uno de estos mecanismos fuera reducir el oxígeno del agua añadiendo un compuesto orgánico reductor. Lógicamente este proceso requiere liberación de energía, y si las unidades liberadas son relativamente largas, se produce emisión de luz.

Esta hipótesis, ciertamente lógica, no aclara sin embargo una serie de preguntas tales como: ¿por qué casi exclusivamente son los Basidiomicetes los que exhiben luminiscencia? ¿Por qué dentro de este grupo, sólo lo hacen unas pocas especies? ¿Por qué el resto de los grupos fúngicos dejaron esta capacidad siendo más antiguos evolutivamente?

Esperemos que un estudio exhaustivo del problema nos dé la contestación a éstas y otras muchas preguntas que sobre la luminiscencia de los hongos todavía permanecen sin respuesta.

Bibliografía

- ALEXOPOULOS, C.J. - "Introductory Mycology"
CHRISTENSEN, C.M. - "The Molds and Man"
COOKE, R.C. - "Fungi, man and his environment"
MARGALEF, R. - "Ecología"
MOREAU, F. - "Les champignons"
MULLER, E. y LOEFFLER, W. - "Mykologie"