





LOS HONGOS Y EL CAMBIO CLIMÁTICO

Adriana L. Romero Olivares

Un oso polar se sostiene de un pequeño pedazo de hielo que flota sobre el mar. Esa imagen se ha convertido en el ícono del calentamiento global. También es la que capturó mi atención a principios del milenio, cuando este fenómeno, hoy más comúnmente referido como “cambio climático”, comenzó a aparecer en los medios de comunicación. Ahora sabemos que no hay lugar de la Tierra que no esté siendo impactado por sus consecuencias. Pero pocos, quizá solo les micólogos (aquellos que estudiamos los hongos), pensamos en cómo el cambio climático está afectando a los hongos.

Los hongos son organismos únicos y especiales. Cuando hablamos de ellos, muchos piensan en hongos famosos como *Amanita*, el clásico hongo rojo con manchitas blancas; o quizá en alucinógenos como *Psilocybe*; algunos más desafortunados piensan en *Trichophyton* y el pie de atleta; otros, hambrientos, pensarán en *Ustilago*, el huitlacoche, o en *Agaricus*, el típico champiñón que encontramos en el supermercado. Pero los hongos son mucho más que pequeños cuerpos curiosos que pueden ser alucinógenos, agentes infecciosos y comida. En realidad, se trata de un organismo mucho más complejo y vasto conocido como *micelio*. Dependiendo del tipo de hongo, el micelio es invisible y se extiende de forma subterránea, o crece dentro de los tejidos de plantas y animales. Cuando las condiciones son adecuadas, algunos micelios conforman “cuerpos fructíferos”, que son los hongos que podemos ver, es decir, *Amanitas*, *Psilocybes*, *Ustilagos* o *Agaricus*. Pero otros solo hacen cuerpos fructíferos micros-

◀ Fotografía de Ron Otsu, 2020. Unsplash ©

cópicos, como *Trichophyton*. Nunca los vemos, sin embargo, sentimos su presencia cuando el pie se irrita y nos produce comezón. Así que debemos pensar los hongos de forma más amplia y no perder de vista el micelio, cuyo interior alberga el equipo enzimático con el que cuentan para transformar la materia, específicamente el carbono.

El carbono se encuentra en la atmósfera en forma de dióxido de carbono (CO_2), que es un gas de efecto invernadero. Sin él no podría haber vida en el planeta. Pero su exceso también podría acabar con ella. Por tanto, el carbono debe existir en un fino equilibrio, tal y como se presenta naturalmente. Las plantas adquieren CO_2 de la atmósfera y transforman ese carbono en biomasa vegetal (hojas, madera, flores y frutos). Esa biomasa cae al suelo al morir, se convierte en materia orgánica y es recibida por los saprobios de vida libre, es decir, hongos de micelio extenso que no viven en asociación con ningún otro organismo. El micelio prepara entonces sus enzimas y las expulsa de su cuerpo, de manera que estas empiezan a romper la materia orgánica en pedazos más pequeños, a través de un proceso que se conoce como *descomposición* o *degradación*. Una vez que las enzimas han terminado su trabajo, una parte de esa materia, que ya está lo suficientemente degradada, es absorbida por el micelio, que así se nutre y crece.

Durante la descomposición los hongos se alimentan a través de la transformación de carbono. Es decir, están cambiando la materia orgánica —que alguna vez fue CO_2 — en nutrientes que se convertirán en más micelio. Pero, como todo, ningún proceso es perfecto, pues el hongo utiliza muchísima energía, lo que resulta en tasas metabólicas elevadas y liberación de CO_2 . En otras palabras: no toda la



materia orgánica se convierte en micelio, pues una parte de esta transmuta de nuevo en CO_2 y otra se deposita en el suelo y forma lo que se conoce como *carbono orgánico*. En resumen, los hongos descomponen materia orgánica para nutrirse y crecer al tiempo que liberan CO_2 como consecuencia de su metabolismo y forman carbono orgánico. Este proceso, conocido como “ciclo del carbono”, podría resumirse de la siguiente manera: $\text{CO}_2 \rightarrow$ biomasa $\rightarrow$ materia orgánica $\rightarrow$ descomposición $\rightarrow$ micelio, $\text{CO}_2 \rightarrow$ carbono orgánico. Y aquí es donde la historia del reino fungi y el cambio climático convergen.

Los hongos no tienen la capacidad de controlar la temperatura de sus cuerpos, por lo que dependen por completo del ambiente externo. Si hace frío, están inactivos; pero al subir la temperatura se activan y comienzan a descomponer. Por esa razón, en algunos lugares del mundo con temperaturas constantes



©Amanda Cobbett, 2022. Cortesía de la artista

y clima templado, como en las áreas tropicales, los hongos siempre están activos. Sin embargo, en otros sitios como el hemisferio norte, donde hace frío extremo en invierno y los veranos son templados, los hongos no descomponen materia orgánica todo el tiempo.

En los lugares propicios para la descomposición de la materia orgánica suele abundar la vegetación. A través de miles de años, muchos árboles han nacido, crecido y muerto. En los veranos, los hongos descomponen un poco de la materia orgánica, pero como el proceso de degradación es lento, aún no han acabado cuando llega el frío que los inactiva. Al siguiente verano hay nuevos árboles que han muerto y nueva materia orgánica que descomponer. Así, el proceso comienza otra vez.

Cuando hay árboles nuevos, los hongos se enfocan en su nutriente favorito, algún tipo de azúcar fácil de descomponer y que les conceda mucha energía, pues en los árboles del año pa-

sado solo quedan los que requieren de mayor energía para ser descompuestos. Además, ciertos nutrientes son muy resistentes y, aunque los hongos lo intenten, no pueden obtenerlos —pero esto ya es terreno de complicados temas de fisicoquímica—. Entre los *nutrientes recalcitrantes* —así se les llama— está la lignina, que se encuentra muy comúnmente en el tronco de los árboles. Debido a todo lo anterior, se han ido acumulando cantidades exorbitantes de nutrientes, es decir, de carbono recalcitrante, en los suelos del hemisferio norte. Esta fracción del carbono orgánico es conocida como *reserva de carbono recalcitrante* y representa una fuente inmensa de CO₂.

Durante muchísimos años el ciclo del carbono estuvo en un relativo equilibrio. Pero desde el inicio de la era industrial las emisiones de CO₂ comenzaron a surgir de otras fuentes. Ya no solo son los hongos, sino también la minería, el ferrocarril, los automóviles, los aviones

y todo lo que la humanidad necesita y depende de la quema de combustibles fósiles que liberen CO₂ a la atmósfera. Ello viene acompañado de la tala desmedida de árboles en los bosques, que influye en el desbalance del ciclo del carbono: hay más emisiones de CO₂ y menos plantas que transformen ese CO₂ en biomasa, de manera que este gas comienza a acumularse en la atmósfera y a calentar el planeta. Hasta ahora la temperatura de la Tierra ha aumentado, en promedio, alrededor de un 1 °C en el último siglo.¹ Parece poco, pero ese aumento es responsable de varios de los desastres na-

peratura. La reserva de carbono recalcitrante y la potencial cantidad de CO₂ que se pudiera liberar a causa de todo lo anterior representa un enorme riesgo para el planeta. Y aunque la comunidad científica todavía no llega a un consenso sobre la importancia de las emisiones de CO₂ de los hongos en el cambio climático, las predicciones indican que el aumento de temperatura podría incrementar las tasas metabólicas de estos organismos y, por ende, las emisiones de CO₂ a la atmósfera. En consecuencia, podrían empeorar el efecto invernadero y el calentamiento global.

Los hongos están activos [...] más tiempo que antes. Por lo tanto, descomponen por más tiempo y emiten más CO₂.

turales que vemos y las crisis humanitarias que los acompañan.

Entonces, ¿cómo afecta el cambio climático a los hongos? Los del hemisferio norte, esos que están acostumbrados a inactivarse cuando empieza el frío, lo hacen más tarde de lo normal en el otoño y se reactivan más temprano en la primavera. Es decir, los hongos están activos en promedio más tiempo que antes,² por lo tanto, descomponen por más tiempo y emiten más CO₂. Además, están comenzando a descomponer carbono recalcitrante,³ pues este se ha vuelto accesible debido al aumento de la tem-

Por otro lado, el proceso de adaptación evolutiva es algo que no se comprende bien en los hongos de vida libre, aunque se cree que puede jugar un papel importante para determinar cuál será el destino del ciclo del carbono bajo el calentamiento global.

Algunos científicos piensan que los hongos adaptarán su metabolismo a las nuevas temperaturas y que podrán regularlo de tal forma que no esté en constante estado de aceleración. Eso llevaría, quizá, a un aumento en las tasas metabólicas durante los primeros años de cambios inusuales de temperatura. Pero con el tiempo los hongos se adaptarían, reducirían sus tasas metabólicas y, por tanto, las tasas de descomposición regresarían al nivel "normal". Una hipótesis alterna a esta contempla que los hongos no puedan ajustar sus tasas metabólicas a los aumentos de temperatura, lo que al final conduciría a un estado de estrés constante que afectaría el crecimiento del micelio y haría que las tasas de descom-

¹ Ver Rebecca Lindsey y Luann Dahlman, "Climate Change: Global Temperature", NOAA Climate.gov, 2023. Disponible en <https://bit.ly/3S4YSuE>

² H. Kauserud, E. Heegaard, M. A. Semenov, L. Boddy, R. Halvorsen, L. C. Stige, T. H. Sparks, A. C. Gange y N. C. Stenseth, "Climate change and spring-fruited fungi", *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences*, 2010, núm. 277, pp. 1169-1177.

³ Ver A. L. Romero-Olivares, S. D. Allison y K. K. Treseder, "Decomposition of recalcitrant carbon under experimental warming in boreal forest", *PLoS ONE*, 2017, núm. 12. Disponible en <https://bit.ly/3IIWiiv>

posición disminuyeran. El primer escenario significa un incremento inicial en las emisiones de CO_2 seguido de una aclimatación y, finalmente, el retorno a un estado metabólico y de descomposición “normal”. El otro escenario implica un aumento inicial en las emisiones de CO_2 seguido de un aumento en el estrés de los hongos y, finalmente, una disminución del tamaño del micelio —y por consecuencia, una disminución en las tasas de descomposición y de emisiones de CO_2 —. Si bien el segundo escenario parece positivo, debemos recordar que no solo los hongos utilizan los nutrientes liberados a través de su proceso de descomposición, sino una cantidad inmensa de biodiversidad, como plantas, bacterias, insectos y gusanos. Las repercusiones a la cadena trófica de esta posible interrupción no las conocemos. No obstante, de acuerdo a una investigación en la que participé junto a otros colegas, el segundo escenario es el más plausible.⁴

Los hongos, al igual que el resto de los organismos de la Tierra, están siendo afectados por el cambio climático, y este impacto tiene la capacidad de desbalancear el ciclo del carbono. Aunque las repercusiones son inciertas, los hongos han estado en este mundo desde hace 1000 millones de años y han mostrado ser seres adaptables y resilientes. El humano, por otro lado, apenas lleva en la Tierra alrededor de 200 mil años, así que cuando me preguntan si el cambio climático puede provocar la desaparición de los hongos, la respuesta es que seguramente no. Los hongos se adapta-



©Amanda Cobbett, *Lichen and fungi*, 2020.
Cortesía de la artista

rán y continuarán su relación con el ciclo del carbono. Cuando pensamos en cuidar el planeta, en disminuir nuestras emisiones de CO_2 , en buscar alternativas de energía limpia, en elegir políticos que tengan una agenda amigable con el ambiente, en primer lugar debemos hacerlo por nuestra especie, que no ha mostrado tener las capacidades que los hongos han mantenido durante millones de años.

Vivimos en conexión con todo lo que nos rodea, incluida la red de micelio a nuestros pies, aunque ella nos da más a nosotros que nosotros a ella. Por tanto, los hongos deberían ocupar indiscutiblemente nuestra atención cuando pensamos en acciones para controlar y mitigar los efectos del calentamiento global. Los hongos deberían ser nuestro oso polar. **U**

⁴ Ver A. L. Romero-Olivares, A. L., G. Meléndrez-Carballo, A. Lago-Lestón y K. K. Treseder, “Soil Metatranscriptomes Under Long-Term Experimental Warming and Drying: Fungi Allocate Resources to Cell Metabolic Maintenance Rather Than Decay”, *Frontiers in Microbiology*, 2019, vol. 10. Disponible en <https://bit.ly/2ZwbLF7>