





## LA REVOLUCIÓN FUTURA: BIORREMEDIACIÓN Y MICOMATERIALES

Abraham Sánchez Hernández

**D**esde hace siglos los hongos participan en la elaboración de dos de las bebidas más famosas del mundo: la cerveza y el vino. El organismo encargado de realizar el proceso de fermentación y producir alcohol es el hongo microscópico *Saccharomyces cerevisiae*, que comúnmente conocemos como *levadura de cerveza*. En 2018, en una cueva cerca de Haifa (Israel) se encontraron sedimentos con 13 milenios de antigüedad relacionados con la fabricación de cerveza. En cuanto al vino, en Georgia fueron descubiertos residuos en unas jarras con una edad de 8 mil años. Hay que destacar que en un principio la elaboración de bebidas alcohólicas se hacía de forma empírica, y que no fue hasta hace poco más de 150 años que Louis Pasteur identificó al *Saccharomyces cerevisiae* como responsable de la producción de etanol. Aparte de estar presente en tales procesos, la levadura de la cerveza también es responsable del pan, cuya masa se fermenta, genera  $\text{CO}_2$  y, por supuesto, etanol. Así, el gas ayuda al estiramiento de las fibras de gluten, mientras el alcohol se evapora al momento de la cocción.

Aunque son los hongos microscópicos los que tienen una relación más longeva con la especie humana, desde hace mucho tiempo en Oriente se cultivan hongos macroscópicos para utilizarlos como alimento. Uno de ellos es *Flammulina spp.*, conocido como "hongo de invierno" porque suele presentarse durante la temporada de nevadas, cuyos primeros cultivos

Puerta del Pabellón Creciente cubierta con paneles de micelio diseñados por Krown.bio, 2019. Fotografía de Eric Meander ©

parecen datar del año 800. También es bastante longevo el cultivo del shiitake (*Lentinula edodes*), mencionado por el magistrado Wang Zhen en un escrito del siglo XIV en China, donde se producía en troncos de madera.

Otro hito asociado a los hongos en nuestras sociedades es la invención de la penicilina, que se debe a un accidental descubrimiento realizado en 1928 por Alexander Fleming en Londres. Al regresar de un día festivo, Fleming encontró un moho creciendo en una caja de Petri que había sido sembrada con *Staphylococcus*, sin embargo, donde crecía el hongo no había presencia de bacterias. El científico dedujo entonces que el moho producía un compuesto

químico que era capaz de matarlas. Si bien durante los primeros años la producción de penicilina era muy deficiente, en 1941 la cepa fue llevada a Estados Unidos, donde el incremento exponencial de su cultivo garantizó que en la Segunda Guerra Mundial una gran cantidad de soldados no muriera a causa de heridas infectadas.

Recientemente los hongos se han vuelto protagonistas de algunos avances claves para el futuro de la humanidad debido a la versatilidad con la que pueden participar de diversos procesos químicos. Además de bebidas alcohólicas, alimentos y fármacos, los hongos pueden producir enzimas de uso industrial,



El Pabellón Creciente, diseñado y conceptualizado por Company New Heroes y Studio Klarenbeek & Dros, 2019. Fotografía de Eric Meander ©

## El procedimiento para la producción de micomateriales es el mismo que se utiliza para el cultivo de cualquier hongo comestible.

biocombustibles, micomateriales y emplearse como biorremediadores ambientales. Así que no es exagerado decir que están revolucionando el mundo.

### MICOMATERIALES

Los *micomateriales* son materiales biológicos hechos con hongos, que se emplean en actividades como la construcción, la manufactura, la agricultura y la biomedicina. Los hongos con los que se producen tienen una fase somática (micelio) que se compone de una gran cantidad de filamentos invisibles de un diámetro de entre uno y treinta micrómetros ( $\mu\text{m}$ ) y un largo casi indefinido, ya que crecen por el ápice y se van ramificando.

El procedimiento para la producción de micomateriales es el mismo que se utiliza para el cultivo de cualquier hongo comestible. Lo primero que se hace es inocular el micelio en un sustrato estéril y brindarle las condiciones de crecimiento adecuadas: evitar la competencia con otros organismos y proporcionarle humedad y temperatura idóneas. Entre los sustratos más usados podemos encontrar residuos de la agroindustria y de distintos cultivos como trigo, maíz, algodón, cáñamo, entre otros. Una vez que el micelio invade por completo el sustrato, se inactiva su crecimiento al someterlo a temperaturas altas y constantes para que perezca y se deshidrate. Los hongos más utilizados en estos procesos de producción pertenecen a los géneros *Ganoderma*, *Pleurotus* y *Trametes*.

Los micomateriales pueden tener una gran diversidad de estructuras y funciones, lo cual se consigue controlando el sustrato y el método de procesamiento. De forma muy sencilla se pueden lograr productos de bajo costo, como el relleno para embalaje o el embalaje

mismo, que actualmente experimentan una demanda gigantesca por el comercio en internet. Por otro lado, es posible producir materiales estructurales de alto costo. A diferencia de las aleaciones de metales u otros polímeros complejos que requieren de muchísima energía, el micelio une los componentes del sustrato de forma natural en una sola pieza con una energía externa mínima. Incluso, algunas características del micomaterial, como la resistencia al fuego, se pueden lograr a veces con solo añadir al sustrato cascarilla de arroz y partículas de vidrio.

Los micomateriales utilizados en la construcción se dividen en dos grandes grupos: la *espuma basada en micelio* (EBM) y el *compuesto emparedado basado en micelio* (CEBM). La primera usa de sustrato residuos agroindustriales que se agregan en pequeñas piezas y en los cuales el micelio, ya crecido, forma una red de filamentos donde se unen las partículas del sustrato y se genera un material poroso. En el segundo se agregan fibras naturales (yute, cáñamo y celulosa) como capa superior e inferior, además de una parte central compuesta por desechos agrícolas. Este modelo de estructura similar a un sándwich es lo que garantiza la flexibilidad. Tanto la EBM como el CEBM han demostrado tener resistencia mecánica, ser livianos, generar un bajo impacto ambiental y servir como aislamiento de edificios. Se han realizado obras arquitectónicas de gran envergadura a partir de CEBM, como el Pabellón Creciente —presentado en 2019 durante la Semana del Diseño Holándes—, un edificio conformado por paneles hechos a base de micelio y apoyados sobre un marco de madera. La

obra fue diseñada por Pascal Leboucq y el estudio Krown Design, y producida en Creaciones Biobasadas de Ámsterdam.

Otro micomaterial desarrollado en los últimos años es la “piel” a base de hongos, que responde a la necesidad de disminuir el consumo de piel de origen animal. La industria del cuero tradicional genera una gran cantidad de contaminantes, pero su alternativa más conocida no se queda atrás: la piel artificial derivada de combustibles fósiles —que puede ser de cloruro de polivinilo o poliuretano— sigue siendo una opción poco ecológica, pues no es biodegradable y en su elaboración se utilizan químicos peligrosos. Para producir micomateriales que la simulen se cría el hongo en un medio de cultivo y se realiza un secado del micelio. Una vez que está completamente seco, se le somete a un pretratamiento con lípidos, glicerol y/o sorbitol. Luego se

lleva a cabo un tratamiento químico y físico para aumentar la densidad, fuerza y elasticidad del tejido. Después el material se estira, se tiñe, se seca y queda listo. De esta forma generamos un menor impacto ambiental, aunque eso no significa que estos productos sean del todo biodegradables ni que carezcan de huella ecológica.

### ¿POSIBLES ATENUADORES DE LA CONTAMINACIÓN AMBIENTAL?

El impacto del consumo excesivo es perjudicial para nuestro planeta, puesto que genera una inmensa cantidad de residuos contaminantes. Si a eso le sumamos el hecho de que la población mundial superó a inicios de 2023 los 7800 millones de personas, todo se vuelve más preocupante. En ese contexto, una alternativa podría ser la *biorremediación*, que consiste en retornar un medio alterado por contaminantes a su condición natural. Los contaminantes que pueden ser degradados por los hongos son principalmente compuestos orgánicos como agroquímicos, compuestos clorados, hidrocarburos aromáticos y pesticidas.

Los hongos tienen distintos mecanismos para poder realizar dicha degradación. En primer lugar, son capaces de generar grandes cantidades de enzimas que secretan fuera de las células y les sirven para descomponer el sustrato y posteriormente asimilarlo. Mediante reacciones de oxidación, algunas de ellas, como las que pertenecen a las familias de las lacasas y peroxidasas, son capaces de degradar compuestos más complejos y cuentan con numerosas variantes enzimáticas; algunas las podemos encontrar en bacterias, animales y plantas.

Por ejemplo, los basidiomicetos son los hongos idóneos para la biorremediación. En la naturaleza se nutren de la madera, conformada



©Derzu Campos, *Post-Objeto (sujeto de prueba)*, 2021.  
Cortesía del artista



Studio Klarenbeek & Dros, *Veiled Lady*, de *The Mycelium Project*, 2014

en parte por lignina, un polímero recalcitrante que tarda mucho tiempo en degradarse. Los hongos la descomponen por medio de reacciones de oxidación, gracias a las lacasas y peroxidasas. Debido a su maquinaria enzimática, y a que las enzimas tienen poca especificidad para el sustrato, algunos basidiomicetos se pueden utilizar para degradar y/o mineralizar los contaminantes recalcitrantes mediante reacciones de oxidación.

Otra forma en la que los contaminantes son degradados por el hongo ocurre cuando los primeros se incorporan a las células del segundo después de pasar por reacciones de oxidación con diversas enzimas. Hasta el momento solo se han realizado ensayos en laboratorios, donde se cultivan hongos en sustratos que han sido impregnados con algún compuesto tóxico y se evalúa su potencial de biorremediación. Aunque el proceso resulta esperanzador, necesita de más investigación para su posible empleo a nivel comercial.

Otra parte muy importante de la biorremediación implica a los metales, los cuales no pueden ser degradados con reacciones de oxidación. Sin embargo, los hongos pueden atraparlos en su pared celular o incorporarlos al interior de las células fúngicas para transformarlos químicamente, almacenarlos o trasladarlos a las plantas, con las que tienen una relación simbiótica.

El desarrollo de la biotecnología en los últimos cien años ha hecho que dependamos en gran medida del empleo de los hongos para mejorar nuestra calidad de vida y generar un menor impacto ambiental. Todas las investigaciones que se realizan en la actualidad sobre estos organismos plantean la posibilidad de una transición de nuestra economía, basada en el petróleo y sus derivados, a una economía circular con la capacidad de producir de forma sostenible alimentos, productos químicos y textiles, combustibles, materiales para las industrias de la construcción, y más. **U**