



## Economía Circular y la impresión 3D: Biomateriales en la Sostenibilidad Industrial

### Circular Economy and 3D Printing: Biomaterials in Industrial Sustainability

#### Autores

Alina María Bracho Rodríguez <sup>2</sup>

<https://orcid.org/0000-0002-5176-9579>

Ana Belén Pérez Baltar <sup>1\*</sup>

<https://orcid.org/0000-0003-3574-1637>

Amanda Isabel Bracho Rodríguez <sup>3</sup>

<https://orcid.org/0009-0009-8627-1891>

Junior Anthony Ortega Arana <sup>1</sup>

<https://orcid.org/0009-0008-6123-4704>

<sup>1</sup>Departamento de Ciencias Jurídicas, Universidad Rafael Urdaneta. Maracaibo, Venezuela.

<sup>2</sup>Departamento de Electricidad, Universidad Politécnica Territorial del Estado Aragua. La Victoria, Venezuela.

<sup>3</sup>Departamento de Administración, Universidad Tecnología Empresarial de Guayaquil. Guayaquil, Ecuador.

\* Autor para correspondencia.

[anabelenperezbaltar@gmail.com](mailto:anabelenperezbaltar@gmail.com)

**Citacion sugerida:** Bracho, A., Pérez, A., Bracho, A. I. & Ortega, J. (2025). Economía Circular y la impresión 3D: Biomateriales en la Sostenibilidad Industrial. *Revista de Investigaciones en Energía, Medio Ambiente y Tecnología. RIEMAT*, 10(1), pp. 56-67 <https://doi.org/10.33936/riemat.v10i1.7680>

Recibido: 05/06/2025

Aceptado: 23/06/2025

Publicado: 30/06/2025

#### Resumen

La impresión 3D, es un conjunto de las técnicas de manufactura, que están siendo empleadas en la fabricación de diversos productos. El objetivo de esta investigación es identificar como estas técnicas de manufactura aditiva puede presentar ventajas respecto a las técnicas tradicionales de manufactura para la utilización de biomateriales, subproductos y residuos, permitiendo la disminución de costos y de contaminación ambiental al sector industrial. Para la realización de este estudio se efectuó una revisión sistemática literaria, empleando la técnica de Desk Research, considerando estudios en la temática de economía circular y biomateriales empleados en la impresión 3D. Entre los resultados encontrados, se evidencio que un conjunto amplio de posibilidad de utilización de materiales: naturales, compuestos y sintéticos, que provenientes del reciclaje, para su uso en las distintas técnicas de impresión 3D, su adopción implicaría un consumo más lento de materias primas, disminución de costos y contaminación. Estos nuevos esquemas de producción, puede orientar al sector industrial a la adopción de modelos de economía circular y al desarrollo sostenible.

**Palabras clave:** economía circular; residuos; impacto ambiental; manufactura aditiva; materiales sostenibles

#### Abstract

3D printing is a set of manufacturing techniques that are being used in the manufacture of various products. The objective of this research is to identify how these additive manufacturing techniques can offer advantages over traditional manufacturing techniques for the use of biomaterials, by-products, and waste, allowing for a reduction in costs and environmental pollution in the industrial sector. To carry out this study, a systematic literature review was conducted using the desk research technique, considering studies on the circular economy and biomaterials used in 3D printing. Among the results found, it was evident that there is a wide range of possibilities for the use of materials: natural, composite, and synthetic, which come from recycling, for use in different 3D printing techniques. Their adoption would imply slower consumption of raw materials, reduced costs, and less pollution. These new production schemes can guide the industrial sector toward the adoption of circular economy models and sustainable development.

**Keywords:** circular economy; waste; environmental impact; additive manufacturing; sustainable materials





## 1. Introducción

En la actualidad el ciclo vida del producto está concebido para una duración cada vez más corta, como un proceso continuo de : extraer, elaborar y eliminar, debido a un economía lineal, que produce un incremento de desechos y la disminución de los recursos naturales (Vega et al., 2021), en contraposición a esta realidad, existen alternativas para la sustentabilidad, entre ellas la estrategia denominada economía circular, cuyo basamento filosófico plantea la oportunidad de transformar los bienes en la etapa final de su vida útil, en nuevas materias primas, insumos o recursos para la fabricación de bienes, lo que permite cerrar el proceso, creando circuitos en los ecosistemas industriales, para la minimización de los residuos y el reciclaje de materiales (Nieto-Salas, 2021).

La práctica del reciclaje como modelo sostenido para producción de nuevos bienes requiere la implementación de medidas, tales como: la creación de políticas nacionales dirigidas a contar con un marco regulatorio que considere el reciclaje materiales para los diversos sectores productivos, la existencia de incentivos fiscales para la reutilización de estos materiales, adaptaciones de los procesos industriales para la recepción de estos materiales “para un segundo ciclo productivo”, así como también, establecimiento de una conciencia ciudadana de la necesidad de adoptar conductas (cultura) dirigidas a la sostenibilidad ambiental (Caisa et al, 2020). Todos estos elementos son necesarios, si se espera que el reciclaje contribuya de forma significativa a la disminución del impacto ambiental y a la economía circular de un país (Putruele & Veneziani, 2015).

La adopción de procesos de reciclaje de materiales, generar múltiples beneficios, como un consumo más lento de materias primas, disminución del consumo eléctrico, de emisiones contaminantes, entre otros aspectos conducirán a un esquemas de producción más sustentables, en los cuales la transformación de los materiales reciclados permita no solo disminuir el impacto ambiental por disminución de desechos y su toxicidad (Caisa et al, 2020), sino también aspectos económicos importantes, como la generación de empleo en este sector, la disminución de importaciones de materiales y componentes necesarios para fabricación de nuevos productos, desarrollo de pequeñas y mediana empresas locales de acopio de materiales a ser reciclado, entre otros beneficios.

Según estudios realizados, los recursos naturales consumido en el periodo de un año requieren para su restauración de al menos un año y cinco meses (según indicadores no oficiales desarrollados por la empresa Global Footprint Network) lo que significa que estamos ante una tendencia insostenible para el equilibrio de la vida en el planeta, al comparar las demandas humanas con el ambiente y la bio-capacidad de la tierra (Cruz & Gurrolla, 2025). El periodo de recuperación de los recursos naturales extraídos, que cada día se va incrementando desde años 1960 (Global Footprint Network, 2019); y según datos de estudios de la ONU, es imposible mantener esta tasa de consumo de materiales no reciclable hasta el año 2025, puesto que ya actualmente se requiere de al menos 24 meses para restablecer el consumo de un año (Lin, 2022).

Lo antes expuesto, corrobora la necesidad de adoptar prácticas en todos los sectores productivos, que tienda a la utilización de materiales reciclables, con el fin de mitigar el agotamiento de recursos naturales, prolongando la vida útil de las materia primas y productos ya fabricados, como aporte a la búsqueda de un desarrollo sostenible, mediante sistemas tecnológicos que permitan el uso de estos materiales, facilitando el cambio de una economía lineal, hacia un proceso enfocado en una economía circular, donde la vida útil de un producto sea aprovechada para favorecer el desarrollo sostenible (Morseletto, 2023).

Un gran número de países de la Unión Europea, han empezado a contemplar el planteamiento de nuevas formas de reutilización de materiales, debido a la consideración aspectos ambientales, económicos y sociales, que resultan favorecido con el empleo cuando se reutiliza materia un material o se emplean biomateriales en fabricación de producto donde anteriormente se usa un material no biodegradable, esto puede permitir más sostenible para el sector industrial (Al-Oqla, 2023)

En la actualidad debe efectuarse un análisis del ciclo de vida, para la selección las tecnologías (evaluación

inicial) que facilitan el proceso de reutilización de materiales, considerando que desde su proceso de extracción resulte sostenible, y no este basados en la devastación y degradación de los recursos naturales (Villaplana, 2017) y que finalmente su proceso de producción sea sostenible en termino de disponibilidad continua de materiales y costos. Por lo que es necesario considerar cambios en los métodos de trabajo para emplear el reciclaje, además de involucrar medios de compensación ambiental. Considerando todas estas variables es posible afirmar que la manufactura aditiva puede ser considerada como una tecnología dentro del sector ecológico industrial, ya que aportan un mínimo impacto ambiental (Barve & Pesode, 2023).

La impresión 3D desde sus inicios, ha considerado la valoración de criterios ambientales, desde el uso de las materias primas hasta la gestión de los residuos; ya que solo se emplea el material necesario en el proceso de fabricación, reduciendo a la generación de desperdicios, y contrayendo el impacto ecológico (Christoph et al., 2016). Las técnicas de fabricación mediante impresión 3D, permite adoptar estrategias propias de la economía circular y la sostenibilidad ambiental, evaluando las emisiones de gases y la eficiencia en la utilización de los recursos y energía (Pakkanen et al., 2017).

Estudios realizados pronostican el impacto en la sostenibilidad mundial producto del uso de tecnología de impresión 3D para el año 2025, el cual se detalla que el empleo de estas técnicas en los procesos de producción, permitirá reducir en aproximadamente un 5% el consumo de energía en empresas manufactureras y así como también un 5% en la emisión de CO<sub>2</sub> de dichas industrias con respecto a valores de la década de la anteriores en este sector (Pakkanen et al., 2017).

Las tecnologías de impresión 3D están prometiendo una visión sostenible e innovadora, ameritando de un trabajo colaborativo de distintos tipos de profesionales (Rodríguez-Borges et al., 2020), que se integran para la producción no solo en el sector manufacturero (Pérez-Rodríguez et.al., 2020), sino también en sectores como: la construcción, mediante la implementando de técnicas de Modelado de la Información de la Construcción o Building Information Modeling (BIM) que permite reducir el tiempos y recursos destinados en diversos áreas de construcción (Pérez Rodriguez et al., 2020).

Lo antes mencionado, evidencia que las tecnologías de impresión 3D, están permitiendo transformar la forma tradicional de fabricar, por lo que es de utilidad, el desarrollo de nuevas investigaciones de aplicaciones para la fabricación de nuevos productos y la utilización de nuevos materiales, entre ellos, materiales provenientes del reciclaje, que complementarían los tradicionalmente utilizados para impresión 3D, como lo son: resinas, metales, fotopolímeros, filamentos, cerámica e incluso polvos (Mobarak et al., 2024).

Este estudio está dirigido a identificar materiales reciclables pueden ser empleados en la impresión 3D para la producción de bienes, así como también, proponer opciones para la utilización de nuevos materiales compuestos (biomateriales), que represente nuevas oportunidades para el desarrollo sostenible y de la ecología industrial.

## 2. Materiales y Métodos

Partiendo del objetivo definido, se procedió a valorar el tipo de investigación a desarrollar, considerando que la misma está enmarcada en un tipo de investigación exploratoria, seleccionándose como metodología a seguir, desk research, este tipo de investigación basada en evidencias de estudios primarios y secundarios, desarrollados en el campo de materiales reciclables y compuestos que puedan ser usados en la impresión 3D para un mayor aprovechamiento de las materias primas y de las potencialidades de esta nueva forma de producción. Este tipo de técnica de investigación seleccionada permite crear conocimiento partiendo de publicaciones realizada en estudios primarios (Revelo-Sánchez et al., 2018).

Se efectuó una revisión distintas bases de datos científicas: elsevier (scopus), scielo, google académico y sciencedirect, entre otras, encontrándose que el tema de la impresión 3D, es un tema de actualidad y que su vinculación con las oportunidades para empleo de materiales reciclables y compuestos, está empezando a ser investigado con interés dadas las oportunidades de aportar al desarrollo sostenible a nivel mundial. Se empleó como criterio de búsqueda inicial los artículos relacionados con: materiales reciclables empleados impresión 3D, economía circular y la impresión 3D, y nuevos materiales empleados en impresión 3D. Posteriormente se procedió a sintetizar los criterios esgrimidos por los diferentes autores, que han tratado la temática, efectuando un análisis consolidado de los hallazgos encontrado, para posteriormente proponer



un conjunto de materiales para su utilización bajo las técnicas de manufactura aditiva, como conclusión de este estudio.

### 3. Resultados y Discusión

La manufactura aditiva (AM) o impresión 3D, es un proceso de fabricación que comienza a partir un diseño digitalizado en tres dimensiones, en la que se emplea varias técnicas para obtener una pieza física final, para lo cual existe diferentes técnicas de impresora 3D, su selección depende de los materiales a emplear y el acabado requerido. Entre las tecnologías empleadas en la fabricación con impresión 3D, se encuentran: el Modelado por deposición fundida (FDM) o Fabricación por filamento fundido (FFF), la Estereolitografía (SLA) y el Sinterizado Selectivo por láser (SLS) (Barve & Pesode, 2023).

La posibilidad de procesar materiales de diferentes formas, es una de las ventajas conceden el empleo de estas tecnologías, disponiendo de una amplia gama de materiales para su empleabilidad, y aún en estudio la posibilidad de incorporar otros materiales y métodos de producción, a partir de la reutilización materiales y el aprovechamiento más eficiente de la energía (Dong et al., 2018).

A nivel mundial, la industria del plástico se ha cuadruplicado, en los últimos cuarenta años, por lo que el ritmo de crecimiento continua en esta tendencia, podría provocar el aumento de gases de efecto invernadero (GEI) para las próximas décadas, en el 2015 las emisiones de GEI generado del plástico fueron de 1,7 Gt de CO<sub>2</sub> equivalente (CO<sub>2</sub>e), cifra que aumentaría a 6,5 Gt de CO<sub>2</sub>e para el 2050, si se continua con la tendencia actual (Zhou et al., 2023). Estos elementos podrían contra restarse con la utilización de fuentes de energías renovables, el uso intensivo del reciclaje y con la gestión de la demanda de producto, lo que permitiría sostener índices semejantes de emisiones de GEI del 2015 para el 2050 (Zhou et al., 2023).

Por lo antes expuesto, el plástico un material de gran interés para su estudio y aprovechamiento a través del reciclaje para su empleo en la impresión 3D. Esta materia ha llegado a emplearse en diversas aplicaciones de ingeniería, remplazando materiales como el metal, papel, madera y vidrio, lo que ha incrementado su empleabilidad, generando un desequilibrio en la contaminación ambiental que genera (Kreiger et al., 2014). Por lo que reciclar este tipo de materiales posconsumo, es cada día más necesario, si se desea disminuir la contaminación ambiental y promover un enfoque hacia una economía circular (Hahladakis & Iacovidou, 2019).

En la manufactura aditiva, el material que más se empleado hasta ahora, son los polímeros, empleado en forma de polvo para tecnología de sinterización por láser (SLS) y en forma de filamentos para tecnología de modelado de deposición fundida (FDM) (Ligon et al., 2017). Por lo que el empleo del plástico y otros materiales reciclados en el proceso de impresión 3D, puede ser un valioso impulso para un desarrollo sostenible, debido a la amplia difusión y empleo de impresoras 3D de escritorio, que están logrando el aprovechamiento de filamentos reciclados, y con ella la minimización de los costos de producción distribuida (Kreiger et al., 2014).

En la fabricación aditiva a nivel industrial, el uso de materiales reciclados, también ha empezado a extenderse, obteniéndose sistemas de producción más eficientes en sus procesos de fabricación; en el caso de materiales metálicos, aproximadamente el 95% del polvo no utilizado, pueden ser filtrado en la misma empresa o localmente, para su inmediata reutilización, mientras que el 5% restante del material, puede ser aprovechado, si se envía a un centro para el acondicionamiento y su reutilización. En el caso de los polímeros de tipo ABS, PLA y PET, también pueden obtenerse filamento 100% de material reciclados, si se emplea una extrusora de plástico (Urbinati et al., 2023).

En la actualidad se desarrollan varias investigaciones en torno a lograr mediante la impresión 3D el aprovechamiento de los materiales ya usado, el incremento de la eficiencia energética en estos procesos y la disminución de la contaminación ambiental, centrados en alcanzar una economía de reciclaje sostenible. En este aspecto, se abren las posibilidades para disminuir los efectos negativos de ciertos polímeros sintéticos (Liu et al., 2019). Por lo que, en este estudio, evaluaremos las posibilidades que presenta para el reciclaje, algunos materiales, que hemos procedido a clasificar en dos categorías, según sus orígenes: sintéticos y naturales o biocompuestos.

### **Materiales Sintéticos Reciclable empleables en la impresión 3D**

#### **Acrilonitrilo Butadieno Estireno (ABS)**

El acrilonitrilo butadieno estireno (ABS), es un polímero obtenido de la combinación de tres monómeros; el acrilonitrilo, butadieno y estireno, éstos aportan propiedades, tales como: rigidez, estabilidad a altas y bajas temperaturas y resistencia mecánica (Sánchez et al., 2022), por lo que este material es usado frecuentemente para la impresión 3D, perteneciente a la familia de los termoplásticos, es empleado con tecnología de Modelado por deposición fundida (FDM) o Fabricación por filamento fundido (FFF) y Sinterizado selectivo por láser (SLS) (Sánchez et al., 2022).

El ABS se origina del petróleo, lo que limita su capacidad de biodegradabilidad, sin embargo, como forma de sostenibilidad se están empleando técnicas que permiten su reutilización en nuevos productos, pasando previamente a convertirlos en material imprimible en 3D. Entre los productos que permiten obtener este material para su reutilización se encuentran en los siguientes equipos de común uso; televisores, radios, memorias USB, máquinas de coser, bloques de lego, entre otros (Pabón & Quintero, 2016), en el mercado existe ya empresas, que se dedican a la obtención de este material, como el caso de Kickfly que comercializan en la actualidad filamentos ABS reciclado (Sánchez et al., 2020).

#### **Tereftalato de polietileno (PET)**

El Polietileno Tereftalato es el polímero termoplástico de origen no natural, comúnmente utilizado en envases para bebidas y alimentos, el impacto que ocasiona está determinado en el ciclo de vida útil en el que sea empleado (Cabrera, 2018). En la impresión 3D, es utilizado como filamentos para fabricar cualquier objeto que requiera estar en contacto directo con alimentos, entre las ventajas de utilizar este material es que no genera olores al momento de imprimir y es 100% reciclable (Sánchez, 2020). Al igual que el ABS el PET no es biodegradable, pero tiene la ventaja de ser fácil de reciclar (Zander et al., 2018). En la actualidad existen diferentes proyectos sostenibles en donde involucran la reutilización de este material, con el fin de convertirlo en filamento para imprimir en 3D, tal es el caso de empresas, como B-PET que utiliza botellas de PET recicladas posconsumo para fabricar y comercializar filamentos a nivel mundial (Pakkanen et al., 2017).

### **Materiales Naturales empleables en la impresión 3D**

Existe un amplio número de posibilidades para la utilización de materiales naturales (biomateriales) o compuestos que puede ser utilizados y reciclado para su uso en la fabricación mediante impresión 3D, tal es caso del proceso empleados para la obtención del PLA a partir de diversos azúcares y vegetales.

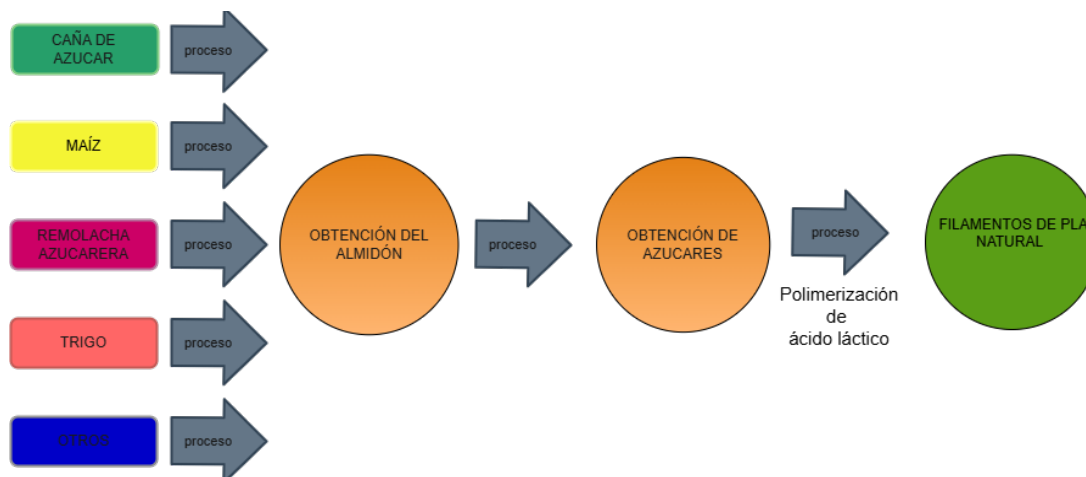
#### **Ácido Poliláctico o Poliláctico (PLA)**

El ácido poliláctico (PLA), es un polímero de origen natural con características similares o incluso mejores que los polímeros a base de petróleo, como el PET, (Kaseem et al., 2021). Es obtenido de un recurso renovable, como la caña de azúcar, almidón de maíz, trigo, entre otros, por su origen natural le permite ser un material biodegradable utilizado ampliamente para imprimir objetos orientados a tener contacto con alimentos (Chen et al., 2021). Al igual que los polímeros sintéticos este es reciclable, este proceso se realiza a través de piezas o restos de impresiones 3D hechas con PLA, las cuales son transformadas en pellets (gránulos) interviniendo dos procesos específicos como es el triturado y el de extrusión (Chen et al., 2021). El proceso de la extracción PLA en forma de filamento se ilustra en la figura 1.



**Figura 1**

*Materiales Naturales o biocompuestos que pueden emplear en la impresión 3D.*



*Nota.* Proceso de obtención de filamento de PLA a partir de vegetales.

## Cáñamo

El Cáñamo es una planta que produce celulosa, de crecimiento rápido a nivel mundial (Cantó, 2024) perteneciente a las familias de la planta de cannabis, por sus propiedades naturales de resistencia y dureza es utilizada para fabricar telas, papel e incluso materiales para la construcción, utilizando partes como: hojas, flores, tallos y fibra (Pino, 2019). Según Xioa et al. (2019), el cáñamo está surgiendo como base para materiales biocompuestos en combinación con los termoplásticos, en su trabajo denominado *Poly lactide/hemp hurd biocomposites as sustainable 3D printing feedstock* demostró que es altamente beneficioso para la tecnología de FDM, en la que elaboró filamento para imprimir en 3D, utilizando como materia prima cáñamo y ácido poliláctico (PLA), junto con (PBAT) y (EGMA) como agente endurecedor y compatibilidad respectivamente (Xioa et al., 2019).

## Cocos Nucifera

La Palma de Coco o Cocos nucifera es una variedad de palmera que puede encontrarse en zonas tropicales de todo el mundo, de ésta depende, la elaboración de una extensa gama de productos y subproductos, principalmente su fibra está compuesta por lignina, celulosa y hemicelulosa (Fouladi et al., 2020) por su alto porcentaje de lignina hace que esta fibra sea más dura en comparación con otras fibras naturales (Fouladi et al., 2020). Estudios e investigación recientes demuestran la posibilidad de crear filamento a partir de fibra de coco; revista como la Internacional de Nanoelectrónica y Materiales, han publicado un detallado proceso para el pretratamiento y caracterización de filamentos elaborados a partir de residuos de coco, que resultan adecuados para imprimir en 3D, en donde utilizaron como materia prima esencialmente gránulos de ácido poliláctico (PLA), fibra de coco, cascara de coco y otros aditivos para regular ciertos parámetros como el de acoplamiento, lignina, hemicelulosa y pH, obteniendo con éxito un filamento de tipo PCSPC para imprimir en 3D (Fouladi et al., 2020).

Un aspecto aún por resolver es el concerniente a la vulnerabilidad de los ataques microbianos a los que están propensos estos tipos de filamentos que emplean materiales naturales, aunque se obtuvo un filamento con muy buenas propiedades mecánicas y tecnológica, se propone seguir experimentando el empleo de aditivos

en los compuestos para contraponer esta situación (Fouladi et al., 2020).

### Bambusoideae (Bambú) y *Linum usitatissimum* (Lino)

La combinación experimental de fibras de bambú y lino, han permitido crear un filamento biodegradable con potencialidades para su uso en la impresión 3D, estableciendo oportunidades para su empleo como bio compuestos. Para este caso para la producción y caracterización de este tipo de filamento de alta calidad reforzado con fibras (Taborda, 2019), empleo un 15% en peso de fibras de bambú; la cual es una planta utilizada desde hace siglos y considerada como un recurso natural renovable (Alvarez, 2019), la cual produce seis veces más celulosa que el pino (Alvarez, 2019), su fibra está compuesta por un alto porcentaje de lignina, celulosa y hemicelulosa lo que posibilita para el empleo en la elaboración de polímeros compuestos (Blanco et al., 2020).

La fibra de lino, es una planta con raíz fibrosa, compuesta por cera, pectina, celulosa, lignina y hemicelulosa. La celulosa es el componente más rígido y fuerte que tienen las fibras de lino, ésta representa entre el 65 y 75% del peso total de las fibras (Ramesh et al., 2022) un 74,8% en peso de ácido poliláctico (PLA) y finalmente un 10.2% en peso de plastificantes para reducir la fragilidad del PLA. (Depuydt et al., 2019)

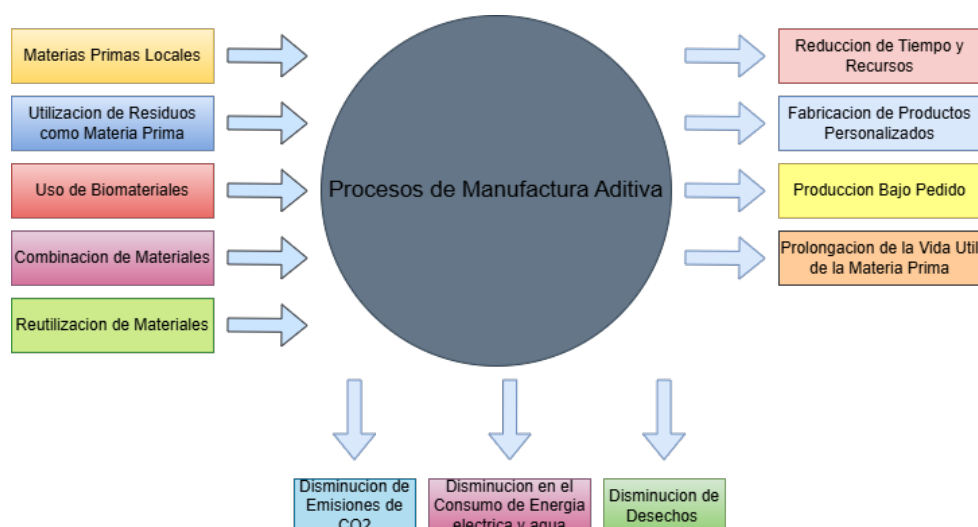
### Cera de abeja y colofonia

La combinación de policaprolactona (PCL) que es un tipo de polímero termoplástico biodegradable de la familia del poliéster alifático, junto con colofonia (GR) que es la parte no volátil de la resina de las coníferas (especialmente del pino) (Vargas, 2022), en la que su composición depende de la clase de coníferas y la forma que se produce, y la cera de abeja (BW) que es una estructura líquida que al contacto con el aire se solidifica, producida por glándulas especiales las abejas jóvenes (Fratini et al., 2016), lo cual genera como resultado un material imprimible mediante la técnica de FDM.

Algunos autores como Zhao et al. (2025), ha realizado experimentación comparando varios parámetros con un filamento puro de PCL; establecido tres combinaciones; PCL\_GR, PCL\_BW y PCL\_GR\_BW y determinó que la combinación de PCL\_GR\_BW presenta una baja temperatura de fusión en comparación con el PCL, indicando su compatibilidad y miscibilidad en esta mezcla, demostrando que la misma es imprimible con facilidad debido a las características del material, la mezcla de PCL\_GR\_BW emplea una temperatura de extrusión mayor con 10°C comparando con la extrusión del PCL puro que emplea 80°C, dejando como propuesta la necesidad de estudio más profundo con este tipo de material para la empleabilidad en la impresión 3D (Zhao et al., 2025). Existe una amplia variedad de biomateriales que pueden ser usados en los procesos de manufactura, tal como se presenta en la figura 2.

**Figura 2**

*Biomateriales empleados en la manufactura aditiva.*



*Nota.* Diferentes biomateriales empleables en la manufactura aditiva.



## Otros biomateriales

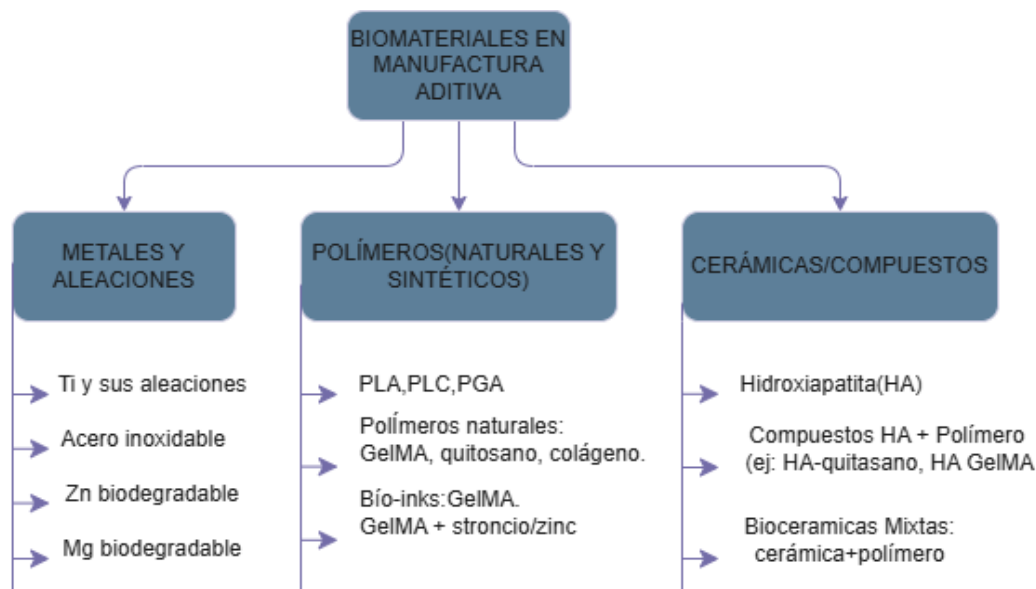
La concha de mejillón, es propuesta por Sauerwein (2020), para su uso en la impresión 3D; el mejillón es un lamelibranquio que corresponde a la familia de los moluscos, compuesta por dos conchas o valvas alargadas que representan aproximadamente el 33% del peso del mejillón (Santín, 2019), el componente principal de las conchas de mejillón es el carbonato de calcio ( $\text{CaCO}_3$ ) lo que le otorga una resistencia mecánica muy importante para el soporte por fractura de la cáscara (Naik & Hayes, 2019), y puede emplearse en conjunto con un aglutinante compuesto por una pasta de azúcar y agua.

Este es un material óptimo para la fabricación aditiva, aportando valor hacia una economía circular debido a que brindara oportunidades de reciclaje de un residuo poco utilizado, sus características y propiedades son adecuadas para la fabricación aditiva y finalmente las aplicaciones a las que podría ser orientada este tipo de material son muy amplias, un ejemplo de su utilización se ilustra en la Figura 1. De esta manera se demuestra otras alternativas, de uso de biomateriales, poco explorada, son posible su empleo en la FA, lo que promueve un desarrollo sostenible. (Sauerwein, 2020)

El conjunto de propuestas analizadas de materiales sintéticos y biomateriales que en combinaciones con otros materiales (compuestos), puedan ser empleado para la impresión 3D, es amplia y quedan múltiples oportunidades para seguir valorando el empleo de estos materiales reciclados, que brindan nuevas oportunidades para el desarrollo sostenible y de la ecología industrial, tal como se presenta en la Figura 3.

**Figura 3**

*Propuesta de Sostenibilidad en procesos de manufactura aditiva.*



*Nota.* Existen numerosos beneficios que se obtiene en el proceso de manufactura aditiva, respecto a la manufactura tradicional. Adaptado de Mirzaali et al., 2022.

La Figura 3, ilustra como la adopción de estas propuestas de uso de materiales reciclados y biomateriales, permite obtener de forma factible numerosos beneficios para el sector industrial, a los fines de impulsen la sostenibilidad industria.

#### 4. Conclusiones

La manufactura aditiva, o impresión 3D, continúa evolucionando rápidamente y consolidándose como una tecnología versátil y adaptable. Su capacidad para trabajar con una amplia variedad de materiales — desde metales y cerámicas hasta polímeros y compuestos— la convierte en una herramienta clave para la innovación industrial. En particular, los polímeros destacan por su bajo costo, facilidad de procesamiento y potencial para contribuir a un modelo de desarrollo sostenible. Su reutilización permite transformar residuos en nuevos productos, promoviendo principios de economía circular con beneficios sociales, económicos y ambientales.

Este estudio confirma la viabilidad del reciclaje de materiales como el ABS, PET y PLA, que pueden ser reprocesados mediante trituración y extrusión para ser utilizados nuevamente en tecnologías de modelado por deposición fundida (FDM). Los residuos de televisores, radios, juguetes, botellas plásticas y restos de impresiones 3D representan una fuente significativa de materia prima reciclable.

Además, se identificó un creciente interés por el uso de biopolímeros y compuestos orgánicos, como fibras de cáñamo, coco, lino, bambú, así como materiales derivados de la cera de abeja, colofonia y conchas de mejillón. Estos biomateriales no solo amplían las posibilidades técnicas de la impresión 3D, sino que también fortalecen su alineación con prácticas sostenibles, al reducir el impacto ambiental y promover el aprovechamiento de recursos renovables.

#### 5. Referencias bibliográficas

- Al-Oqla, F. (2023). Biomaterial Hierarchy Selection Framework Under Uncertainty for More Reliable Sustainable Green Products. *JOM*, 1-12. <https://doi.org/10.1007/s11837-023-05797-4>.
- Álvarez Vega, F. (2018). Caracterización de las propiedades físicas y mecánicas del bambú *Bambusa vulgaris* para uso estructural en Colombia. Universidad Nacional de Colombia. <https://repositorio.unal.edu.co/handle/unal/76733>
- Blanco, E., Fajardo, J., Carrasquero, E., Urbina, C., & León, J. B. (2020). Estudio de las propiedades a tensión de un material biocompuesto reforzado con haces de fibras cortas de bambú. *Revista UIS Ingenierías*, 19(3), 163-176. <https://www.redalyc.org/journal/5537/553768212019/553768212019.pdf>
- Barve, S., & Pesode, P. (2023). Additive manufacturing of metallic biomaterials: sustainability aspect, opportunity, and challenges. *Journal of Industrial and Production Engineering*, 40, 464 - 505. <https://doi.org/10.1080/21681015.2023.2229341>.
- Cantó, A. L. (2024). Revalorización de subproductos procedentes de la semilla del cáñamo (*Cannabis sativa*) para la obtención de biomateriales respetuosos con el medio ambiente (Doctoral dissertation, Universitat Politècnica de València). <https://dialnet.unirioja.es/servlet/tesis?codigo=372250>
- Caisa Yucailla, E. D., Padilla Martínez, M. P. ., & Ríos Lara, G. F. . (2020). El reciclaje de madera una herramienta para emprender y cuidar el planeta. *INNOVA Research Journal*, 5(1), 150–165. <https://doi.org/10.33890/innova.v5.n1.2020.1038>
- Christoph, R., Muñoz, R., & Hernández, Ángel. (2017). Manufactura Aditiva. *Realidad Y Reflexión*, 43, 97–109. <https://doi.org/10.5377/ryr.v43i0.3552>
- Cerón Pabón, J y Eraso Quintero, M. (2016). Estudio de factibilidad para la creación de una empresa para la fabricación de monturas para gafas, a partir del reciclado de materiales plásticos. Pereira : Universidad Tecnológica de Pereira. Disponible en: <https://hdl.handle.net/11059/7509>
- Chen, Q., Domigan, L., Kaur, M., Glasson, J., & Agnieray, H. (2021). Recent developments in sustainably sourced protein-based biomaterials. *Biochemical Society Transactions*, 49, 953 - 964. <https://doi.org/10.1042/BST20200896>.
- Depuydt, D. ,Ballthazar, M., Hendrickx, K., Six, W. , Ferraris, E., Desplentere F. y Van Vuure W. A. (2019.).



- «Production and characterization of bamboo and flax fiber reinforced polylactic acid filaments for fused deposition modeling (FDM).» *Polymer Composites*, vol. 40(5), pp. 1951-1963. <https://articles.researchsolutions.com/production-and-characterization-of-bamboo-and-flax-fiber-reinforced-polylactic-acid-filaments-for-fused-deposition-modeling-fdm/doi/10.1002/pc.24971>.
- Fratini F, Cilia G, Turchi B, Felicioli A. (2016). Beeswax: A minireview of its antimicrobial activity and its application in medicine. *Asian Pac J Trop Med*. Sep;9(9):839-843. doi: 10.1016/j.apjtm.2016.07.003.
- Fouladi, M. H., Namasivayam, S. N., Sekar, V., Marapan, P., Choo, H. L., Ong, T. K., ... & Baniotopoulos, C. (2020). Pretreatment studies and characterization of bio-degradable and 3d-printable filaments from coconut waste. *International Journal of Nanoelectronics and Materials*, 13(Special Issue), 137-148. <https://research.birmingham.ac.uk/en/publications/pretreatment-studies-and-characterization-of-bio-degradable-and-3>
- Hahladakis JN, Iacovidou E. (2019). An overview of the challenges and trade-offs in closing the loop of post-consumer plastic waste (PCPW): Focus on recycling. *J Hazard Mater*. Dec 15;380:120887. doi: 10.1016/j.jhazmat.2019.120887.
- Kaseem, M., Ur Rehman, Z., Hossain, S., Singh, A. K., & Dikici, B. (2021). A review on synthesis, properties, and applications of polylactic acid/silica composites. *Polymers*, 13(18), 3036. <https://www.mdpi.com/2073-4360/13/18/3036>
- Kreiger, M. A., Mulder, M. L., Glover, A. G., & Pearce, J. M. (2014). Life cycle analysis of distributed recycling of post-consumer high density polyethylene for 3-D printing filament. *Journal of cleaner production*, 70, 90-96. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0959652614001504>
- Lin, D., Wambersie, L., & Wackernagel, M. (2022). Estimating the Date of Earth Overshoot Day 2022: Nowcasting the World's Footprint & Biocapacity for 2022 (Informe técnico). Global Footprint Network. <https://www.overshootday.org/content/uploads/2022/06/Earth-Overshoot-Day-2022-Nowcast-Report.pdf>
- Liu J, Sun L, Xu W, Wang Q, Yu S, Sun J. Current advances and future perspectives of 3D printing natural-derived biopolymers. *Carbohydr Polym*. 2019 Mar 1;207:297-316. doi: 10.1016/j.carbpol.2018.11.077.
- Ligon SC, Liska R, Stampfl J, Gurr M, Mülhaupt R. Polymers for 3D Printing and Customized Additive Manufacturing. *Chem Rev*. 2017 Aug 9;117(15):10212-10290. doi: 10.1021/acs.chemrev.7b00074.
- Mirzaali, M. J., Moosabeiki, V., Rajaai, S. M., Zhou, J., & Zadpoor, A. A. (2022). Additive manufacturing of biomaterials—Design principles and their implementation. *Materials*, 15(15), 5457. <https://www.mdpi.com/1996-1944/15/15/5457>
- Mobarak, M., Mahmud, M., & Hossain, N. (2024). Emerging trends in biomaterials for sustainable food packaging: A comprehensive review. *Heliyon*, 10. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e24122>.
- Morseletto, P. (2023). Sometimes linear, sometimes circular: States of the economy and transitions to the future. *Journal of Cleaner Production*. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2023.136138>
- Nieto-Salas, D. (2021). La economía circular como un nuevo punto de vista de la economía y el desarrollo sostenible en la actualidad. *Revista Científica Saberes* 5.0, 1(2), 48-58. <https://revistas.saberescincopuntocero.com/index.php/rcs50/article/view/112>
- Orozco Duarte, E. B. (2023). Estudio del comportamiento de la concha de mejillón como material absorbente para eliminar metales pesados de las aguas residuales. <https://ruc.udc.es/entities/publication/c2eb11db-b984-4d57-ab61-dec90171bb13>

- Pakkanen, J., Manfredi, D., Minetola, P. and Iuliano, L. (2017) About the Use of Recycled or Biodegradable Filaments for Sustainability of 3D Printing. In: Campana, G., Howlett, R.J., Setchi, R. and Cimatti, B., Eds. (2017), *Sustainable Design and Manufacturing*. SDM. Smart Innovation, Systems and Technologies, Vol. 68, Springer International Publishing, Cham, 776-785. [https://doi.org/10.1007/978-3-319-57078-5\\_73](https://doi.org/10.1007/978-3-319-57078-5_73)
- Pérez, J., Rodríguez, C., Rodríguez, M., & Villacreses, C. (2020). Espacios maker: herramienta motivacional para estudiantes de ingeniería eléctrica de la Universidad Técnica de Manabí, Ecuador. *Espacios*, 41(02), 8. <http://es.revistaespacios.com/a20v41n02/a20v41n02p12.pdf>
- Putruele, José E, & Veneziani, Marcia C. (2015). Sustentabilidad, diseño y reciclaje. *Cuadernos del Centro de Estudios en Diseño y Comunicación. Ensayos*, (53), 123-131. Recuperado en 29 de junio de 2025, de [https://www.scielo.org.ar/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1853-35232015000300011&lng=es&tlng=es](https://www.scielo.org.ar/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1853-35232015000300011&lng=es&tlng=es).
- Ramesh, M., Rajeshkumar, L. N., Srinivasan, N., Kumar, D. V., & Balaji, D. (2022). Influence of filler material on properties of fiber-reinforced polymer composites: a review. *e-Polymers*, 22(1), 898-916. <https://www.degruyter.com/document/doi/10.1515/epoly-2022-0080/html>
- Revelo-Sánchez, O., Collazos-Ordóñez, C. A., & Jiménez-Toledo, J. A. (2018). El trabajo colaborativo como estrategia didáctica para la enseñanza/aprendizaje de la programación: una revisión sistemática de literatura. *TecnoLógicas*, 21(41), 115–134. <https://doi.org/10.22430/22565337.731>
- Taborda Ríos, JA (2019). Estudio de propiedades mecánicas de material compuesto a base de fibra de bambú para aclaraciones aeronáuticas utilizando manufactura aditiva (Tesis doctoral, Universidad Autónoma de Nuevo León). <http://eprints.uanl.mx/17998/1/1080288712.pdf>
- Urbinati, A., Franzò, S., Sassanelli, C., Rosa, P., Chiaroni, D., & Terzi, S. (2023). Exploiting 3-D printing for designing circular business models: A novel framework. *IEEE Transactions on Engineering Management*, 71, 9342-9356. <https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/10321716/>
- Vargas, C. P. P. (2022). Aditivación de materiales biodegradables mediante el uso de derivados de colofonia (Doctoral dissertation, Universitat Politècnica de València). <https://dialnet.unirioja.es/servlet/dctes?codigo=316075>
- Vega Guerrero, S., Rosales González, M. F., Salinas Ruiz, J., Rivera Yáñez, L., Dublan Barragán, B. S., JM, F. S. C., ... & Ortiz Verdín, A. A. (2021). Economía circular en manufactura. *Innovación y Desarrollo Tecnológico Revista Digital*, 13(2), 479-483. [https://iydt.wordpress.com/wp-content/uploads/2021/05/2\\_04\\_economia-circular-en-manufactura.pdf](https://iydt.wordpress.com/wp-content/uploads/2021/05/2_04_economia-circular-en-manufactura.pdf)
- Villaplana, A. C. (2017), Tecnologías para el desarrollo sostenible. *Revista de Filosofía de la Universidad de costa Rica*, vol. 56, LVI (144), 89-10 <https://archivo.revistas.ucr.ac.cr//index.php/filosofia/articulo/view/28333/28402>
- Sánchez, C. C. Z., Castro, G. B. L., & Anchundia, B. J. C. (2022). Materiales Poliméricos y el impacto ambiental: Una revisión. *Polo del Conocimiento: Revista científico-profesional*, 7(6), 596-614. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=9042528>
- Sauerwein, M. (2020). Additive manufacturing for design in a circular economy. *Delft Univ Technol*. [https://repository.tudelft.nl/file/File\\_c5c3bcd4-4cf0-42de-bed3-ad2fc9165f3e](https://repository.tudelft.nl/file/File_c5c3bcd4-4cf0-42de-bed3-ad2fc9165f3e)
- Sánchez, F. A. C., Boudaoud, H., Camargo, M., & Pearce, J. M. (2020). Plastic recycling in additive manufacturing: A systematic literature review and opportunities for the circular economy. *Journal of Cleaner Production*, 264, 121602. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0959652620316498>
- Zander, N.E., Park, J.H., Boelter, Z.R., & Gillan, M. (2019). Recycled Cellulose Polypropylene Composite Feedstocks for Material Extrusion Additive Manufacturing. *ACS Omega*, 4, 13879 - 13888. <https://www.semanticscholar.org/paper/Recycled-Cellulose-Polypropylene-Composite-for-Zander-Park/3631e000826c140ba6f468d8c4a1f483dd6871eb>
- Zhao, F., Włodarczyk-Biegun, M., Wu, X., Schirhagl, R., & Wang, H. (2025). Integrating melt electrowriting



# RIEMAT

Revista de Investigaciones en Energía,  
Medio Ambiente y Tecnología:

---

(MEW) PCL scaffolds with fibroblast-laden hydrogel toward vascularized skin tissue engineering. *Materials Today Bio*, 31. <https://doi.org/10.1016/j.mtbio.2025.101593>.

Zhou, X., Wang, Q., Feng, S., Deng, J., Zhu, K., Xing, Y., ... y Lu, L. (2023). Reciclaje de recursos de carbono a partir de PET residual para reducir las emisiones de dióxido de carbono: análisis y perspectiva de la tecnología de carbonización. *Journal of Renewable Materials*, 11 (5), 2085. <https://search.proquest.com/openview/e6ac7f03f952c57720ca9f1dd2cbe674/1?pq-origsite=gscholar&cbl=4577403>