

## **Economía circular y biomateriales fúngicos**

**Raúl Fabio Itria<sup>1</sup>**

**Ana Bezazian<sup>2</sup>**

**Leonardo Majul<sup>3</sup>**

### **Resumen**

El desarrollo de biocompuestos o materiales biodegradables constituye actualmente un objetivo importante en la ciencia de los materiales, debido a la necesidad de sustitución de los plásticos. Los materiales basados en hongos van en este sentido. Pese a que patentes recientes muestran esta tecnología, la misma podría pensarse como una modificación de procesos ya establecidos como la producción de hongos comestibles. La sencillez de este proceso tiende a multiplicar las iniciativas emergentes que convergen en productos similares con diverso grado de innovación. Estas coincidencias muestran la influencia de estos materiales en la sociedad. De manera proposicional, este trabajo revela la existencia de estos grupos e invita al trabajo colaborativo.

### **Palabras clave**

Biomaterial, hongos, biocompuestos, micelio, biodegradable.

### **Abstract**

Development of biocomposites or biodegradable materials currently constitutes a major goal in material science due the necessity of replacement of plastics. Fungi based

---

<sup>1</sup> Profesor adjunto de la FCEN-UB, a cargo de la cátedra de Biología de Hongos. Doctor de la Universidad de Buenos Aires, área Cs. Biológicas. Investigador del Instituto Nacional de Tecnología Industrial (INTI), en el Instituto de Micología y Botánica (InMiBo, UBA-CONICET). Especialista en Ambiente, Biología Molecular y Biotecnología, Microbiología y Micología.

<sup>2</sup> Estudiante avanzada de la Lic. en Cs. Biológicas de la Facultad de Ciencias Exactas y Naturales de la Universidad de Belgrano (FCEN-UB). Ayudante de cátedra de Biología de Hongos, FCEN-UB. Tesista de licenciatura, tema: "Análisis de la eficiencia energética de diferentes sustratos en el crecimiento de *Ganoderma lucidum* y su influencia en las propiedades de biomateriales fúngicos" bajo la dirección del Dr. R.F. Itria, la Dra. P. A. Babay y el Dr. L. M. Majul.

<sup>3</sup> Doctor de la Universidad de Buenos Aires, área Cs. Biológicas. Candidato posdoctoral (InMiBo UBA-CONICET). Especialista en micología. Investigador en Sistemas Materiales (FADU-UBA), consultor en temas micológicos (Innomy, desarrollo de alimentos fermentados; Abrantes S.A.). Docente invitado en Biología de Hongos (FCEN-UB). Secretario de la Fundación Hongos de Argentina para la Sustentabilidad.

materials goes in this sense. Despite recent patents showing this technology it could be thought of as a modification of already established processes such as the production of edible mushrooms. Simplicity of this process tends to multiply emerging initiatives that converge on similar products with diverse degrees of innovation. These coincidences show the influence of these materials on society. In a propositional way, this work reveals the existence of these groups and invites collaborative work.

## **Keywords**

Biomaterial, fungi, biocomposites, mycelium, biodegradable.

## **Introducción**

Desde el inicio de los tiempos, la humanidad consideró a su entorno como una fuente inagotable de recursos. Si algún recurso escaseaba, bastaba con desplazarse y acceder a nuevas fuentes. Cuando esto no resultaba suficiente, la necesidad hizo que se fueran desarrollando sucesivos avances tecnológicos que garantizaran desplazamientos cada vez mayores para alcanzar nuevos recursos. De esta manera, con una concepción del espacio plano y sin límites, el acceso a los medios infinitos resultaba asegurado.

Recién con la era de los grandes descubrimientos, entre principios del siglo XV y comienzos del siglo XVII, se arriba al concepto de “globalidad”. Esta expansión, fruto de la necesidad de potencias europeas de acceder a las riquezas de Asia, trajo como consecuencia una serie de transformaciones a nivel global, marcada por la sobreexplotación de recursos. A pesar de que en general se tiende a pensar que el Antropoceno comenzó a mediados del siglo XVIII con la Revolución Industrial, ya desde la antigüedad clásica se refieren transformaciones drásticas fruto de la deforestación y el sobrepastoreo (Foro Ambiental, s. f.), existen evidencias de que nuestra especie viene alterando la composición atmosférica con sus actividades desde hace al menos 8000 años (Ruddiman, 2003), lo que puede situar a las actividades humanas como una fuerza geológica más (Chakrabarty, 2009).

A partir del desarrollo del mercantilismo predominó la lógica de la economía de consumo según el modelo lineal de “producir, consumir y descartar”. No fue hasta pasada la segunda mitad del siglo XX en el que el economista inglés Kenneth Boulding sentó las bases de lo que hoy se conoce como economía circular. Para esto, describió dos modelos de economía mediante las metáforas “economía del cowboy” y “economía del astronauta”. La primera describe un modelo de economía abierta, donde el cowboy simboliza el acceso a las llanuras ilimitadas y un comportamiento temerario e incluso

violento. En contraposición, la segunda simboliza a la Tierra como una nave espacial, con recursos limitados tanto para la extracción y donde la contaminación resulta un problema y el hombre debe encontrar su lugar en un sistema ecológico cíclico (Boulding, 1966).

Actualmente, es posible situarnos en un nuevo punto de escasez de recursos a nivel global, el cual se encuentra agravado por la pérdida sistemática de ambientes que por efecto del cambio climático los reduce aún más. Esto indica una nueva necesidad permanente que en una visión global de la economía ya no es posible de mantener si se continúa con modelos lineales. Debido a esto, fueron surgiendo diversos procesos basados en el concepto de economía circular donde un desecho en lugar de ser descartado pasa a constituir un insumo, con el consecuente ahorro de materiales y energía.

### **Biocompuestos: nuevos materiales de vieja data**

Los biocompuestos o biomateriales cuentan cada vez con más presencia en la vida cotidiana: ya sea en la elaboración de utensilios descartables, la generación de empaques amigables con el ambiente e incluso como materiales de construcción y mobiliario, para lo cual normalmente se utilizan polímeros provenientes de plantas, bacterias, etc.

El aumento en la aparición de este tipo de materiales viene impulsado por el interés cada vez mayor por disponer de materiales más naturales y amigables con el ambiente, sin embargo, el uso de estos materiales aún no está plenamente difundido a nivel comercial.

Aunque de impronta moderna, se debe tener en cuenta de que el concepto de “biocompuesto” se halla en la propia naturaleza. Como ejemplo se puede mencionar a la madera, cuyas características de resistencia le dan una amplia gama de prestaciones mecánicas. Y esto se debe tanto a la estructura de naturaleza fibrosa de la celulosa como la de la lignina, biopolímero que actúa como ligante. Pielés y huesos han sido utilizados por la humanidad para cubrir necesidades de abrigo, protección, elaboración de armas y utensilios, gracias a materiales como las fibras de colágeno presentes en las primeras y cementantes de calcio y fosfato junto al colágeno en los segundos.

Conceptualmente, un biocompuesto se asemeja al pan dulce, donde la masa constituye el material cementicio o aglomerante y las frutas, el material de sostén.

### **La producción de hongos comestibles como inicio**

En general suele denominarse “hongo” a la estructura reproductiva macroscópica aérea. En otras latitudes a esta estructura se la denomina “seta”. Su nombre técnico es esporoma o esporocarpo y su función es la producción de esporas sexuales para la reproducción del organismo. El objetivo del cultivo de hongos comestibles es obtener los esporocarpos, que normalmente se dan en oleadas de producción, hasta que se agota el sustrato donde éstos son cultivados. Para que esta producción sea posible los sustratos deben ser colonizados por la especie a cultivar. En este proceso, las células filamentosas de los hongos o hifas secretan las enzimas degradadoras que transforman el sustrato y permiten su nutrición. Al conjunto de hifas se lo conoce como micelio, siendo este el verdadero “cuerpo” del hongo. A medida que las hifas van creciendo, van penetrando el sustrato y a su paso van aglomerando las partículas como si se tratara de una especie de cemento natural. Una vez que se producen las diversas oleadas de esporomas, el sustrato agotado normalmente se descarta.

El desarrollo de biomateriales mediante la utilización de hongos se basa en la utilización del micelio como aglomerante. Esto surge como una continuación natural de la producción de hongos comestibles, principalmente de hongos degradadores de madera. Este tipo de prácticas involucra principalmente el cultivo de especies degradadoras de materiales lignocelulósicos, para lo que normalmente se puede realizar el cultivo o bien sobre sustratos macizos como tocones de madera o bien en bolsas sobre material particulado, generalmente aserrín de madera y paja de trigo como sustrato (Terzzoli & Kuhar, 2019). Al crecimiento en estas condiciones se lo denomina “fermentación en estado sólido”.

### **Biomateriales fúngicos**

Los hongos no sólo son cada vez más utilizados para gran variedad de aplicaciones que involucran procesos de economía circular (Meyer et al., 2020, Grimm *et al.*, 2018), sino que vienen ganando terreno, siendo cada vez más reconocidos con la entidad propia de los grandes grupos de macroorganismos, como muestra la propuesta de las FFF: “Flora, Fauna y Funga” (Kuhar *et al.*, 2018).

El origen de los materiales basados en hongos es atribuido popularmente a la empresa Ecovative Design. Su justificación se basa en la patente US20170049059A1, fecha de prioridad 2006-12-15 (Bayer & McIntyre, 2016) en la que describen el desarrollo de aglomerados fúngicos con los hongos de pudrición blanca *Ganoderma lucidum* y *Pleurotus ostreatus*. A pesar de esto, sin que constituya un demérito, este desarrollo no hace más que encontrar un fin a lo que en otro momento podría ser solo desecho, como

es el sustrato agotado por la biomasa fúngica generada durante una fermentación en estado sólido. Siguiendo esta lógica, se podrían enumerar varias publicaciones científicas relacionadas con la producción de hongos comestibles en la que se alcanzan productos similares y, siendo más refinados, hasta se podría mencionar a la misma tradición asiática de producción de hongos. Entre los diferentes desarrollos enfocados en la generación de materiales basados en hongos se halla el caso de “Mycowood”, un desarrollo alemán de la década del ‘60 aplicado fugazmente en la producción de lápices (Luthardt, 1963). En este caso el objetivo de la invención era generar un material de menor densidad a la madera por medio de su fermentación con los hongos *P. ostreatus* y *Trametes versicolor* (Mai *et al.*, 2004).

En nuestro país, en 2011 se produjo en el Laboratorio de Micología Experimental (FCEyN-UBA) un material con características similares al poliestireno expandido o “telgopor” (Kuhar, 2016). Un tiempo después, en el Laboratorio de Hongos Comestibles y Medicinales del CERZOS (UNS-CONICET), se elaboraron contenedores biodegradables para plantines (Postemsky *et al.*, 2016).

Los materiales basados en hongos son postulados tanto para reemplazar materiales no biodegradables, como también para la construcción de objetos con nuevas funcionalidades. Actualmente el producto más conocido es el aglomerado fúngico de Ecovative Design utilizado por IKEA en reemplazo de material de embalaje (*Mycocomposite™*, s. f.). Fuera de las aplicaciones industriales, este material es utilizado con fines artísticos para la generación de objetos de diseño como los realizados por la biodiseñadora Danielle Trofe (Trofe, D., s. f.). A su vez, comienzan a aparecer desarrollos independientes y, a menor escala, en colaboración con universidades como los del diseñador Eric Klarenbeek y la Universidad de Wageningen (Klarenbeek, E., s. f.). En Argentina, este tipo de interacciones entre ciencia, diseño y arte comenzó a darse en 2016, a través de colaboraciones de la diseñadora Heidi Jalkh (Jalkh, H., s. f.) y el Laboratorio de Micología Experimental, InMiBo UBA-CONICET (Revolución material, 2016). De forma similar, este tipo de interacciones fueron surgiendo en América como el grupo Labva ubicado en Valdivia, Chile (Labva, s.f.) Radial Biomateriales en México (Radial, s. f.).

En la Tabla 1 se muestran distintos emprendimientos y empresas en Argentina principalmente y en otras partes del mundo, que han logrado desarrollar biomateriales fúngicos, y le han dado usos diferentes, algunos patentando sus procesos de desarrollo.

Tabla 1

*Principales emprendimientos de biomateriales fúngicos en Argentina y en el mundo*

Año de inicio	Emprendimiento	Productos	País	Cantidad de patentes
2007	Ecovative Design	Packaging Productos cosmética Alimento Telas Cuero Paneles acústicos	Estados Unidos	21
2009	Mylo	Cuero fúngico	Estados Unidos	3
2011	Francisco Kuhar & Raúl Itria	Bioaglomerado fúngico I+D	Argentina	0
2013	Mycoworks	Cuero fúngico	Estados Unidos	3
2013	Silvio Tinello Design	Productos de diseño Arte	Argentina	0
2015	Mogu	Paneles acústicos Losas para pisos	Italia	2
2017	Mycocrea	I+D Capacitaciones en biofabricación	Argentina	0
2017	Mycomaker	Asesorías Educación Divulgación	Ecuador	0
2018	Mallki	Macetas	Argentina	0

		Envases Packaging		
2018	Sistemas Materiales	I+D Divulgación	Argentina	0
2018	Labva	I+D Divulgación	Chile	0
2019	Fungipor	Packaging Macetas Envases	Argentina	0
2021	Radia	Packaging Macetas Envases	México	0

---

I+D: investigación y desarrollo

**Nota.** Fuentes: Cerimi *et al.*, 2019; Google Patents.

Según un relevamiento reciente, las patentes relacionadas con la elaboración de materiales fúngicos se distribuyen principalmente en Estados Unidos con un 60 % y China con el 30 % (Feijoó Vivas *et al.*, 2021).

## Conclusiones

Las fechas de inicio de los diversos desarrollos que implican el uso del micelio como recurso para las ciencias de los materiales y los textiles muestran que éstos son una novedad de la última década. El hecho de que hayan aparecido en gran variedad de países a la vez indica un cambio en la cultura del consumo de materiales a nivel global. Sin embargo, los escasos canales de comunicación y sobre todo la compartimentalización de distintos saberes hacen que esta temática con gran potencial de cooperación a nivel nacional e internacional aún esté restringida a ámbitos locales. Esto se evidencia en la generación simultánea de proyectos que desarrollan la misma tecnología y los mismos materiales, cada uno “de cero” en un campo que pareciera inexplorado. En parte esto es así, ya que aún estamos rozando la superficie de las aplicaciones biotecnológicas que podrían tener estos desarrollos. Por otra parte, se podrían lograr saltos a escalas industriales, y optimizar procesos de producción, sobre todo fomentando la cooperación, inversión, investigación y desarrollo en el tema.

Muchos de los desarrollos no van más allá de prototipos o trabajos a escala de laboratorio. El paso de la mesada a un proceso productivo a escala real conlleva una serie de consideraciones que implican extras a las líneas de investigación actuales.

A pesar de la larga trayectoria de los biomateriales, estos aún siguen planteando distintos desafíos. Por una parte, el desarrollo de este tipo de materiales involucra la intervención de distintas miradas, tanto la interacción entre el arte, la ciencia y el diseño como el entendimiento de los procesos naturales involucrados y el cuidado del ambiente. Por otro lado, hay que considerar cuestiones que no suelen mencionarse en este tipo de desarrollos, como el cuello de botella que representa el gasto energético para la esterilización de los sustratos. Para lograr una colonización exitosa con la especie seleccionada, los sustratos deben esterilizarse y esto representa un considerable gasto energético. En el caso de la producción de cuero fúngico, por ejemplo, los costos de producción aún son mayores que los del cuero vacuno. Además, en este caso resta evaluar si la durabilidad de tales materiales es similar a la de los cueros convencionales, lo cual también repercute en la ecuación costo/beneficio de la producción masiva de tales materiales.

La exploración de nuevos objetos, resultado de la creatividad artística, requiere de la generación de moldes con características definidas por el crecimiento fúngico y los requerimientos de desmolde. A su vez, la utilización de diferentes materiales involucra el entendimiento de los procesos y la compatibilidad con los microorganismos y el estudio de sus propiedades mecánicas. Estos requisitos combinados implican el estudio de su crecimiento fúngico en diferentes condiciones para a su vez obtener los objetos de la calidad deseada, ya que el alcanzar materiales con las características deseadas depende de varios factores como la especie fúngica involucrada, calidad del sustrato y condiciones físico químicas, entre otras (Freek *et al.*, 2019).

La ciencia nunca está aislada de los contextos políticos, económicos y sociales. Las investigaciones, teorías e hipótesis que se priorizan en determinado contexto están condicionadas por el clima de la época. Los biomateriales fúngicos no son la excepción. El surgimiento de tantos proyectos similares en simultáneo demuestra que el cambio cultural en pos de conservar el ambiente ha afectado a las industrias en su modo de producción. Sin la perspectiva ecológica y la motivación de innovar a través de soluciones sustentables, no hubiera sido posible concebir la creación de materiales biobasados.

## Bibliografía

Appels, F. V., Camere, S., Montalti, M., Karana, E., Jansen, K. M., Dijksterhuis, J., ... & Wösten, H. A. (2019). Fabrication factors influencing mechanical, moisture-and water-related properties of mycelium-based composites. *Materials & Design*, 161, 64-71.

Bayer, E., & McIntyre, G. (2016). *U.S. Patent No. 9,485,917*. Washington, DC: U.S. Patent and Trademark Office.

Boulding, K. E., (1966). The economics of the coming spaceship earth. En *Environmental Quality in a Growing Economy: Essays from the Sixth RFF Forum* (pp 3-15). The Johns Hopkins University Press for Resources for the Future.

Cerimi, K., Akkaya, K. C., Pohl, C., Schmidt, B., & Neubauer, P. (2019). Fungi as source for new bio-based materials: a patent review. *Fungal Biology and Biotechnology*, 6(1), 17.

Chakrabarty, D. (2009). The climate of history: Four theses. *Critical Inquiry*, 35(2), 197-222.

Ecovative Design, s.f. extraído el 01/09/2021 de <https://ecovatedesign.com/>.

Foro Ambiental, s. f., extraído de <https://www.foroambiental.net/deforestacion-sobrepastoreo-desde-la-antigua-grecia-delta-del-parana/>.

Feijóo Vivas, K., Bermúdez Puga, S. A., Rebolledo, H., Figueroa, J. M., Zamora, P., & Naranjo Briceño, L. (2021). Bioproductos desarrollados a partir de micelio de hongos: Una nueva cultura material y su impacto en la transición hacia una economía sostenible *Bionatura*, 6(1), 1637–1652. <https://doi.org/10.21931/RB/2021.06.01.29>.

Fungipor, s.f., extraído el 01/09/2021 de <https://fungipor.com>.

Grimm, D., & Wösten, H. A. (2018). Mushroom cultivation in the circular economy. *Applied Microbiology and Biotechnology*, 102(18), 7795-7803.

Jalkh, H, s. f., extraído el 30/09/2021 de <http://heidijalkh.com/>

Klarenbeek, E., s. f., extraído el 03/09/2021 de [www.ericklarenbeek.com](http://www.ericklarenbeek.com).

Kuhar, F. (2015) Bioaglomerado fúngico. *Patagonia Forestal*, año XXI, (2), 22-23. ISSN: 1514-2280.

Kuhar, F., Furci, G., Drechsler-Santos, E. R., Pfister, D. H. (2018). Delimitation of Funga as a valid term for the diversity of fungal communities: the Fauna, Flora & Funga proposal (FF&F). *IMA Fungus*, 9(2), 71-74.

Labva, s. f., extraído el 30/09/2021 de <https://www.labva.org>.

Luthardt, W. (1963). Myko-Holz-Herstellung, Eigenschaften und Verwendung. *Holzerstörung durch Pilze*. Akademie-Verlag, Berlin, 83-88.

Mai, C., Kües, U., & Militz, H. (2004). Biotechnology in the wood industry. *Applied Microbiology and Biotechnology*, 63(5), 477-494.

Meyer, V., Basenko, E. Y., Benz, J. P., Braus, G. H., Caddick, M. X., Csukai, M., ... & Wösten, H. A. (2020). Growing a circular economy with fungal biotechnology: a white paper. *Fungal Biology and Biotechnology*, 7(1), 1-23.

Mogu, s.f., extraído el 01/09/2021 de <https://mogu.bio/about/>.

MycoComposite™, s. f., extraído el 03/09/2021 de

<https://ecovatedesign.com/mycocomposite>.

Mycocrea, s.f, extraído el 01/09/2021 de

<https://mycocrea.wixsite.com/biomateriales/nosotros>.

Mycomaker, s.f., extraído el 01/09/2021 de <https://mycomaker.club/somos/>.

Mycoworks, s.f., extraído el 01/09/2021 de <https://www.mycoworks.com/>.

Mylo, s.f., extraído el 01/09/2021 de <https://www.mylo-unleather.com/>.

Postemsky, P. D., Marinangeli, P. A., & Curvetto, N. R. (2016). Recycling of residual substrate from *Ganoderma lucidum* mushroom cultivation as biodegradable containers for horticultural seedlings. *Scientia Horticulturae*, 201, 329-337.

Radial, s. f., extraído el 30/09/2021 de <https://radialbio.com/>.

Revolución material (2016). nota sobre experimentación con micelio y residuos orgánicos. *Revista Living, La Nación*, nro. 105, dic. 2016, p.34.

Ruddiman, W. F. (2003). The anthropogenic greenhouse era began thousands of years ago. *Climatic Change*, 61(3), 261-293.

Silvio Tinello Design, s.f., extraído el 01/09/2021 de <https://www.silviotinello.com/>.

Tofe, D, s. f., extraído el 03/09/2021 de [www.danielletrofe.com](http://www.danielletrofe.com).