UNIVERSIDAD DISTRITAL
FRANCISCO JOSÉ DE CALDAS

Tecnura

https://revistas.udistrital.edu.co/index.php/Tecnura/issue/view/1328

DOI: https://doi.org/10.14483/22487638.24364

REVISIÓN

# Desarrollo tecnológico de máquinas para producir filamento 3D a partir de botellas plásticas PET recicladas: una revisión

## Technological development of machines for producing 3D printing filament from recycled PET plastic bottles: a review

Yina Faizully Quintero Gamboa [1], Edwin Gilberto Medina Bejarano [2]

**Fecha de Recepción**: 11 de noviembre de 2025 **Fecha de Aceptación**: 13 de febrero de 2026

**Cómo citar:** Y. F. Quintero-Gamboa and E. G. Medina-Bejarano, «Desarrollo tecnológico de máquinas para producir filamento 3D a partir de botellas plásticas PET recicladas: una revisión», *Tecnura*, vol. 30, n.° 90, oct. 2026. 4–39. https://doi.org/10.14483/22487638.24364

## Resumen

**Contexto**: El aumento de residuos plásticos, especialmente de botellas de tereftalato de polietileno (PET), representa un reto ambiental y una oportunidad para impulsar la economía circular. En este escenario, la fabricación de filamento reciclado para impresión 3D surge como una alternativa sostenible que transforma desechos en insumos para la manufactura aditiva.
**Objetivo**: Analizar los avances científicos y tecnológicos sobre el reciclaje de botellas PET para producir filamento de impresión 3D, identificando tecnologías, tendencias y limitaciones reportadas en la literatura reciente.
**Metodología**: se realizó una revisión sistemática en Scopus, ScienceDirect y Google Scholar, aplicando ecuaciones de búsqueda con operadores booleanos y palabras clave en inglés y español. Los documentos se filtraron por pertinencia, aporte tecnológico y relación directa con la fabricación de filamento reciclado.
**Resultados**: Los estudios revisados evidencian un incremento en las investigaciones que emplean extrusión térmica controlada para transformar residuos plásticos en filamentos. Se destaca el desarrollo de máquinas y prototipos de bajo costo, con sistemas de control electrónico (Arduino y sensores térmicos) que mejoran la estabilidad y uniformidad del material. Los filamentos reciclados presentan propiedades mecánicas adecuadas para usos no estructurales, aunque con variaciones dimensionales.
**Conclusiones**: El reciclaje de botellas PET para fabricar filamento es técnica y ambientalmente viable. Persisten retos en la estandarización de procesos, degradación térmica y control dimensional, por lo que se recomienda fortalecer la investigación aplicada y el desarrollo de equipos modulares automatizados.
***Palabras clave:*** Filamento para Impresión 3D, Reciclaje, PET, Maquina, prototipo

1 Ingeniera Mecánica, M.C en ciencias de la Ingeniería Mecánica, Pd. D en Ingeniería Mecánica. Docente Universidad Distrital Fráncico José de Caldas. Email: yfquinterog@udistrital.edu.co

2 Ingeniero Mecánico, M.C en Ingeniería Mecánica, Pd. D (c) en Ingeniería Mecánica. Docente Escuela Tecnológica Instituto Técnico Central (ETITC).. Email: egmedinab@itc.edu.co

## Abstract

**Context**: The increasing generation of plastic waste, especially polyethylene terephthalate (PET) bottles, poses an environmental challenge and an opportunity to promote circular economy practices. In this context, producing recycled filament for 3D printing has emerged as a sustainable alternative that converts plastic waste into feedstock for additive manufacturing.
**Objective**: To analyze the scientific and technological advances related to PET bottle recycling for 3D printing filament production, identifying the main technologies, trends, and limitations reported in recent studies.
**Methodology**: A systematic literature review was conducted in Scopus, ScienceDirect, and Google Scholar, applying Boolean operators and equivalent keywords in English and Spanish. The selected studies were filtered by relevance, technological contribution, and direct relation to recycled filament manufacturing.
**Results**: The reviewed research shows increasing interest in converting plastic waste into filament through controlled thermal extrusion. A notable trend involves the development of low-cost machines and prototypes using electronic control systems (Arduino and thermal sensors) to enhance process stability and filament uniformity. The recycled filaments exhibit adequate mechanical performance for non-structural applications, though some dimensional variations persist.
**Conclusions**: Recycling PET bottles for 3D printing filament is a technically feasible and environmentally sustainable approach. However, challenges remain in process standardization, thermal degradation, and dimensional control. Further applied research and modular automated system development are required to strengthen sustainable and decentralized filament production.
***Keywords:*** 3D printing filament, Recycled, PET, Machine, prototipe

## 1. Introducción

De acuerdo con el Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA), la contaminación por plásticos se ha convertido en uno de los desafíos ambientales globales más urgentes del siglo XXI. Se calcula que entre 1950 y 2017 se produjeron cerca de 9200 millones de toneladas de plástico, de las cuales aproximadamente 7000 millones se convirtieron en residuos dispuestos en vertederos, océanos o ecosistemas terrestres [1]. Por su parte, los informes de la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos (OCDE) proyectan que hacia 2040 la producción y el uso de plásticos seguirán superando el crecimiento demográfico, alcanzando los 736 millones de toneladas anuales. Asimismo, se prevé que la mitad de estos plásticos continúe en vertederos y que una quinta parte sea gestionada inadecuadamente, agravando la problemática ambiental [2].

En Colombia, el panorama es igualmente crítico: se consumen anualmente alrededor de 1,25 millones de toneladas de plástico, de las cuales el 56 % corresponde a plásticos de un solo uso y el 74 % termina en rellenos sanitarios [3]. Las consecuencias de esta gestión deficiente son diversas e incluyen impactos severos en la fauna marina por enredo con macroplásticos, afectaciones en la salud pública debido a la liberación de microplásticos y aditivos químicos tóxicos, y un incremento en las emisiones de gases de efecto invernadero vinculadas a su producción y disposición final [4], [5].

Estas dinámicas han motivado a la Organización de las Naciones Unidas (ONU) a establecer metas globales en el marco de los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS), promoviendo la reutilización de residuos plásticos para mitigar su impacto ambiental, en particular a través del ODS 12 (Producción y consumo responsables) [6] y el ODS 14 (Vida submarina) [7].

En respuesta a estas directrices, Colombia ha formulado políticas públicas orientadas a la transición hacia la economía circular [8]–[10]. Entre estas iniciativas destaca la Ley 2232 de 2022, que reglamenta la eliminación gradual de determinados productos plásticos de un solo uso con horizonte al año 2030 [11]. Otras normativas complementarias en materia de gestión integral de residuos se sintetizan en la Tabla 1.

Para dar cumplimiento a esta hoja de ruta, el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible ha impulsado el Plan Nacional para la Gestión Sostenible de los Plásticos de Un Solo Uso, el cual plantea que para 2030 la totalidad de los productos plásticos puestos en el mercado sean reutilizables o reciclables [8]. No obstante, la tasa de aprovechamiento en el país se mantiene reducida: según datos oficiales, se reciclan únicamente cerca de 160 000 toneladas de plástico al año [8].

Esta cifra evidencia una baja valorización del plástico posconsumo, especialmente del polietileno tereftalato (PET), material ampliamente empleado en el envasado de bebidas. A pesar de ser 100 % reciclable, el PET de grado botella —un termoplástico semicristalino caracterizado por su elevada resistencia al impacto y a la tracción, estabilidad térmica y resistencia química [12], [13]— presenta aún un potencial de reaprovechamiento subutilizado en las cadenas productivas nacionales.

**Tabla 1.** *Normativas Colombianas que promueven la gestión de residuos plásticos*

| NORMATIVA O DOCUMENTO | ENTIDAD EMISORA | DESCRIPCIÓN |
|---|---|---|
| **Decreto Ley 2811 de 1974** [14] | Presidencia de la República | Por el cual se dicta el Código Nacional de Recursos Naturales Renovables y de Protección al medio ambiente. Su objetivo principal es preservar y restaurar el ambiente, conservar los recursos naturales renovables (como el agua, el aire y la tierra) y prevenir los daños por la explotación de recursos no renovables. Regula cómo deben manejarse estos recursos, promoviendo su uso eficiente, coordinado y no perjudicial para el interés general y el derecho de terceros. |
| **Ley 9 de 1979 Código Sanitario Nacional** [15] | Ministerio de Salud | Por la cual se dictan Medidas Sanitarias. La ley regula aspectos como la calidad del agua, la disposición de residuos sólidos y líquidos, la protección de la salud de los trabajadores y la seguridad en edificaciones y en el manejo de materiales. |
| **Resolución 668 de 2016** [16] | Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible | Por la cual se reglamente el uso racional de bolsas plásticas y se adoptan otras disposiciones. Exige a los grandes distribuidores de bolsas plásticas formular e implementar un programa para su uso racional. |
| **Decreto 2198 de 2017** [17] | Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible | Establecer los requisitos para aplicar tarifas diferenciales al Impuesto Nacional al Consumo de Bolsas Plásticas |

| | | |
|---|---|---|
| **Resolución 1397 25 Julio 2018** [18] | Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible | Por la cual se adiciona la resolución 668 de 2016 sobre el uso racional de bolsas plásticas y se adoptan otras disposiciones. (Código de Colores) |
| **Resolución 1407 de 2018** [19] | Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible | Por la cual se reglamenta la gestión ambiental de los residuos de envases y empaques de papel, cartón, plástico, vidrio, metal y se toman otras determinaciones. Regula la gestión y aprovechamiento de residuos plásticos. Incentiva su transformación en nuevos productos industriales. |
| **Resolución 2184 de 2019** [20] | Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible | Modifica la resolución 668 de 2016 sobre uso racional de bolsas plásticas y se adoptan otras disposiciones. Establece el código de colores blanco, verde y negro para la separación de residuos sólidos en Colombia. |
| **Ley 1973 de 2019** [21] | Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible | Por medio de la cual prohíbe el ingreso, uso y circulación de bolsas y otros materiales plásticos en el departamento Archipiélago de San Andrés, Providencia y Santa Catalina e Islas Menores que lo componen. |
| **Resolución 1342 de 2020** [22] | Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible | Modifica la Resolución 1407 de 2018 del Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible en Colombia. Esta normativa reglamenta la gestión de residuos de envases y empaques de papel, plástico, vidrio y metal, estableciendo obligaciones para productores y consumidores. |
| **Ley 2232 de 2022** [11] | Congreso de la República de Colombia, 2022 | Establece la reducción gradual del uso de plásticos de un solo uso y promueve metas de recolección y reaprovechamiento.<br>Orienta políticas para minimizar residuos plásticos e impulsa su uso en aplicaciones industriales sostenibles (economía circular). |
| **Norma técnica colombiano NTC 6744** [23] | ICONTEC | Esta norma da las pautas para la caracterización de reciclados de poli(tereftalato etileno) (PET). Proporciona las características más importantes y los métodos de ensayo asociados para evaluar los reciclados de PET destinados a ser utilizados en la producción de productos semiacabados y acabados. |

**Fuente:** Autores.

Específicamente para el PET, existen tres vías principales para su reaprovechamiento. La primera corresponde al reciclaje mecánico, en el cual el material recuperado se somete a etapas de trituración, lavado y posterior procesamiento térmico (inyección o extrusión) para la fabricación de nuevos productos plásticos. La segunda vía es el reciclado químico, que involucra la despolimerización del material para recuperar sus monómeros de partida, los cuales, tras una nueva síntesis por polimerización, permiten obtener polímeros vírgenes de alta pureza. La tercera alternativa es el reciclaje térmico o valorización energética, donde los residuos se someten a incineración controlada para la recuperación de energía calórica [24]–[26]. La Figura 1 esquematiza estos tres enfoques: a) reciclaje mecánico tradicional, b) reciclaje químico y c) reciclaje térmico. Conviene precisar que los procesos químico y térmico demandan una infraestructura tecnológica e inversión de capital sustancialmente mayores en comparación con el reciclaje mecánico.

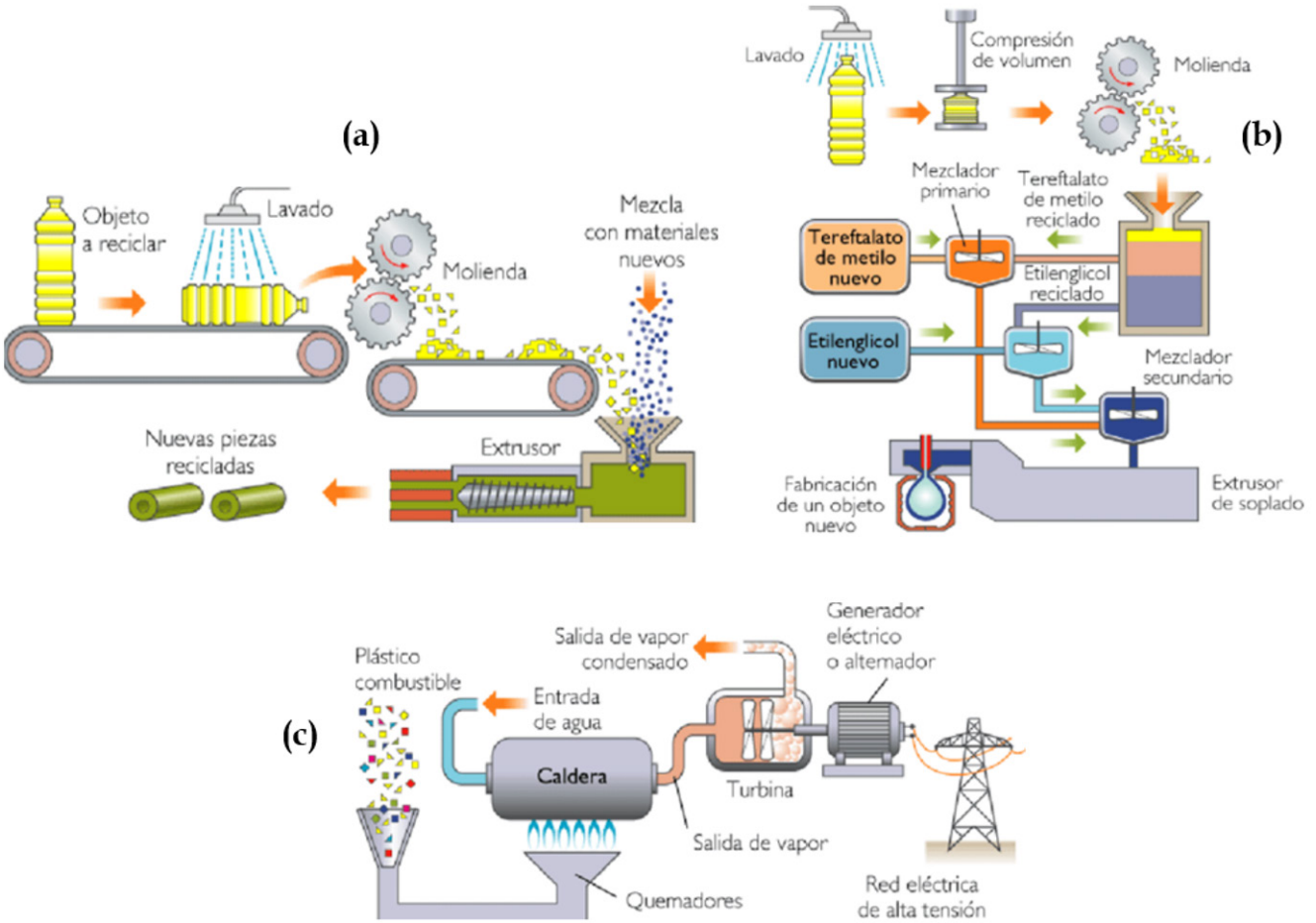


**Figura 1.** *Esquema reciclaje mecánico, químico y térmico de PET*

**Fuente:** [25].

Las aplicaciones para el material de botellas PET recicladas son diversas. Además de la fabricación convencional de nuevos envases y elementos plásticos, se destaca su uso en el sector de la construcción como aditivo o refuerzo sintético en matrices de concreto y mortero, mejorando su comportamiento mecánico y ductilidad. Asimismo, se emplea en la estabilización de suelos arcillosos para optimizar la capacidad de soporte en obras geotécnicas, en el desarrollo de componentes prefabricados y en la manufactura de baldosas reforzadas [27]–[33]. En el sector textil, el PET reciclado se utiliza ampliamente en la hilatura y confección de tejidos de poliéster de alto desempeño [34]–[37]. Sin embargo, una de las aplicaciones más innovadoras —y que se alinea con las metas del Plan Nacional para la Gestión Sostenible de los Plásticos de Un Solo Uso— es la transformación de este residuo en filamento o materia prima para manufactura aditiva. Esta estrategia facilita la valorización del residuo directamente en la fuente. Paralelamente, la impresión 3D ha experimentado un crecimiento acelerado debido a su flexibilidad de diseño, eficiencia en el aprovechamiento del material y capacidad para generar geometrías complejas inaccesibles mediante métodos de fabricación convencionales [38], [39], democratizando así su implementación.

En la Figura 2 se ilustra la evolución del mercado global de manufactura aditiva desde 2018, valorado en $2.796,4 millones de USD para el año 2024 y con una proyección de crecimiento hacia los $12.821,9 millones de USD para 2030 [40].




**Figura 1.** E*stadísticas del Mercado para el sector de la manufactura aditiva*

**Fuente:** [40].

La viabilidad de transformar botellas de PET posconsumo en filamento para impresión 3D ha motivado un interés creciente en la comunidad científica durante los últimos años. Sin embargo, los desarrollos vinculados al diseño de máquinas o prototipos dedicados a este proceso continúan siendo limitados y se encuentran dispersos en la literatura, lo que dificulta evaluar el grado de madurez tecnológica acumulado y determinar si existen dispositivos funcionales, operativamente accesibles y viables en costo. Este desafío cobra especial relevancia para pequeños emprendedores y entornos domésticos, donde la conversión directa del residuo en el punto de generación (*in situ*) representa una alternativa efectiva para evitar la disposición final inadecuada en Rellenos Sanitarios o ecosistemas estratégicos.

En este contexto, el presente artículo de revisión sistemática analiza y sintetiza los avances reportados en la literatura científica respecto al diseño, instrumentación y desarrollo de máquinas para la producción de filamento de PET reciclado orientado a manufactura aditiva. De manera específica, se identifican las principales configuraciones mecánicas propuestas, los métodos de acondicionamiento del material, las variables críticas de operación y las tendencias tecnológicas dominantes, estableciendo un marco de referencia técnico que oriente el diseño de nuevas arquitecturas de procesamiento y fortalezca la valorización de este termoplástico a pequeña escala.

## 2. Metodología

La estrategia metodológica adoptada para la selección, filtrado y sistematización de la literatura científica sigue los lineamientos estandarizados para revisiones de literatura técnica, evaluando la validez metodológica, la solidez de los resultados y su aplicabilidad tecnológica [41]. El proceso se estructuró en cuatro etapas consecutivas orientadas a mapear el estado del arte en el desarrollo de filamentos para manufactura aditiva a partir de polímeros reciclados.

En primer lugar, se ejecutó la búsqueda inicial mediante ecuaciones compuestas por términos clave y operadores booleanos (Tabla 2). Dichas cadenas se aplicaron en las bases de datos bibliográficas *Scopus* y *ScienceDirect*, garantizando la inclusión de fuentes indexadas y sometidas a revisión por pares.

Posteriormente, se depuraron los registros duplicados y se realizó un tamizaje preliminar de títulos y resúmenes para corroborar su pertinencia temática. Esta fase permitió consolidar cincuenta y cinco (55) artículos, los cuales constituyen el núcleo base para la síntesis temática de la Tabla 3 y el análisis bibliométrico de tendencias.

En la tercera etapa, este conjunto se sometió a un filtro de inclusión estricto para aislar aquellas investigaciones centradas explícitamente en el diseño, instrumentación y fabricación de máquinas o prototipos para la extrusión de filamento a partir de botellas de PET posconsumo, evidenciando un volumen reducido de literatura orientada a este desarrollo mecánico específico.

Finalmente, con el propósito de mitigar el sesgo de publicación y capturar desarrollos tecnológicos emergentes, la búsqueda se complementó en *Google Scholar* y repositorios institucionales. Se incluyeron patentes y documentos de tesis/preprints validados mediante sustentación académica formal, lo que permitió robustecer el análisis de arquitecturas mecánicas e integrar el inventario de prototipos especializado que se presenta en la Tabla 4.

**Tabla 2.** *Términos utilizados dentro de la ecuación de búsqueda*

| Concepto Clave | Términos en español | Términos en inglés |
|---|---|---|
| **Polímero/Material** | PET, rPET, "Tereftalato de polietileno", Plástico | PET, rPET, "Polyethylene Terephthalate", Plastic |
| **Proceso/Reciclaje** | Reciclaje, Reciclado, Reutilización, Upcycling, Residuos | Recycling, Upcycling, Waste |

| | | |
|---|---|---|
| **Máquina/Método** | Extrusora, Extrusión, "Sistema de extrusión", "Máquina extrusora" | Extruder, Extrusion, Recyclebot, "Pultrusion machine", "Filament Maker" |
| **Producto Final** | Filamento, "Producción de filamento" | Filament, "Filament production" |
| **Aplicación** | "Impresión 3D", "Manufactura Aditiva" | "3D Printing", "Additive Manufacturing", FFF |

**Fuente:** Autores.

Con el propósito de mapear la evolución reciente del desarrollo tecnológico en la fabricación de filamento para impresión 3D a partir de polímeros residuales, la revisión se delimitó temporalmente al periodo comprendido entre 2015 y 2025. Esta ventana de observación fue seleccionada debido a que en dicho decenio se concentró el mayor crecimiento de la producción científica en manufactura aditiva sostenible y en la valorización de residuos plásticos para el desarrollo de materiales de impresión 3D. Los documentos seleccionados dentro de esta ventana temporal se analizaron cronológicamente, permitiendo identificar tendencias, maduración tecnológica progresiva y transformaciones en los enfoques de diseño de máquinas y prototipos reportados en la literatura.

Si bien la exploración inicial abarcó investigaciones generales sobre reciclaje de polímeros y procesamiento de filamentos, el criterio de inclusión priorizó aquellos trabajos enfocados explícitamente en el diseño, instrumentación, evaluación o propuesta de máquinas y prototipos para la producción de filamento a partir de botellas de PET posconsumo. En consecuencia, la síntesis analítica privilegia las contribuciones orientadas a la arquitectura de sistemas de extrusión, diseño mecánico de componentes y estrategias de automatización y control térmico, garantizando la convergencia técnica con el objetivo del estudio.

## Resultados y discusión

La presentación de resultados se estructura con énfasis en la evolución del diseño de máquinas y prototipos dedicados a la conversión de botellas de PET posconsumo en filamento para impresión 3D, analizando sus especificaciones técnicas y contribuciones al desarrollo de la manufactura aditiva sostenible. A partir de las ecuaciones de búsqueda aplicadas en las bases de datos indexadas (*Scopus* y *ScienceDirect*), y tras la depuración de registros duplicados y el tamizaje temático, se consolidaron cincuenta y cinco (55) investigaciones, las cuales se sintetizan en la Tabla 3. Dicho corpus documental se presenta en orden cronológico ascendente con el propósito de evidenciar la trayectoria de maduración tecnológica y las tendencias dominantes de I+D+i en el área.

**Tabla 3.** *Resultados de las ecuaciones de búsqueda en Scopus y ScienceDirect*

| TITULO | AUTORES | FUENTE | AÑO | Síntesis |
|---|---|---|---|---|
| Cradle to Cradle® design for 3D printing [42] | Chong, S., Chiu, H.-L., Liao, Y.-C., Hung, S.-T., Pan, G.-T. | Chemical Engineering Transactions, 45, pp. 1669–1674 | 2015 | Propone reemplazar el reciclaje tradicional, que degrada materiales, por un modelo Cradle to Cradle® en la impresión 3D que cierre el ciclo productivo mediante reciclaje distribuido, uso de energías renovables y certificación de filamentos, con el fin de eliminar residuos y promover procesos regenerativos.. |
| About the use of recycled or biodegradable filaments for sustainability of 3D printing: State of the art and research opportunities [43] | Pakkanen, J., Manfredi, D., Minetola, P., Iuliano, L. | Smart Innovation Systems and Technologies, 68, pp. 776–785 | 2017 | Analiza la sostenibilidad de la impresión 3D, destacando la necesidad de reciclar residuos y desarrollar filamentos biodegradables o de origen biológico en sustitución de plásticos derivados del petróleo. Presenta una revisión crítica del estado del arte sobre filamentos reciclados y compostables. |
| Design and Testing of a Recycled 3D Printed and Foldable Unmanned Aerial Vehicle for Remote Sensing [44] | Mosaddek, A., Kommula, H.K.R., Gonzalez, F. | 2018 International Conference on Unmanned Aircraft Systems Icuas 2018, pp. 1207–1216, 8453284 | 2018 | Valida el PET de botellas posconsumo como material funcional para aeronaves no tripuladas, demostrando que sus propiedades mecánicas soportan cargas operativas reales. |
| The Effects of Iron, Silicon, Chromium, and Aluminum Additions on the Physical and Mechanical Properties of Recycled 3D Printing Filaments [45] | Pan, G.-T., Chong, S., Tsai, H.-J., Lu, W.-H., Yang, T.C.-K. | Advances in Polymer Technology, 37(4), pp. 1176–1184 | 2018 | Investiga el uso de nanopolvos metálicos para compensar la pérdida de calidad en polímeros reciclados, logrando mejoras del 37 % en el límite elástico. |
| Recycled Polymer Feedstocks for Material Extrusion Additive Manufacturing [46] | Zander, N.E. | ACS Symposium Series, 1315, pp. 37–51 | 2019 | Analiza la reutilización y el reciclaje de termoplásticos en la fabricación aditiva, destacando la viabilidad de reciclar filamentos comerciales y aprovechar plásticos de consumo como materia prima sostenible y de bajo costo. Además, señala que los compuestos verdes pueden mejorar las propiedades mecánicas de las piezas impresas y que la fabricación distribuida, basada en residuos plásticos locales, ofrece una alternativa económicamente viable para superar las limitaciones del reciclaje tradicional. |

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| Design and Testing of Recycled 3D Printed Foldable Unmanned Aerial Vehicle for Remote Sensing [47] | Niemand, J., Mathew, S.J., Gonzalez, F. | 2020 International Conference on Unmanned Aircraft Systems Icuas 2020, pp. 892–901, 9213961 | 2020 | Presenta el diseño y la optimización de un vehículo aéreo no tripulado (VANT) con fuselaje plegable fabricado mediante impresión 3D con PET reciclado, destinado a aplicaciones de teledetección. Además de validar su viabilidad técnica, incorpora mejoras como protección de hélices, circuito impreso (PCB) integrado y pruebas en condiciones climáticas extremas, demostrando que es posible desarrollar VANT funcionales, rentables y ambientalmente sostenibles que contribuyan a reducir residuos plásticos. |
| Choosing products for decentralized manufacturing: Utilizing recycled 3D printing filament in India and Germany [48] | Büth, L., Juraschek, M., Thiede, S., Herrmann, C. | Sustainable Production Life Cycle Engineering and Management, pp. 31–39 | 2020 | Presenta el proyecto 3-CYCLE, el cual propone producir filamento para impresión 3D a partir de residuos plásticos locales, promoviendo la fabricación descentralizada sostenible. El estudio desarrolla un marco de evaluación con criterios jerárquicos y métodos multicriterio (TOPSIS, WSM y WPM) para seleccionar los productos más adecuados para fabricarse con filamento reciclado, validándolo mediante un caso de estudio que compara alternativas en distintos contextos, como India y Alemania. |
| A Review on Mechanical Properties Modification of Polymer with Talc Powder [49] | Mak, S.L., Wu, M.Y.T., Tang, W.F., Li, C.H., Chan, T.W. | Ispce Asia 2021 IEEE International Symposium on Product Compliance Engineering Asia Proceeding | 2021 | Analiza el uso de talco en polvo y bioaceite de residuos alimentarios como aditivos para mejorar las propiedades mecánicas de polímeros reciclados usados en filamentos de impresión 3D. Los resultados muestran que el talco aumenta la rigidez, la cristalización y la estabilidad térmica, aunque un exceso puede disminuir la resistencia al impacto y la tensión a la rotura, lo que evidencia la necesidad de optimizar la proporción del aditivo. |
| Recycling Polymer Blend made from Post-used Styrofoam and Polyethylene for Fuse Deposition Modelling [50] | Yap, E.P., Koay, S.C., Chan, M.Y., ... Ong, T.K., Tshai, K.Y. | Journal of Physics Conference Series, 2120(1), 012021 | 2021 | Propone reciclar poliestireno expandido convirtiéndolo en filamento de impresión 3D mediante su mezcla con polietileno de baja densidad (rPS/LDPE). La mezcla mostró buena imprimibilidad, mayor ductilidad y estabilidad térmica, aunque con una menor resistencia a la tracción debido a la incompatibilidad entre fases, posicionándola como una alternativa viable para filamentos FDM.. |
| Open Source Filament Diameter Sensor for Recycling, Winding, and Additive Manufacturing Machines [51] | Petsiuk, A., Pearce, J.M. | Journal of Manufacturing Science and Engineering Transactions of the ASME, 143(10), 105001 | 2021 | Desarrolla y valida un sensor de diámetro de filamento de código abierto (*open-source*) para reciclaje y bobinado en impresión 3D, capaz de medir con precisión diferentes polímeros y analizar la topografía superficial del filamento reciclado. Este sistema modular permite un control detallado del proceso de extrusión, mejorando la calidad del producto final y ampliando las posibilidades de fabricación aditiva de materiales compuestos. |

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| Characterization of WEEE plastics and their potential valorisation through the production of 3D printing filaments [52] | Cafiero, L., De Angelis, D., Di Dio, M., ... Tuffi, R., Ubertini, A. | Journal of Environmental Chemical Engineering, 9(4), 105532 | 2021 | Analiza plásticos provenientes de residuos de aparatos eléctricos y electrónicos (RAEE) para su valorización en filamentos de impresión 3D. Tras caracterizar, lavar y extruir las muestras seleccionadas, se fabricaron especímenes de prueba que mostraron una calidad comparable a la de filamentos comerciales, pese a la heterogeneidad y la presencia de contaminantes en algunas fracciones, demostrando la viabilidad técnica del reciclaje de plásticos electrónicos. |
| Development of 3D Printing Filament Material Using Recycled Polyethylene Terephthalate Reinforced with Sugar Palm Fiber [53] | Muhammad Arief, A.G., Nuzaimah, M., Nadlene, R., Radzi, A.M. | Lecture Notes in Mechanical Engineering, pp. 17–21 | 2022 | Desarrolla filamentos de impresión 3D combinando PET reciclado (rPET) con fibra de palma de azúcar (SPF), aprovechando las propiedades de la fibra como refuerzo para mejorar la resistencia, la termoestabilidad, la ligereza y la transparencia. Esta combinación ofrece un material funcional y sostenible, promoviendo la fabricación aditiva mientras contribuye a la reducción de residuos plásticos. |
| Towards sustainability in 3D printing of thermoplastic composites: Evaluation of recycled carbon fibers as reinforcing agent for FDM filament production and 3D printing [54] | Giani, N., Mazzocchetti, L., Benelli, T., Picchioni, F., Giorgini, L. | Composites Part A Applied Science and Manufacturing, 159, 107002 | 2022 | Demuestra que los filamentos de PLA reforzados con fibras de carbono recicladas (rCF) ofrecen un rendimiento termomecánico comparable al de aquellos con fibras vírgenes, logrando incrementos en el módulo elástico y una reducción en el coeficiente de expansión térmica. Esto confirma que las rCF constituyen una alternativa viable y económicamente ventajosa para producir filamentos reforzados. |
| Influence of plastic recycling—a feasibility study for additive manufacturing using glycol modified polyethylene terephthalate (PETG) [55] | Bremer, M., Janoschek, L., Kaschta, D., Schneider, N., Wahl, M. | SN Applied Sciences, 4(5), 156 | 2022 | Evalúa la viabilidad de fabricar filamento de PETG reciclado para impresión 3D, comparando distintas proporciones de material reciclado y virgen. Los resultados muestran que, tras un ciclo de reprocesamiento, el PETG reciclado mantiene una adecuada procesabilidad e imprimibilidad, con solo una ligera disminución en la resistencia a la tracción y el módulo de Young, lo que confirma su potencial de reutilización en fabricación aditiva. |
| Recycled Polymer for FDM 3D Printing Filament Material: Circular Economy for Sustainability of Additive Manufacturing [56] | Shiferaw, M.Z., Gebremedhen, H.S. | Lecture Notes of the Institute for Computer Sciences Social Informatics and Telecommunications Engineering Lnicst, 412 LNICST, pp. 243–261 | 2022 | Analiza el potencial del plástico reciclado posconsumo como filamento para impresión 3D, destacando su capacidad para mitigar la contaminación ambiental y promover esquemas de sostenibilidad. Se discuten los efectos de la degradación y las impurezas sobre las propiedades mecánicas y térmicas del material, el uso de aditivos y compatibilizantes para optimizar su desempeño, y las oportunidades futuras de I+D+i en este campo. |

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| Reprocessing of 3D printing filament's fragment by hydrolysis and recycling into the formation of bioplastic [57] | Nurin Zarifah Mohd Zairullisham, Umairah Hannan Ab Hakim , Hatika Kaco, Amilin Shahida Saadon, Mohd Shaiful Sajab | Materials Today: Proceedings2022 | 2022 | Investiga el reciclaje químico y mecánico de PET y PLA para reducir residuos plásticos en fabricación aditiva. El PET se depolimeriza en ácido tereftálico (TPA) mediante hidrólisis, mientras que el PLA se solubiliza y plasticiza con glicerol para producir bioplásticos. Los resultados muestran que ambos procesos permiten obtener insumos de valor agregado y bajo costo a partir de polímeros de desecho, ofreciendo una alternativa sostenible para la gestión de residuos. |
| Short basalt fibre reinforced recycled polypropylene filaments for 3D printing [58] | Pouyan Ghabezi, Tomas Flanagan,Noel Harrison | Materials Letters1 November 2022 | 2022 | Desarrolla filamentos para impresión 3D a partir de polipropileno reciclado (rPP) proveniente de bandejas de hongos, reforzado con fibra corta de basalto. Tras optimizar los parámetros de extrusión, los filamentos con un 5 %en peso de basalto mostraron adecuada calidad superficial, buena dispersión de la fibra y un incremento en las propiedades mecánicas, posicionándolos como una alternativa viable y sostenible para la fabricación aditiva |
| Development and characterization of sustainable 3D printing filaments using post-consumer recycled PET: processing and characterization [59] | Ror, C.K., Negi, S., Mishra, V. | Journal of Polymer Research, 30(9), 350 | 2023 | Desarrolla filamentos para impresión 3D a partir de PET reciclado de botellas de agua y bebidas carbonatadas, evidenciando propiedades mecánicas comparables a las del PET virgen. Los filamentos de rPET presentan valores adecuados de módulo elástico, resistencia a la tracción y deformación, demostrando su viabilidad técnica para la fabricación de componentes estructurales de alta calidad. |
| Additive Manufacture of Recycled Poly(Ethylene Terephthalate) Using Pyromellitic Dianhydride Targeted for FDM 3D-Printing Applications [60] | Alzahrani, M., Alhumade, H., Simon, L., ... Madhuranthakam, C.M.R., Elkamel, A. | Sustainability Switzerland, 15(6), 5004 | 2023 | Demuestra que el PET reciclado (rPET) puede procesarse como filamento de impresión 3D mediante extrusión reactiva con un 0,75 % de dianhídrido piromelítico (PMDA), incrementando su viscosidad intrínseca y resistencia de fundido (melt strength). El filamento resultante cumple con las especificaciones de tolerancia dimensional y permite la fabricación de geometrías tridimensionales, ofreciendo una alternativa viable para la valorización de rPET. |
| Recycling PET Bottles for 3D-Printing Filament: Effect of Chain Extender [61] | Pongmuksuwan, P., Intawong, N., Srisungsitthisunti, P. | Materials Science Forum, 1103, pp. 103–108 | 2023 | Analiza el efecto de un extensor de cadena sobre las propiedades del rPET para la obtención de filamentos de impresión 3D, evidenciando un incremento en la viscosidad, la rigidez y la estabilidad térmica, aunque con una ligera reducción en la cristalinidad y la resistencia al impacto. Los hallazgos respaldan el desarrollo de filamentos reciclados de alto desempeño en el marco de la economía circular. |

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| The Influence of Thermoplastic Composite Recycling on the Additive Manufacturing Process and In-Use Phase as Candidate Materials for Wearable Devices Applications [62] | Papatheodorou, A., Gavalas, I., Ntenekou, D., Karatza, A. | Polymers, 15(18), 3775 | 2023 | Evalúa la reciclabilidad de materiales compuestos termoplásticos reforzados con fibra de carbono y nanopartículas magnéticas en impresión 3D FFF. Tras múltiples ciclos de reprocesamiento y ajuste de parámetros, los materiales mantuvieron una adecuada procesabilidad e imprimibilidad, aunque se observaron alteraciones morfológicas y efectos citotóxicos *in vitro*, lo que evidencia la necesidad de considerar la bioseguridad en el desarrollo de dispositivos portátiles (*wearables*). |
| Development of sustainable 3D printing filaments using recycled/ virgin ABS blends: Processing and characterization [63] | Mishra, V., Ror, C.K., Negi, S., Kar, S., Borah, L.N. | Polymer Engineering and Science, 63(7), pp. 1890–1899 | 2023 | Desarrolla filamentos sostenibles de acrilonitrilo butadieno estireno (ABS) para impresión 3D mediante la formulación de mezclas de ABS reciclado y virgen (10 % a 50% ). Las mezclas con un 80 % de material reciclado y 20 % de material virgen mostraron un desempeño mecánico comparable al ABS comercial, demostrando la factibilidad de fabricar componentes de calidad técnica a partir de residuos poliméricos. |
| Integrating Exposure Assessment and Process Hazard Analysis: The Nano-Enabled 3D Printing Filament Extrusion Case [64] | Saliakas, S., Damilos, S., Karamitrou, M., ... Charitidis, C., Koumoulos, E.P. | Polymers, 15(13), 2836 | 2023 | Evalúa la exposición a nanopartículas durante la producción de filamentos 3D a partir de TPU y PA12 reciclados reforzados con óxido de hierro ($Fe_3O_4$), usando una línea piloto de extrusión. Mediante mediciones de partículas y análisis FMEA y AFA, se identificaron posibles modos de falla y se propusieron acciones correctivas, destacando la importancia de controlar riesgos para la salud y seguridad en la fabricación de nanocompuestos reciclados para impresión 3D. |
| Circular Economy Electrochemistry: Recycling Old Mixed Material Additively Manufactured Sensors into New Electroanalytical Sensing Platforms [65] | Crapnell, R.D., Sigley, E., Williams, R.J., ... Bonacin, J.A., Banks, C.E. | ACS Sustainable Chemistry and Engineering, 11(24), pp. 9183–9193 | 2023 | Demuestra que los sensores electroanalíticos impresos en 3D pueden reciclarse para producir filamentos conductores y no conductores mediante procesamiento térmico, manteniendo una adecuada calidad del material tras múltiples ciclos. Los filamentos reciclados se emplearon en la fabricación de nuevas plataformas de detección de acetaminofén, las cuales igualaron el rendimiento electroquímico de los sensores originales, destacando un enfoque sostenible y de economía circular en la fabricación aditiva. |
| Colombian Sustainability Perspective on Fused Deposition Modeling Technology: Opportunity to Develop Recycled and Biobased 3D Printing Filaments [66] | Morales, M.A., Maranon, A., Hernandez, C., Michaud, V., Porras, A. | Polymers, 15(3), 528 | 2023 | Analiza el uso de polímeros reciclados y biocompuestos reforzados con fibras naturales en impresión 3D FDM, destacando su potencial para mitigar la contaminación ambiental y promover la economía circular. Se enfatiza el contexto de Colombia, donde la adopción de la fabricación aditiva articulada con la biodiversidad local permite el desarrollo de materiales sostenibles alineados con los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) y la Agenda 2030. |

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| Net zero on 3D printing filament recycling: A sustainable analysis [67] | Bankole I. Oladapo, Oluwole K. Bowoto, Victor A. Adebiyi, Omolayo M. Ikumapayi | Science of The Total Environment10 October 2023 | 2023 | Analiza la sostenibilidad del reciclaje de filamentos para impresión 3D, evaluando su capacidad para reducir la generación de residuos plásticos y contribuir a las metas de cero emisiones netas. Mediante una revisión de literatura y entrevistas a expertos, se concluye que la viabilidad del proceso depende de la adopción de un enfoque holístico que abarque la totalidad del ciclo de vida del filamento, promoviendo cadenas de valor circulares. |
| Feasibility Study for the Manufacturing of 3D Printing Filaments from Recycled PET: A Design of Experiments Approach [68] | Sosa Valenzuela, G.E., Pascua Cantarero, P.M. | Journal of Fluid Flow Heat and Mass Transfer, 11, pp. 388–396 | 2024 | Evalúa la viabilidad de reciclar botellas de PET para producir filamentos de impresión 3D en un entorno universitario de Honduras. Se desarrolló una máquina extrusora, se fabricaron filamentos a partir de envases de diversos colores y volúmenes, y se imprimieron probetas cilíndricas sometidas a ensayos de compresión. Los resultados confirman que tanto el color como el volumen de la botella afectan significativamente la resistencia mecánica de las piezas, destacando el potencial del rPET como un filamento económico y funcional frente al PLA. |
| Sustainable fabrication of 3D printing filament from recycled PET plastic [69] | Nikam, M., Pawar, P., Patil, A., ... Mokal, K., Jadhav, S. | Materials Today Proceedings, 103, pp. 297–302 | 2024 | Analiza la viabilidad de fabricar filamento de impresión 3D a partir de botellas de PET recicladas, logrando un diámetro nominal constante de 1,65 mm. Mediante análisis y simulación por elementos finitos (FEA), se compararon sus propiedades mecánicas con las del PLA convencional, destacando el potencial del rPET como alternativa sostenible para mitigar la acumulación de residuos poliméricos en la fabricación aditiva. |
| Feasibility of Manufacturing and Utilizing Recycled PET 3D Printing Filaments through Design of Experiments [70] | Valenzuela, G.E.S. | Proceedings of the World Congress on Mechanical Chemical and Material Engineering | 2024 | Investiga la viabilidad de reciclar botellas de polietileno tereftalato (PET) para la obtención de filamentos de impresión 3D. Se desarrolló un prototipo de extrusión y se produjeron filamentos a partir de envases de distintos colores y capacidades. Las probetas cilíndricas impresas se sometieron a pruebas de compresión y se compararon con especímenes de ácido poliláctico (PLA). El análisis factorial evidenció que la pigmentación y el volumen de las botellas influyen significativamente en la resistencia de los componentes impresos, validando el uso de PET reciclado como insumo funcional de bajo costo. |

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| Sustainable polymer reclamation: recycling poly(ethylene terephthalate) glycol (PETG) for 3D printing applications [71] | Seno Flores, J.D., de Assis Augusto, T., Lopes Vieira Cunha, D.A., ... Henrique Backes, E., Costa, L.C. | Journal of Materials Science Materials in Engineering, 19(1), 16 | 2024 | Evalúa la reciclabilidad de láminas de PETG provenientes de protectores faciales empleados durante la pandemia de COVID-19 para la obtención de filamentos de impresión 3D. Se analizó la procesabilidad del material hasta en cinco ciclos de extrusión, caracterizando sus propiedades reológicas, térmicas, morfológicas y mecánicas. Los resultados evidencian que el reprocesamiento continuo reduce la viscosidad y la elasticidad incrementando la cristalinidad, lo que altera la geometría del cordón de deposición. No obstante, los componentes impresos mantuvieron propiedades mecánicas comparables a los filamentos comerciales hasta el tercer ciclo, validando la reincorporación de estos residuos en cadenas de valor de fabricación aditiva. |
| Repetitive recycling effects on mechanical characteristics of poly-lactic acid and PLA/spent coffee grounds composite used for 3D printing filament [72] | Boughanmi, O., Allegue, L., Marouani, H., Koubaa, A., Fouad, Y. | Polymer Engineering and Science, 64(11), pp. 5613–5626 | 2024 | Analiza el efecto del reciclaje multiciclo sobre el ácido poliláctico (PLA) y sobre un biocompuesto de PLA cargado con un 5 % en peso de posos de café agotados (SCG) para impresión 3D FDM. Se evaluó el impacto del reprocesamiento en el índice de fluidez (MFI), la estabilidad dimensional del diámetro, la dureza y el desempeño a la tracción. Un mayor número de extrucciones generó fluctuaciones en la geometría del filamento y una degradación progresiva de la resistencia a la tracción y el alargamiento a la rotura en ambas formulaciones, debido a la deficiente adhesión interfacial matriz-relleno. En contraste, la dureza aumentó tras el reciclaje por un incremento en la cristalinidad inducido por la degradación térmica y el efecto nucleante de los SCG. . |
| Mechanical properties of 3D printing filament of recycled HDPE and ABS and fiberglass [73] | Muslimin, Rasendriya, H.A., Setijogiarto, N.E., ... Zulkifli, M., Muhamad, W.M.W. | Aip Conference Proceedings, 3222(1), 050004 | 2024 | Desarrolla filamentos para impresión 3D a partir de polietileno de alta densidad (HDPE) y acrilonitrilo butadieno estireno (ABS) reciclados, reforzados con fibra de vidrio corta. Se formularon 24 mezclas evaluando la influencia de la composición y los parámetros de extrusión sobre el índice de hinchamiento en el cabezal (die swell) y la resistencia a la tracción bajo norma ASTM D3039. La formulación óptima (85 % HDPE, 10 % ABS y 5 % fibra de vidrio) alcanzó un esfuerzo último a la tracción de 22,20 MPa, demostrando la viabilidad de combinar matrices poliméricas recicladas con refuerzos para aplicaciones estructurales sostenibles. |

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| A Systematic Review on the Technical Performance and Sustainability of 3D Printing Filaments Using Recycled Plastic [74] | Ibrahim, I., Ashour, A.G., Zeiada, W., Salem, N., Abdallah, M. | Sustainability Switzerland, 16(18), 8247 | 2024 | Evalúa, mediante una revisión sistemática basada en directrices PRISMA sobre 88 estudios (2013–2023), el desempeño de plásticos reciclados y sus aditivos en fabricación aditiva, analizando propiedades mecánicas, térmicas y reológicas, junto con sus implicaciones ambientales y económicas. Evidencia que la investigación se concentra en el comportamiento mecánico, identificando vacíos en la caracterización térmica y reológica, así como en evaluaciones integrales de ciclo de vida (LCA) y ecoeficiencia. Concluye que se requieren enfoques integrados para optimizar el desempeño del material y su viabilidad ambiental. |
| Optimization of Glass-Powder-Reinforced Recycled High-Density Polyethylene (rHDPE) Filament for Additive Manufacturing: Transforming Bottle Caps into Sound-Absorbing Material [75] | Atsani, S.I., Sing, S.L. | Polymers, 16(16), 2324 | 2024 | Analiza la producción de filamentos de impresión 3D a partir de polietileno de alta densidad reciclado (rHDPE) posconsumo reforzado con 10 % de polvo de vidrio, optimizando los parámetros de extrusión (180 °C y 7 rpm) y comparando su desempeño con ABS y PLA comerciales. El filamento desarrollado alcanzó una resistencia a la tracción promedio de 25,52 MPa, similar al ABS y cercana al PLA, con alta ductilidad, flexibilidad y mejor absorción acústica. Asimismo, el análisis de ciclo de vida confirmó ventajas ambientales significativas, posicionando al rHDPE/vidrio como una alternativa sostenible. |
| Mechanical Behavior of 3D-Printed Rice Husk Reinforced Recycled High Density Polyethylene Composite [76] | Royan, N.R.R., Ren, T.J., Sheng, L.J., Nam, C.W. | Aip Conference Proceedings, 2998(1), 060003 | 2024 | Evalúa filamentos sostenibles para impresión 3D elaborados con HDPE reciclado reforzado con cáscara de arroz (RH), analizando el efecto de la carga de fibra en sus propiedades físicas, mecánicas y morfológicas. Muestra que la adición de RH reduce la densidad —favoreciendo el desarrollo de componentes ligeros— e incrementa el módulo de Young y la resistencia a la compresión, aunque disminuye la resistencia a la tracción por la presencia de vacíos y una limitada adhesión interfacial observadas mediante microscopía electrónica de barrido (MEB/SEM). No obstante, el biocompuesto rHDPE/RH presenta menor contracción y calidad superficial competitiva. |

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| Utilization of Recycle LDPE (r-LDPE) Plastic and Galangal Stem Fiber for the Development of 3d Printing Filaments [77] | Muslimin, Syifa, S.C.N., Nugroho, E.S., ... Farid, T., Wan, M.W.M. | Materials Science Forum, 1134, pp. 125–134 | 2024 | Analiza el refuerzo de filamentos de polietileno de baja densidad reciclado (rLDPE) con fibra de tallo de galanga (*A. galanga*) para mejorar su desempeño mecánico en impresión 3D, evaluando proporciones de fibra entre 0 % y 15 % en peso y temperaturas de extrusión de 110 °C a 130 °C. Las probetas ensayadas bajo norma ASTM D638 mostraron que la formulación óptima (5 % de fibra a 110 °C de extrusión) alcanzó una resistencia a la tracción de 27,42 MPa. Los análisis por SEM y EDS confirmaron una adecuada dispersión y adhesión interfacial entre la matriz y el refuerzo. |
| Exploring the Impact of 3D Printing Parameters on the Compression Strength of Recycled PLA Filament [78] | Hussin, M.S., Hamat, S., Ishak, M.R., ... Sanuddin, A.B., Darsin, M. | Lecture Notes in Mechanical Engineering, pp. 581–591 | 2024 | Evalúa la influencia de la temperatura de extrusión (145–165 °C) y la velocidad del tornillo (2–6 rpm) en las propiedades mecánicas y la tolerancia dimensional de filamentos de PLA reciclado. Tras extruir y ensayar muestras según la norma ASTM D695, se determinó que las condiciones óptimas (155 °C y 5 rpm) maximizan la resistencia a la compresión y garantizan diámetros dentro del rango comercial. Los resultados confirman que el control riguroso de las variables de procesamiento optimiza el desempeño del PLA reciclado en fabricación aditiva. |
| Plastic waste recycling in additive manufacturing: Recovery of polypropylene from WEEE for the production of 3D printing filaments [79] | Andrea Spirio, Rossella Arrigo, Alberto Frache, Letizia Tuccinardi Riccardo Tuffi | Journal of Environmental Chemical EngineeringJune 2024 | 2024 | Propone la valorización de plásticos provenientes de residuos de aparatos eléctricos y electrónicos (RAEE) — compuestos principalmente por polipropileno con talco— mediante su conversión en filamentos para impresión 3D FFF. Tras clasificar las corrientes según la carga de talco y caracterizarlas reológicamente, se optimizaron las condiciones de extrusión y se evaluó la morfología y el comportamiento mecánico de las piezas. Los resultados evidencian estabilidad dimensional, propiedades mecánicas comparables a filamentos comerciales y adecuada imprimibilidad. |
| Recycling, thermophysical characterisation and assessment of low-density polythene waste as feedstock for 3D printing [80] | Rajdeep Singh Devra, Nishkarsh Srivastava, Madhu Vadali, Amit Arora | Materials Today SustainabilityDecember 2024 | 2024 | Propone un método sostenible para reciclar residuos de LDPE provenientes de envases de leche, transformándolos en filamentos de 1,75 mm mediante extrusión térmica optimizada para impresión 3D. Se analizaron la temperatura de la boquilla y la velocidad del tornillo, verificando que los filamentos obtenidos mantienen estabilidad dimensional, integridad química, estabilidad térmica y adecuada tenacidad. Asimismo, la evaluación de la huella de carbono evidenció reducciones significativas en las emisiones de CO2 frente al procesamiento convencional, validando el potencial del rLDPE como insumo reciclado. |

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| Plastic waste to 3D printing filaments preparation, mechanical and surface characterization for sustainable application to complex non-functional geometries [81] | Saker, O., Ogunlakin, N.O., Azher, K., Nazir, A., Imam, M.M. | Journal of Polymer Research, 32(6), 220 | 2025 | Analiza un proceso de desarrollo local para convertir botellas de PET posconsumo en filamento de 1,75 mm para impresión 3D mediante extrusión, evaluando la influencia de las variables de FDM sobre el desempeño mecánico del material. Los resultados muestran que, aunque el filamento reciclado presenta una resistencia a la tracción cercana al 50 % del PET comercial debido a su fragilidad y limitada adhesión interfacial —confirmada mediante análisis por SEM—, exhibe una resistencia a la compresión y una dureza superiores, evidenciando su viabilidad para aplicaciones funcionales no estructurales. |
| Upcycling Waste Polyethylene Terephthalate Bottles into Eco-Friendly Filaments for Material Extrusion 3D Printing [82] | Pongsathit, S., Chanthot, P., Rwei, S.-P., Pattamaprom, C. | Engineered Science, 35(1), pp. 1–16 | 2025 | Recicla botellas de PET para producir filamentos de impresión 3D con baja huella de carbono, evaluando la modificación química del rPET mediante la adición de un extensor de cadena y un iniciador peroxídico. Los resultados demuestran que el rPET modificado puede procesarse con alta precisión dimensional a temperaturas inferiores a las del PET virgen, y que la adición de peróxido al 0,25 % en peso optimiza la tenacidad y la estabilidad térmica. Asimismo, se determinó que el incremento en las temperaturas de extrusión y de cama de impresión maximiza la resistencia mecánica de los componentes. |
| Study on the Influence of Technological Parameters in the 3D Printing Filament Production Process from Recycled Plastic Bottles Using Taguchi Experimental Design [83] | Hai, V.G., Hoang, V.-Q. | Lecture Notes in Mechanical Engineering, pp. 583–591 | 2025 | Determina experimentalmente los parámetros óptimos para reciclar botellas de PET en filamentos de impresión 3D, evaluando la resistencia a la tracción como indicador de calidad. Mediante un diseño de experimentos Taguchi, se analizaron los efectos de la temperatura, la longitud de la boquilla y la velocidad de tracción o hilado, identificando que la temperatura y la velocidad constituyen las variables de mayor influencia en el desempeño mecánico. Los resultados validan el modelo cinético y ofrecen lineamientos técnicos para la estandarización del proceso. |
| Sustainable solutions for converting PET into 3D printing filament [84] | Ciobanu, R.E., Marinescu, F.C., Braileanu, P.I. | Academic Journal of Manufacturing Engineering, 23(1), pp. 174–179 | 2025 | Examina el desempeño de filamentos de PET y PETG —incluyendo versiones recicladas— en impresión 3D, destacando sus propiedades mecánicas, resistencia térmica y durabilidad para aplicaciones industriales. Asimismo, presenta el desarrollo y validación de un prototipo de extrusión capaz de transformar botellas de PET en filamento, demostrando su viabilidad técnica y su aporte a la economía circular en contextos educativos vulnerables. |

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| Circular Economy Business Model for 3D Printing Filament Production in Vietnam [85] | Bhaskaran, V., Gireesan, H., Shashishekar, S.T., ... Virgindevi, D.V.S., Muschard, B. | Lecture Notes in Mechanical Engineering, pp. 835–846 | 2025 | Analiza el potencial de la impresión 3D de bajo costo a través de la máquina de reciclaje distribuido Polyformer, la cual convierte botellas de PET en filamento, promoviendo modelos de negocio locales bajo principios de economía circular. Evidencia su contribución a la reducción de residuos plásticos, la generación de oportunidades económicas en comunidades de bajos ingresos y el fortalecimiento de la manufactura aditiva local. |
| Optimization and Characterization of Recycled Polypropylene and Date Palm Nanocomposites for 3D Printing Applications [86] | Alzebdeh, K., Alsafy, M., Al-Kindi, K., ... Al-Alawi, A., Al-Hinai, N. | Journal of Materials Engineering and Performance, 34(20), pp. 24073–24089 | 2025 | Investiga la fabricación de bionanocompuestos a partir de polipropileno reciclado (rPP) reforzado con nanorellenos derivados de carozo de dátil, evaluando el contenido de refuerzo y los parámetros de impresión 3D. Muestra que la adición del 3 % en peso de nanorellenos maximiza las propiedades mecánicas del material extruido, alcanzando 25,5 MPa a la tracción y 50,6 MPa a la flexión. Mediante diseño de experimentos (DoE), se optimizaron las condiciones de impresión (270 °C, 60 mm/s y 0,1 mm de altura de capa), logrando resistencias cercanas al material virgen. |
| Multi-modal assessment of recycled polyethylene terephthalate composites in additive manufacturing: The role of carbon fiber [87] | Charkieh, A.S., Zhu, Y., Huysman, S., ... Boone, M.N., Pyl, L. | Polymer Composites, 46(12), pp. 10864–10878 | 2025 | Analiza la fabricación de filamentos para impresión 3D a partir de rPET reforzado con 5 % y 10 % de fibra corta de carbono y extensores de cadena, evaluando su comportamiento térmico, microestructural y mecánico. Los resultados muestran que la combinación del encolado de las fibras con los extensores de cadena incrementa la estabilidad térmica, promueve la cristalización y mejora la adhesión interfacial fibra-matriz, logrando una adecuada alineación de las fibras y duplicando el módulo de elasticidad a la tracción del material. |
| A Systematic Review on the Reuse of Recycled Plastics in 3D Printing Filament Production [88] | Leon-Ayala, W., Ramos-Cosi, S., Marrujo-Ingunza, C. | Ssrg International Journal of Mechanical Engineering, 12(5), pp. 87–95 | 2025 | Realiza una revisión sistemática (2014–2024) bajo metodología PRISMA sobre el uso de plásticos reciclados en filamentos para impresión 3D, analizando 240 documentos seleccionados de un corpus inicial de 499. Los resultados evidencian que Estados Unidos, China e Italia lideran la producción científica, mientras que Latinoamérica registra una baja participación, concentrándose la mayor parte de las publicaciones en el área de Ciencia de Materiales. Se concluye que los polímeros reciclados constituyen una alternativa viable para mitigar el impacto ambiental, aunque demandan innovación tecnológica e integración interdisciplinaria para optimizar sus propiedades. |

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| Transforming electronic waste into a sustainable 3D printing filaments using polylactic acid [89] | Kumarasamy, Y., Jayakumar, N., Mohanty, P.K., Das, S. | Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers Part C Journal of Mechanical Engineering Science, 239(7), pp. 2424–2441 | 2025 | Investiga la fabricación de filamentos para FDM mediante la incorporación de polvo recuperado de placas de circuito impreso (PCB) en una matriz de PLA virgen, empleando PLA flexible como plastificante. Tras la caracterización térmica y química del residuo para asegurar su estabilidad durante el procesamiento, se evaluaron las propiedades mecánicas de las mezclas con 1 % y 3 % en peso de carga. La adición del 3 % de polvo de PCB mejoró significativamente la resistencia a la tracción, el módulo de Young y la dureza superficial, a expensas de una reducción en la tenacidad. |
| Sustainable additive manufacturing: challenges and opportunities of recycling plastic waste for 3D printing filaments [90] | Sharma, A., Kumar, M., Sharma, A. | Sadhana Academy Proceedings in Engineering Sciences, 50(1), 14 | 2025 | Analiza la transformación de residuos plásticos en filamentos de impresión 3D como estrategia técnica y ambiental frente a la acumulación de desechos poliméricos. Examina de forma integral las etapas de recolección, clasificación y extrusión, así como los mecanismos de degradación termo-mecánica del material reciclado y su impacto en el ciclo de vida frente a la producción convencional. Los hallazgos destacan el potencial del reciclaje distribuido para fomentar esquemas de fabricación aditiva dentro de la economía circular. |
| Recycling Post-Consumed Polylactic Acid Waste Through Three-Dimensional Printing: Technical vs. Resource Efficiency Benefits [91] | Hasan, M.R., Davies, I.J., Pramanik, A., John, M., Biswas, W.K. | Sustainability Switzerland, 17(6), 2484 | 2025 | Evalúa la incorporación de ácido poliláctico reciclado posconsumo (rPLA) en filamentos para impresión 3D, comparando mezclas con distintas proporciones frente al PLA virgen (vPLA). Los resultados indican que un mayor contenido de rPLA incrementa la rugosidad superficial y degrada las propiedades mecánicas —con reducciones del 48 % en tracción y 49 % en flexión para el 100 % de rPLA— debido a la baja adhesión interfacial y la presencia de vacíos. No obstante, las mezclas con hasta 50 % de rPLA retienen más del 90 % del rendimiento mecánico del material virgen.. |
| Decentralized approach for incorporating waste wind turbine blades into 3D printing filaments using mechanical recycling [92] | Ezhilan, J.J., Damodaran, A., Ashok, K.G. | Polymer Composites, 46(3), pp. 2319–2332 | 2025 | Investiga el reciclaje mecánico de palas de aerogeneradores fuera de servicio como refuerzo para filamentos de impresión 3D FDM, ofreciendo una alternativa de valorización para los residuos del sector eólico. Tras la trituración y caracterización del material recuperado, este se incorporó en polipropileno reciclado (rPP) y se procesó mediante extrusión para conformar probetas de tracción. Los resultados muestran que la orientación de impresión influye de forma determinante en el desempeño mecánico, obteniéndose la mayor resistencia a 90° debido a la alineación de las fibras. |

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| Production of 3D Printing Filament from Recycled Plastic Bottles using Fused Deposition Modeling [93] | Hasan, M.M., Navid Islam Taj, N.M., Hasan Naime, M.M., ... Rahman Biswas, M.M., Rana, M.T. | International Conference on Robotics Electrical and Signal Processing Techniques, pp. 50–54 | 2025 | Propone un enfoque sostenible para reciclar polietileno de baja densidad (LDPE) proveniente de botellas y envases plásticos desechados en Daca (Bangladesh), transformándolo en filamentos para impresión 3D FDM. El proceso abarca desde la recolección, clasificación, trituración, lavado y secado, hasta la extrusión térmica y el control de calidad, evaluando la uniformidad dimensional, la consistencia de color y la compatibilidad con diferentes impresoras. Como iniciativa pionera en el contexto local, demuestra su potencial para mitigar la contaminación plástica y promover esquemas de economía circular alineados con los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS). |
| Influence of Repetitive Recycling of 3D Printing Filament on Mechanical Properties of PLA and PLA/Spent Coffee Grounds Composite [94] | Boughanmi, O., Allegue, L., Marouani, H. | Lecture Notes in Mechanical Engineering, pp. 92–101 | 2025 | Evalúa el impacto del reprocesamiento térmico sobre filamentos de PLA virgen y sobre un biocompuesto cargado con posos de café agotados (SCG), evidenciando que el reciclaje multiciclo en estado fundido induce degradación térmica y una reducción de hasta el 14 % en la resistencia a la tracción, además de variaciones en el módulo de Young. La incorporación del relleno orgánico no mejoró las propiedades mecánicas debido a una deficiente adhesión interfacial matriz-refuerzo, concluyendo que se requiere optimizar las condiciones de extrusión para minimizar la degradación de la cadena polimérica. |
| Circular economy and 3D printing in the healthcare sector [95] | Mansour, N.K., Callera, A., Potere, F., ... De Gaetano, F., Oliva, P. | Frontiers in Bioengineering and Biotechnology, 13, 1548550 | 2025 | Evalúa la viabilidad de integrar principios de economía circular en la impresión 3D aplicada al sector sanitario mediante el reciclaje de tapas de HDPE de origen hospitalario para la obtención de filamentos funcionales. Tras optimizar las etapas de recolección, trituración, extrusión e impresión, se obtuvo un filamento homogéneo con propiedades mecánicas adecuadas, logrando estabilidad en el proceso de deposición a pesar de la tendencia a la contracción característica del HDPE. Se evidenciaron reducciones de costos y menor impacto ambiental (disminución de emisiones de CO2), demostrando su aplicación práctica mediante la fabricación exitosa de un modelo anatómico personalizado para la planificación quirúrgica de un aneurisma intracraneal. |

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| Sustainable 3D-Printed food packaging from agricultural waste: A review of materials, properties, and applications [96] | Avchar Sahil Panjabrao, Hamid, Kshirod Kumar Dash, Deepika Kathuria, Rafeeya Shams, Prasad Chavan, Shaikh Ayaz Mukarram, Béla Kovács | Journal of Agriculture and Food ResearchAugust 2025 | 2025 | Analiza la fabricación de envases alimentarios impresos en 3D a partir de residuos agrícolas como alternativa sostenible a los plásticos derivados del petróleo. Describe la transformación de subproductos agroindustriales (ricos en almidón, celulosa y lignina) en biopolímeros aptos para extrusión, combinados con aditivos para mejorar sus propiedades mecánicas y de barrera. Asimismo, examina las etapas de procesamiento (secado, molienda y formulación), los tipos de matrices y rellenos naturales empleados, y la influencia del procesamiento en las propiedades fisicoquímicas del producto final para el envasado ecológico de alimentos. |

**Fuente:** Autores.

El análisis conjunto de los resultados obtenidos en las bases de datos Scopus y ScienceDirect evidencia un interés sostenido en la revalorización de residuos plásticos posconsumo, especialmente las botellas de tereftalato de polietileno (PET), como materia prima viable para la fabricación de filamentos utilizados en impresión 3D. Los estudios revisados coinciden en que la extrusión térmica controlada constituye la técnica predominante para transformar estos residuos en materiales de deposición por hilo fundido (FDM). En este proceso, el control de variables como la temperatura, el caudal, la velocidad del husillo y la velocidad de tracción del filamento resulta determinante para la estabilidad dimensional y la calidad del producto final; de hecho, diversos trabajos experimentales aplican técnicas de diseño de experimentos (DoE) o metodología Taguchi para optimizar dichas variables de control [83], [86].

Del conjunto de 55 trabajos analizados, aproximadamente el 62 % de las investigaciones que evalúan las propiedades mecánicas del filamento reciclado reporta una disminución en la resistencia a la tracción y en la adhesión intercapas en comparación con los materiales vírgenes. Este comportamiento se asocia principalmente a la degradación térmica y a la reducción del peso molecular durante los ciclos de reprocesamiento [61], [72], [74]. No obstante, cerca del 28 % de los estudios documenta que, mediante estrategias de modificación del material o un control optimizado del proceso de extrusión, es posible obtener propiedades comparables a las de los filamentos comerciales para aplicaciones no estructurales. En este grupo se incluyen trabajos que emplean extensores de cadena [61], aditivos reforzantes [73] o ajustes paramétricos mediante DoE [68], demostrando mejoras en la viscosidad de fundido, la estabilidad dimensional y el desempeño mecánico. El porcentaje restante corresponde a investigaciones centradas en la viabilidad del proceso o en la caracterización preliminar sin comparación directa con materiales vírgenes. En conjunto, estos resultados evidencian que las discrepancias reportadas en la literatura responden tanto a la variabilidad en las condiciones de procesamiento como a las estrategias de modificación química y física implementadas.

El análisis cronológico de las publicaciones muestra que más del 65 % de los trabajos posteriores a 2020 adopta enfoques integrados que combinan la ingeniería de materiales, el control de procesos y la sostenibilidad ambiental, en contraste con los estudios anteriores, predominantemente exploratorios. En particular, alrededor del 40 % de las investigaciones recientes incorpora explícitamente principios de economía circular, orientándose al diseño de sistemas locales de bajo costo para la producción descentralizada de filamento [67], [74]. Asimismo, varios estudios enfatizan el desarrollo de soluciones modulares de código abierto que facilitan la replicabilidad tecnológica y la adopción en entornos educativos y comunitarios [51], [69]. Esta transición refleja una maduración progresiva del campo, en la cual la investigación trasciende la mera factibilidad técnica del reciclaje para abordar aspectos de escalabilidad, accesibilidad y sostenibilidad sistémica. Así, la evolución observada posiciona el aprovechamiento del PET reciclado no solo como una alternativa técnica viable, sino como un eje emergente de innovación en manufactura aditiva sostenible.

El análisis de coocurrencia de palabras clave (Figura 3), obtenido mediante la herramienta VOSviewer, revela tres clústeres temáticos principales en torno a la impresión 3D. El primer clúster (resaltado en rojo) corresponde a la sostenibilidad y la economía circular, indicando una clara tendencia a integrar la fabricación aditiva con estrategias de reducción de residuos y revalorización polimérica. El segundo clúster (resaltado en azul) se enfoca en el reciclaje de plásticos y la ciencia de materiales, centrándose en el origen de la materia prima y su procesamiento hasta la obtención de filamentos funcionales. Finalmente, el tercer clúster (resaltado en verde) agrupa las propiedades mecánicas y el desempeño del material, vinculando la ingeniería de materiales con la optimización paramétrica de los procesos de impresión.

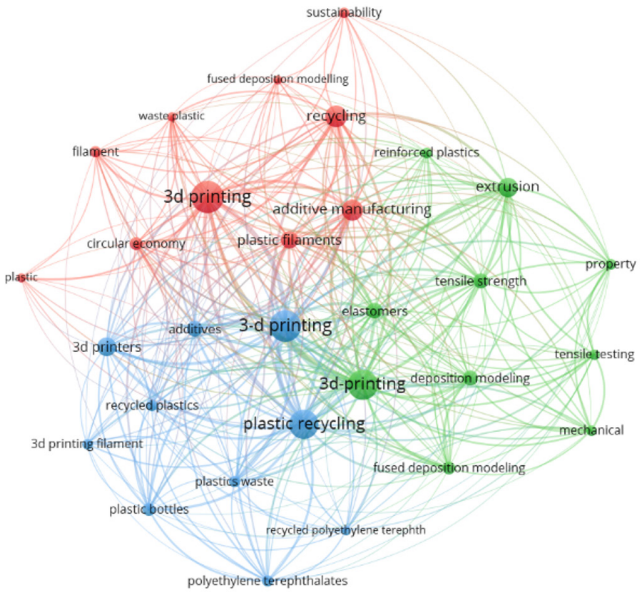


**Figura 3. A***nálisis de coocurrencia de palabras clave con VOSviewer*

**Fuente:** Autores.

Otro aspecto importante para resaltar es que de todos los trabajos revisados de Scopus y Science direct, solamente cinco 5 incluyen alguna especificación directa referente al prototipo o dispositivo para la fabricación del filamento. Por lo cual se amplía la información con datos provenientes de Google Scholar y repositorios de instituciones de educación superior. En la Tabla 4 se muestran los estudios realizados sobre el tema. De manera análoga, los estudios consolidados sobre prototipos se organizan cronológicamente para resaltar la progresión en el diseño y la complejidad de los sistemas desarrollados.

**Tabla 4.** *Investigaciones consolidadas sobre prototipos para fabricación de filamento para impresión 3D a partir de botellas PET recicladas*

| TÍTULO | AUTORES | FUENTE / AÑO | SÍNTESIS DEL TRABAJO |
|---|---|---|---|
| Design and Fabrication of PET Filament Making Machine [97] | Dhopte V. D., Parate G. S,. Narkhede M. P, Bhongade A. | IJRASET, 2022 | Propone una máquina portátil y económica para fabricar filamento mediante extrusión FDM; incorpora guía manual de corte y enrollado. |
| Automatic Sorting System Based on Sensors for The Extrusion of Filament Used in 3d Printers Based on Recycled Pet Plastic Bottles [98] | Gomez Pariona, Andony Leonel Ingaroca Ames, John Axell Huamanchahua Canchanya, Deyby Maycol | Univ. Continental, Tesis Ing. Mecatrónica, 2023 | Propone una máquina clasificadora y extrusora automática, basada en sensores y microcontroladores, para producir filamento de PET de 1.7 mm. |
| Design and Fabrication of a 3D Printing Threads Extractor from Waste Plastic Bottles [99] | Gonzaga Ssebulime . | Makerere Univ., Tesis Ing. Mecánica, 2023 | Crea una máquina de extracción de filamento para uso personal; combina extrusión y bobinado manual, con posibilidad de automatización. |
| Sustainable fabrication of 3D printing filament from recycled PET plastic [100] | Nikam, M., Pawar, P., Patil, A., ... Mokal, K., Jadhav, S. | Materials Today Proceedings, 2024 | Utiliza un montaje experimental con boquilla de 1.6 mm y bloque calefactor controlado, logrando filamento de 1.65 mm; aplica FEA para optimizar extrusión. |
| Design and fabrication of machine that converts plastic bottle - PET - to 3D printing filament [101] | Ahmed A. | Ashesi Univ., Tesis Ing. Mecánica, 2024 | Diseña una máquina de extrusión termoplástica portátil con control de boquilla y bobinado; produce filamento uniforme de PET reciclado. |
| Prototype Pultrusion of Recycled Polyethylene Terephthalate Plastic Bottles into Filament for 3D Eco-Printing: Education for a Sustainable Development Project [102] | Morales Méndez, G., del Cerro Pérez, A., & del Cerro Velázquez, F. | Sustainability, 2024 | Desarrolla un prototipo educativo automatizado basado en pultrusión para convertir botellas PET en filamento; promueve aprendizaje basado en proyectos. |
| Production of 3D printing filament from plastic bottles waste using a low-income settings extruder as an opportunity to reduce plastic pollution in small Island developing states [103] | Sanassee & Henrage | J. of Material Cycles and Waste Management, 2024 | Desarrolla una extrusora de código abierto para países en desarrollo, optimizando ancho de tira y temperatura para filamentos de 1.75 mm. |
| Design of an Extrudate Filament Machine for Recycling Waste Polyethylene Terephthalate Plastics into 3D Printing Filament [104] | Ab Rahman P., Mai Noor A. T. Z., Azlan S.K. | Jurnal J-Innovation, 2024 | Presenta el diseño de una máquina integral de extrusión con trituración, fusión, enfriamiento y bobinado de PET reciclado; optimiza uniformidad del filamento. |

| | | | |
|---|---|---|---|
| Design and Development of an Automated PET Plastic Bottle 3D Printer Filament Making Machine [105] | Meraj M., Ku P. X., Choo H. L. and Aung P. P. . | J. of Physics: Conf. Series, 2024 | Construye una máquina automatizada con cortador de botellas y extrusor controlado por Arduino Nano; determina condiciones óptimas de extrusión. |
| Plastic waste to 3D printing filaments preparation, mechanical and surface characterization for sustainable application to complex non-functional geometries [81]. | Saker O., Ogunlakin N. O., Azher K., Nazir A., Imam M. M. | Journal of Polymer Research, 2025 | Desarrolla una extrusora artesanal con boquilla de 1.75 mm para convertir tiras de botellas PET en filamento. Evalúa parámetros de extrusión y calidad mecánica del filamento obtenido. |
| Sustainable Solutions for Converting PET into 3D Printing Filament [106] | Ciobanu, R.E., Marinescu, F.C., Braileanu, P.I. | Academic Journal of Manufacturing Engineering, 2025 | Presenta un prototipo funcional que transforma botellas PET en filamento, integrando corte y extrusión continua; orientado a educación y economía circular. |
| Circular Economy Business Model for 3D Printing Filament Production in Vietnam [85] | Bhaskaran, V., Gireesan, H., Shashishekar, S.T., ... Virgindevi, D.V.S., Muschard, B. | Lecture Notes in Mechanical Engineering, pp. 835–846, 2025 | Analiza la máquina Polyformer, un sistema modular y *open-source* para convertir botellas en filamento; diseñado con piezas impresas en 3D y arquitectura adaptable. |
| Production of 3D Printing Filament from Recycled Plastic Bottles using FDM [93] | Hasan, M.M., Navid Islam Taj, N.M., Hasan Naime, M.M., ... Rahman Biswas, M.M., Rana, M.T.. | International Conference on Robotics Electrical and Signal Processing Techniques, pp. 50–54, 2025 | Implementa un sistema completo FDM: recolección, triturado, lavado, secado y extrusión de LDPE; resalta control de calidad del filamento. |
| Conversión de botellas de PET de desecho en filamento para impresión 3D: un enfoque sostenible [107] | Chopade S, Chopade S, Gawade S, Shirsat K, Ajmera D, Bharambe Y | J. Neonatal Surgery, 2025 | Diseña un sistema mecánico y electrónico completo con módulos de corte, calefacción, bobinado y control térmico mediante Arduino. |
| PET Recycling for 3D Printing: Construction of an Extruder with Electronic Waste [108] | Oliveira V. A. , Decoló G. C.,. Oliveira A. M., Bastos F., Dias R.A. | IOP Conf. Series: Earth & Environmental Science, 2025 | Construye una extrusora con partes recicladas de una impresora 3D dañada (Arduino, motores, calefactores), logrando filamento de 1.75 mm. |
| Low-cost Device to Upcycling PET Plastic Bottle Into 3D Printer Filament [109] | Rodiana, I. M., Pramudita, B. A., Barokatillah, N. A., Abd. Rahman Saleh, & Aghesa Tri Nirbhita Daniswara | Archives, 2025 | Desarrolla un dispositivo de bajo costo y compacto, con control de velocidad y temperatura vía app móvil; produce filamento de 1.6–1.7 mm. |
| Máquina para generar filamento a partir de botellas recicladas (Pichaybot) [110] | Calle Malo & López Ñauta | Univ. Católica de Cuenca, 2025 | Integra un subsistema semiautomático de corte y extrusión a la máquina Pichaybot, controlado por Arduino Mega y sistema RAMPS 1.4. |
| Development of a Plastic Bottle Waste Processing Tool into 3D Printer Filament based on arduino microcontroller [111] | Fathoni, Ali Nur | Jurnal Informatika dan Teknik Elektro Terapan, 2025 | Diseña una herramienta basada en Arduino con sensor de temperatura, sistema de enfriamiento y bobinado automático para procesar botellas PET. |

**Fuente:** Autores.

Los estudios revisados evidencian un notable avance en el desarrollo de máquinas, prototipos y dispositivos diseñados para transformar botellas plásticas recicladas —principalmente de PET— en filamento para impresión 3D, aportando soluciones sostenibles tanto a nivel tecnológico como educativo. En general, los diseños integran sistemas de corte de botellas en tiras, extrusión controlada térmicamente y mecanismos de bobinado automatizado, los cuales permiten mantener la uniformidad en el diámetro del filamento (aprox. 1,65 mm a 1,75 mm) y la calidad superficial del material reciclado.

Varios proyectos se orientan a contextos de bajo costo o educativos —como los desarrollados por Morales Méndez, Fathoni o Ciobanu—, priorizando el uso de componentes reutilizados y microcontroladores tipo Arduino para garantizar la accesibilidad. Otros, como los de Rahman, Meraj o Calle Malo, implementan soluciones semiautomatizadas con control electrónico y retroalimentación de temperatura. Asimismo, iniciativas como la Polyformer y la Pichaybot demuestran una clara tendencia hacia máquinas modulares, abiertas y escalables, integrables en ecosistemas de economía circular. En conjunto, estas investigaciones muestran la convergencia entre el diseño mecánico, la sostenibilidad y la fabricación digital, sentando las bases para una nueva generación de dispositivos accesibles que cierran el ciclo del plástico en la manufactura aditiva.

Desde una perspectiva comparativa, los prototipos revisados pueden agruparse en tres enfoques principales: i) dispositivos de bajo costo orientados al uso educativo o doméstico, ii) sistemas semiautomatizados con control electrónico del proceso, y iii) máquinas modulares de arquitectura abierta diseñadas para la producción descentralizada. Los primeros priorizan la simplicidad constructiva y la accesibilidad económica, aunque suelen presentar limitaciones en la estabilidad térmica y en el control dimensional del filamento. En contraste, los sistemas semiautomatizados incorporan sensores y microcontroladores que mejoran la repetibilidad del proceso, mientras que las propuestas modulares más recientes integran conceptos de manufactura distribuida y economía circular, evidenciando una transición hacia soluciones tecnológicamente más robustas.

A pesar de la diversidad de diseños, se identifican limitaciones recurrentes en la mayoría de los prototipos analizados. Entre ellas destacan la ausencia de sistemas de retroalimentación en tiempo real para el control del diámetro del filamento, la limitada caracterización mecánica del material producido y la escasa evaluación de la degradación térmica del PET tras ciclos repetidos de reciclaje. Asimismo, varios estudios se concentran en la validación funcional del dispositivo, pero carecen de protocolos estandarizados para evaluar la calidad del filamento, lo que dificulta la comparación directa entre resultados y la transferencia tecnológica hacia aplicaciones industriales.

Estas limitaciones revelan oportunidades claras de mejora para futuras investigaciones. Resulta prioritario integrar sistemas de monitoreo en línea, estrategias de control automático de temperatura y velocidad de extrusión, así como metodologías estandarizadas para la caracterización del filamento reciclado. De igual forma, la convergencia entre el diseño mecánico, la instrumentación electrónica y el análisis de ciclo de vida podría fortalecer el desarrollo de equipos más eficientes y sostenibles. La implementación de arquitecturas modulares y escalables representa, además, una vía prometedora para adaptar los prototipos a diferentes contextos productivos, desde entornos educativos hasta microemprendimientos locales.

## 4. Conclusiones

El análisis bibliográfico permitió evidenciar que el aprovechamiento de botellas plásticas de PET como materia prima para la fabricación de filamentos destinados a la impresión 3D constituye una alternativa técnicamente viable y ambientalmente sostenible para reducir la acumulación de residuos poliméricos y fomentar la economía circular. Las investigaciones revisadas demuestran que el reciclaje mecánico mediante extrusión térmica controlada es el método predominante, capaz de generar filamentos con propiedades físicas y mecánicas adecuadas para aplicaciones no estructurales. No obstante, persisten desafíos relacionados con la estabilidad dimensional del diámetro, la degradación termo-mecánica y la adhesión intercapas, lo cual limita su desempeño frente a filamentos vírgenes en aplicaciones de alta exigencia técnica.

De igual forma, se identificó un creciente interés por el diseño y desarrollo de prototipos y máquinas de bajo costo orientadas a la transformación directa de botellas de PET en filamento. Estos desarrollos, que integran tecnologías de código abierto (*open-source*) y microcontroladores electrónicos tipo Arduino, representan un avance significativo hacia la democratización de la manufactura aditiva sostenible. Sin embargo, la ausencia de estándares técnicos unificados, la limitada validación experimental y la dispersión de esfuerzos investigativos hacen evidente la necesidad de fortalecer la investigación aplicada, la caracterización sistemática de materiales reciclados y la estandarización de los parámetros de procesamiento.

En conclusión, la revisión reafirma que el reciclaje de botellas de PET para manufactura aditiva no solo reduce la huella ambiental del plástico, sino que también abre oportunidades para la innovación tecnológica, la educación ambiental y el emprendimiento sostenible. A futuro, resulta necesario consolidar proyectos interdisciplinarios que integren ingeniería mecánica, ciencia de materiales y automatización, orientados al desarrollo de equipos modulares, eficientes y accesibles que permitan cerrar el ciclo del plástico dentro de sistemas de producción descentralizada.

## Referencias

[1] Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA) ONU, "Contaminación por plástico," [En línea]. Disponible: https://www.unep.org/es/contaminacion-por-plasticos. Consultado: Sep. 03, 2025.

[2] OECD, "Policy Scenarios for Eliminating Plastic Pollution by 2040," Paris, Oct. 2024, doi: https://doi.org/10.1787/76400890-en

[3] Greenpeace, "'Aún sin acuerdo, la lucha continúa', afirma Greenpeace sobre el Tratado Global de Plásticos." [En línea]. Disponible: https://www.greenpeace.org/colombia/tag/plasticos/. Consultado: Aug. 29, 2025.

[4] R. A. Sarria-Villa and J. A. Gallo-Corredor, "La gran problemática ambiental de los residuos plásticos: Microplásticos," *Journal de Ciencia e Ingeniería*, vol. 8, no. 1, pp. 21–27, Aug. 2016. [En línea]. Disponible: https://www.labamerex.com/newsletter/news18/Microplasticos.pdf. Consultado: Sep. 04, 2025

[5] R. G. Prieto-Ortiz and R. G. Prieto-Ortiz, "Contaminación ambiental por plásticos durante la pandemia y sus efectos en la salud humana," *Revista Colombiana de Cirugía*, vol. 38, no. 1, pp. 22–29, Jan. 2023, doi: https://doi.org/10.30944/20117582.2203

[6] ONU, "ODS 12 Consumo y producción sostenibles - Desarrollo Sostenible." [En línea]. Disponible: https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/sustainable-consumption-production/. Consultado: Sep. 04, 2025

[7] ONU, "ODS 14 Océanos - Desarrollo Sostenible." [En línea]. Disponible: https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/oceans/. Consultado: Sep. 04, 2025.

[8] Ministerio de Ambiente, *Plan Nacional para la Mesa Nacional para la Gestión Sostenible del Plástico de Un Solo Uso*. Bogota, 2021. [En línea]. Disponible: https://economiacircular.minambiente.gov.co/wp-content/uploads/2021/09/PLAN-NACIONAL-PARA-LA-GESTION-SOSTENIBLE-DE-LOS-PLASTICOS-DE-UN-SOLO-USO.pdf. Consultado: Sep. 04, 2025.

[9] Ministerio de Ambiente, "Colombia aspira a que en 2030 el 100% de los plásticos de un solo uso del mercado sean reutilizables o compostables." [En línea]. Disponible: https://www.minambiente.gov.co/colombia-aspira-a-que-en-2030-el-100-de-los-plasticos-de-un-solo-uso-del-mercado-sean-reutilizables-o-compostables/

[10] Ministerio de Ambiente, "Minambiente establece medidas para la reducción gradual de plásticos de un solo uso en Colombia." [En línea]. Disponible: https://www.minambiente.gov.co/minambiente-establece-medidas-para-la-reduccion-gradual-de-plasticos-de-un-solo-uso-en-colombia/. Consultado: Sep. 04, 2025.

[11] Congreso de Colombia, *Ley 2232*. Colombia, 2022, pp. 1–23. [En línea]. Disponible: https://www.minambiente.gov.co/documento-normativa/ley-2232-de-2022/. Consultado: Sep. 04, 2025

[12] K. Choudhary, K. Sangwan, and D. Goyal, "Environment and economic impacts assessment of PET waste recycling with conventional and renewable sources of energy," *Procedia CIRP - 26th CIRP Life Cycle Engineering (LCE) Conference*, vol. 80, pp. 422–427, 2019, doi: https://doi.org/10.1016/j.procir.2019.01.096

[13] D. P. F. Bonfim, F. G. S. Cruz, R. E. S. Bretas, V. G. Guerra, and M. L. Aguiar, "A Sustainable Recycling Alternative: Electrospun PET-Membranes for Air Nanofiltration," *Polymers (Basel)*, vol. 13, no. 7, p. 1166, Apr. 2021, doi: https://doi.org/10.3390/polym13071166

[14] Presidencia de la República, *Decreto 2811*. Colombia: Presidencia de la República, 1974, pp. 1–41. [En línea]. Disponible: https://www.funcionpublica.gov.co/eva/gestornormativo/norma_pdf.php?i=1551. Consultado: Sep. 09, 2025

[15] Ministerio de Salud, *Ley 9*. Colombia: Ministerio de Salud, 1979, p. 146. [En línea]. Disponible: https://www.funcionpublica.gov.co/eva/gestornormativo/norma_pdf.php?i=1177. Consultado: Sep. 09, 2025

[16] Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, *Resolución 0668*. Colombia: Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2016, pp. 1–12. [En línea]. Disponible: https://www.minambiente.gov.co/wp-content/uploads/2021/10/Resolucion-0668-2016.pdf. Consultado: Sep. 09, 2025

[17] Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, *Decreto 2198*. Colombia: Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2017, pp. 1–4. [En línea]. Disponible: https://www.funcionpublica.gov.co/eva/gestornormativo/norma_pdf.php?i=85046. Consultado: Sep. 09, 2025

[18] Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, *Resolución 1397*. Colombia: Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2018, pp. 1–6. [En línea]. Disponible: https://www.minambiente.gov.co/wp-content/uploads/2021/08/resolucion-1397-de-2018.pdf. Consultado: Sep. 09, 2025.

[19] Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, *Resolución 1407*. Colombia: Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2018, pp. 1–20. [En línea]. Disponible: https://www.minambiente.gov.co/wp-content/uploads/2021/08/resolucion-1407-de-2018.pdf. Consultado: Sep. 09, 2025

[20] Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, *Resolución 2184*. Colombia: Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2019, pp. 1–9. [En línea]. Disponible: https://www.minambiente.gov.co/wp-content/uploads/2021/08/resolucion-2184-de-2019.pdf. Consultado: Sep. 09, 2025

[21] Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, *Ley 1973*. Colombia: Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2019, pp. 1–4. [En línea]. Disponible: https://www.minambiente.gov.co/wp-content/uploads/2021/06/ley-1973-2019.pdf. Consultado: Sep. 09, 2025

[22] Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, *Resolución 1342*. Colombia: Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2020, pp. 1–13. [En línea]. Disponible: https://www.minambiente.gov.co/wp-content/uploads/2021/08/resolucion-1342-de-2020.pdf. Consultado: Sep. 09, 2025.

[23] ICONTEC, *NTC 6744. Plásticos. Plásticos reciclados. Caracterización de reciclados de poli(tereftalato de etileno) (PET)*. Colombia: ICONTEC, 2024

[24] A. V. Ramírez Antezana, "Reciclaje de tereftalato de polietileno," *Revista Ingeniería*, vol. 6, no. 14, pp. 47–63, Jan. 2022, doi: https://doi.org/10.33996/revistaingenieria.v6i14.90

[25] J. J. G. Bolaños Zea, *Reciclado de plástico PET*. Universidad Católica San Pablo, Arequipa, 2019. [En línea]. Disponible: https://repositorio.ucsp.edu.pe/backend/api/core/bitstreams/4c9ed418-f907-4257-9c53-6046d5696c8f/content. Consultado: Sep. 30, 2025

[26] L. A. Quintero Díaz, *Diseño de una planta de reciclado de tereftalato de polietileno (PET)*. Universitat Politècnica de València, Valencia, 2016. [En línea]. Disponible: https://riunet.upv.es/server/api/core/bitstreams/473d7844-2676-476c-a9fc-876d54da1ed2/content. Consultado: Oct. 05, 2025

[27] J. J. P. Pérez Bueno *et al*., "A novel green alternative for a room prototype constructed with entire recycled PET bottles and a green roof composed of waste materials," *Applied Sciences (Switzerland)*, vol. 11, no. 17, 2021, doi: https://doi.org/10.3390/app11177901

[28] D. Papán, L. Lapašová, and Z. Papánová, "Hybrid Composite Materials Made of Recycled PET and Standard Polymer Blends Used in Civil Engineering," *Polymers (Basel)*, vol. 15, no. 16, 2023, doi: https://doi.org/10.3390/polym15163407

[29] O. Albatayneh and M. N. Akhtar, "Evaluating Recycled PET as an Alternative Material for the Construction Sector Towards Sustainability," *Civil Engineering Journal (Iran)*, vol. 10, no. 4, pp. 1336–1353, 2024, doi: https://doi.org/10.28991/CEJ-2024-010-04-020

[30] D. M. Resende, V. F. Mendes, V. R. Carvalho, M. A. Nogueira, J. M. F. Franco de Carvalho, and R. A. F. Peixoto, "Coating mortars produced with recycled PET aggregates: A technical, environmental, and socioeconomic approach applied to Brazilian social housing," *Journal of Building Engineering*, vol. 83, 2024, doi: https://doi.org/10.1016/j.jobe.2023.108426

[31] G. Barboza and L. Carrion, "Influence of Recycled PET Particle Size on the Improvement of Sandy Subgrades for Flexible Pavements," in *International Conference on Civil, Structural and Transportation Engineering*, K. Sennah, Ed., Avestia Publishing, 2025, doi: https://doi.org/10.11159/iccste25.151.

[32] S. Baradaran and M. Ameri, "Durable and sustainable warm mix asphalt pavement using value-added recycled PET," *Case Studies in Construction Materials*, vol. 23, 2025, doi: https://doi.org/10.1016/j.cscm.2025.e05362

[33] K. A. Ostrowski, P. Romańska, and M. Spyrowski, "Material properties of recycled PET composites for structural anchoring and other civil engineering applications," *Sci. Rep.*, vol. 15, no. 1, 2025, doi: https://doi.org/10.1038/s41598-025-19291-1

[34] A. Telli and O. Babaarslan, "Usage of recycled cotton and polyester fibers for sustainable staple yarn technology," *Tekstil ve Konfeksiyon*, vol. 27, no. 3, pp. 224–233, 2017. [En línea]. Disponible: https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-85037051110&partnerID=40&md5=1e68aed2d605732e908571ecd9a37858

[35] M. Inoue and S. Yamamoto, "Performance and durability of woven fabrics including recycled polyester fibers," *Seni Kikai Gakkai Shi/Journal of the Textile Machinery Society of Japan*, vol. 57, no. 11, pp. 45–50, 2004. [En línea]. Disponible: https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-11144241921&partnerID=40&md5=58f7d2c7bfd0bc0cfc9bb0900a212cdd

[36] L. Mansilla Pérez and M. Ruiz Ruiz, "Reciclaje de botellas de PET para obtener fibra de poliéster," *Ingeniería Industrial*, vol. 27, pp. 123–137, Jun. 09, 2009, doi: https://doi.org/10.26439/ing.ind2009.n027.627

[37] C. López, *Reciclado del plástico [PET] para la obtención de fibra textil*. Universidad Tecnológica Nacional, Santa Cruz (Argentina), 2016. [En línea]. Disponible: http://www.edutecne.utn.edu.ar

[38] N. Nikitakos, I. Dagkinis, D. Papachristos, G. Georgantis, and E. Kostidi, "Economics in 3D printing," in *3D Printing: Applications in Medicine and Surgery*, pp. 85–95, Jan. 2020, doi: https://doi.org/10.1016/B978-0-323-66164-5.00006-4

[39] S. C. Altıparmak and B. Xiao, "A market assessment of additive manufacturing potential for the aerospace industry," *J. Manuf. Process.*, vol. 68, pp. 728–738, Aug. 2021, doi: https://doi.org/10.1016/j.jmapro.2021.05.072

[40] Grand View Research, "3D Printing Materials Market (2025 - 2030)," Nov. 2024. [En línea]. Disponible: https://www.grandviewresearch.com/industry-analysis/3d-printing-materials-market. Consultado: Oct. 05, 2025.

[41] S. J. A. Guirao Goris, "Utilidad y tipos de revisión de literatura," *Ene*, vol. 9, no. 2, pp. 0–0, 2015, doi: https://doi.org/10.4321/S1988-348X2015000200002

[42] S. Chong, H.-L. Chiu, Y.-C. Liao, S.-T. Hung, and G.-T. Pan, "Cradle to Cradle® design for 3D printing," *Chem. Eng. Trans.*, vol. 45, pp. 1669–1674, 2015, doi: https://doi.org/10.3303/CET1545279

[43] J. Pakkanen, D. Manfredi, P. Minetola, and L. Iuliano, "About the use of recycled or biodegradable filaments for sustainability of 3D printing: State of the art and research opportunities," in *Smart Innovation, Systems and Technologies*, R. J. Howlett, G. Campana, B. Cimatti, and R. Setchi, Eds., Springer Science and Business Media Deutschland GmbH, 2017, pp. 776–785, doi: https://doi.org/10.1007/978-3-319-57078-5_73

[44] A. Mosaddek, H. K. R. Kommula, and F. Gonzalez, "Design and Testing of a Recycled 3D Printed and Foldable Unmanned Aerial Vehicle for Remote Sensing," in *2018 International Conference on Unmanned Aircraft Systems (ICUAS)*, IEEE, 2018, pp. 1207–1216, doi: https://doi.org/10.1109/ICUAS.2018.8453284

[45] G.-T. Pan, S. Chong, H.-J. Tsai, W.-H. Lu, and T. C.-K. Yang, "The Effects of Iron, Silicon, Chromium, and Aluminum Additions on the Physical and Mechanical Properties of Recycled 3D Printing Filaments," *Advances in Polymer Technology*, vol. 37, no. 4, pp. 1176–1184, 2018, doi: https://doi.org/10.1002/adv.21777

[46] N. E. Zander, "Recycled Polymer Feedstocks for Material Extrusion Additive Manufacturing," in *ACS Symposium Series*, vol. 1315, J. E. Seppala, A. P. Kotula, and C. R. Snyder, Eds., American Chemical Society, 2019, pp. 37–51, doi: https://doi.org/10.1021/bk-2019-1315.ch003

[47] J. Niemand, S. J. Mathew, and F. Gonzalez, "Design and Testing of Recycled 3D Printed Foldable Unmanned Aerial Vehicle for Remote Sensing," IEEE, 2020, pp. 892–901, doi: https://doi.org/10.1109/ICUAS48674.2020.9213961

[48] L. Büth, M. Juraschek, S. Thiede, and C. Herrmann, "Choosing products for decentralized manufacturing: Utilizing recycled 3D printing filament in India and Germany," in *Sustainable Production, Life Cycle Engineering and Management*, Springer Science and Business Media Deutschland GmbH, 2020, pp. 31–39, doi: https://doi.org/10.1007/978-3-030-44248-4_4

[49] S. L. Mak, M. Y. T. Wu, W. F. Tang, C. H. Li, and T. W. Chan, "A Review on Mechanical Properties Modification of Polymer with Talc Powder," IEEE, 2021, doi: https://doi.org/10.1109/ISPCE-ASIA53453.2021.9652179

[50] E. P. Yap, S. C. Koay, M. Y. Chan, H. L. Choo, T. K. Ong, and K. Y. Tshai, "Recycling Polymer Blend made from Post-used Styrofoam and Polyethylene for Fuse Deposition Modelling," in *Journal of Physics: Conference Series*, IOP Publishing Ltd, 2021, doi: https://doi.org/10.1088/1742-6596/2120/1/012021

[51] A. Petsiuk and J. M. Pearce, "Open Source Filament Diameter Sensor for Recycling, Winding, and Additive Manufacturing Machines," *J. Manuf. Sci. Eng.*, vol. 143, no. 10, 2021, doi: https://doi.org/10.1115/1.4050762

[52] L. Cafiero *et al.*, "Characterization of WEEE plastics and their potential valorisation through the production of 3D printing filaments," *J. Environ. Chem. Eng.*, vol. 9, no. 4, p. 105532, 2021, doi: https://doi.org/10.1016/j.jece.2021.105532

[53] A. G. Muhammad Arief, M. Nuzaimah, R. Razali, and A. M. Radzi, "Development of 3D Printing Filament Material Using Recycled Polyethylene Terephthalate Reinforced with Sugar Palm Fiber," in *Lecture Notes in Mechanical Engineering*, M. F. B. Abdollah, H. Amiruddin, A. S. Phuman Singh, F. Abdul Munir, and A. Ibrahim, Eds., Springer Science and Business Media Deutschland GmbH, 2022, pp. 17–21, doi: https://doi.org/10.1007/978-981-19-3179-6_4

[54] N. Giani, L. Mazzocchetti, T. Benelli, F. Picchioni, and L. Giorgini, "Towards sustainability in 3D printing of thermoplastic composites: Evaluation of recycled carbon fibers as reinforcing agent for FDM filament production and 3D printing," *Compos. Part A Appl. Sci. Manuf.*, vol. 159, 2022, doi: https://doi.org/10.1016/j.compositesa.2022.107002

[55] M. Bremer, L. Janoschek, D. Kaschta, N. Schneider, and M. Wahl, "Influence of plastic recycling-a feasibility study for additive manufacturing using glycol modified polyethylene terephthalate (PETG)," *SN Appl. Sci.*, vol. 4, no. 5, 2022, doi: https://doi.org/10.1007/s42452-022-05039-3

[56] M. Z. Shiferaw and H. S. Gebremedhen, "Recycled Polymer for FDM 3D Printing Filament Material: Circular Economy for Sustainability of Additive Manufacturing," in *Lecture Notes of the Institute for Computer Sciences, Social-Informatics and Telecommunications Engineering*, M. L. Berihun, Ed., Springer Science and Business Media Deutschland GmbH, 2022, pp. 243–261, doi: https://doi.org/10.1007/978-3-030-93712-6_17

[57] N. Z. Mohd Zairullisham, U. H. Ab Hakim, H. Kaco, A. S. Saadon, and M. S. Sajab, "Reprocessing of 3D printing filament's fragment by hydrolysis and recycling into the formation of bioplastic," *Mater. Today Proc.*, vol. 51, pp. 1277–1281, 2022, doi: https://doi.org/10.1016/j.matpr.2021.10.075

[58] P. Ghabezi, T. Flanagan, and N. Harrison, "Short basalt fibre reinforced recycled polypropylene filaments for 3D printing," *Mater. Lett.*, vol. 326, p. 132942, 2022, doi: https://doi.org/10.1016/j.matlet.2022.132942

[59] C. K. Ror, S. Negi, and V. Mishra, "Development and characterization of sustainable 3D printing filaments using post-consumer recycled PET: processing and characterization," *Journal of Polymer Research*, vol. 30, no. 9, 2023, doi: https://doi.org/10.1007/s10965-023-03742-2

[60] M. Alzahrani, H. Alhumade, L. Simon, K. Yetilmezsoy, C. M. R. Madhuranthakam, and A. Elkamel, "Additive Manufacture of Recycled Poly(Ethylene Terephthalate) Using Pyromellitic Dianhydride Targeted for FDM 3D-Printing Applications," *Sustainability (Switzerland)*, vol. 15, no. 6, 2023, doi: https://doi.org/10.3390/su15065004

[61] P. Pongmuksuwan, N. Intawong, and P. Srisungsitthisunti, "Recycling PET Bottles for 3D-Printing Filament: Effect of Chain Extender," in *Materials Science Forum*, Trans Tech Publications Ltd, 2023, pp. 103–108, doi: https://doi.org/10.4028/p-ck8EVP.

[62] A. Papatheodorou, I. Gavalas, D. Ntenekou, and A. Karatza, "The Influence of Thermoplastic Composite Recycling on the Additive Manufacturing Process and In-Use Phase as Candidate Materials for Wearable Devices Applications," *Polymers (Basel)*, vol. 15, no. 18, 2023, doi: https://doi.org/10.3390/polym15183775

[63] V. Mishra, C. K. Ror, S. Negi, S. Kar, and L. N. Borah, "Development of sustainable 3D printing filaments using recycled/virgin ABS blends: Processing and characterization," *Polym. Eng. Sci.*, vol. 63, no. 7, pp. 1890–1899, 2023, doi: https://doi.org/10.1002/pen.26330

[64] S. Saliakas *et al*., "Integrating Exposure Assessment and Process Hazard Analysis: The Nano-Enabled 3D Printing Filament Extrusion Case," *Polymers (Basel)*, vol. 15, no. 13, 2023, doi: https://doi.org/10.3390/polym15132836

[65] R. D. Crapnell *et al*., "Circular Economy Electrochemistry: Recycling Old Mixed Material Additively Manufactured Sensors into New Electroanalytical Sensing Platforms," *ACS Sustain. Chem. Eng.*, vol. 11, no. 24, pp. 9183–9193, 2023, doi: https://doi.org/10.1021/acssuschemeng.3c02052

[66] M. A. Morales, A. Maranon, C. Hernandez, V. Michaud, and A. Porras, "Colombian Sustainability Perspective on Fused Deposition Modeling Technology: Opportunity to Develop Recycled and Biobased 3D Printing Filaments," *Polymers (Basel)*, vol. 15, no. 3, 2023, doi: https://doi.org/10.3390/polym15030528

[67] B. I. Oladapo, O. K. Bowoto, V. A. Adebiyi, and O. M. Ikumapayi, "Net zero on 3D printing filament recycling: A sustainable analysis," *Science of The Total Environment*, vol. 894, p. 165046, 2023, doi: https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2023.165046

[68] G. E. Valenzuela and P. M. Pascua Cantarero, "Feasibility Study for the Manufacturing of 3D Printing Filaments from Recycled PET: A Design of Experiments Approach," *J. Fluid Flow Heat Mass Transf.*, vol. 11, pp. 388–396, 2024, doi: https://doi.org/10.11159/jffhmt.2024.038

[69] M. Nikam, P. Pawar, A. Patil, A. Patil, K. Mokal, and S. Jadhav, "Sustainable fabrication of 3D printing filament from recycled PET plastic," *Mater. Today Proc.*, vol. 103, pp. 115–125, 2024, doi: https://doi.org/10.1016/j.matpr.2023.08.205.

[70] G. E. Valenzuela, "Feasibility of Manufacturing and Utilizing Recycled PET 3D Printing Filaments through Design of Experiments," in *Proceedings of the World Congress on Mechanical, Chemical, and Material Engineering*, H. Qiu, Ed., Avestia Publishing, 2024, doi: https://doi.org/10.11159/icmie24.129.uniskills.library.curtin.edu+2

[71] J. D. Seno Flores, T. de Assis Augusto, D. A. Lopes Vieira Cunha, C. A. Gonçalves Beatrice, E. Backes, and L. C. Costa, "Sustainable polymer reclamation: recycling poly(ethylene terephthalate) glycol (PETG) for 3D printing applications," *Journal of Materials Science: Materials in Engineering*, vol. 19, no. 1, 2024, doi: https://doi.org/10.1186/s40712-024-00163-x

[72] O. Boughanmi, L. Lamis, H. Marouani, A. Koubaa, and Y. Fouad, "Repetitive recycling effects on mechanical characteristics of poly-lactic acid and PLA/spent coffee grounds composite used for 3D printing filament," *Polym. Eng. Sci.*, vol. 64, no. 11, pp. 5613–5626, 2024, doi: https://doi.org/10.1002/pen.26938

[73] n. Muslimin *et al*., "Mechanical properties of 3D printing filament of recycled HDPE and ABS and fiberglass," in *AIP Conference Proceedings*, M. K. Delimayanti, H. Rahman, and P. M. Adhi, Eds., American Institute of Physics, 2024, doi: https://doi.org/10.1063/5.0231258

[74] I. Ibrahim, A. G. Ashour, W. Zeiada, N. Salem, and M. Abdallah, "A Systematic Review on the Technical Performance and Sustainability of 3D Printing Filaments Using Recycled Plastic," *Sustainability (Switzerland)*, vol. 16, no. 18, 2024, doi: https://doi.org/10.3390/su16188247

[75] S. I. Atsani and S. L. Sing, "Optimization of Glass-Powder-Reinforced Recycled High-Density Polyethylene (rHDPE) Filament for Additive Manufacturing: Transforming Bottle Caps into Sound-Absorbing Material," *Polymers (Basel)*, vol. 16, no. 16, 2024, doi: https://doi.org/10.3390/polym16162324

[76] N. R. R. Rajendran Royan, T. J. Tan, L. J. Sheng, and C. W. Nam, "Mechanical Behavior of 3D-Printed Rice Husk Reinforced Recycled High Density Polyethylene Composite," in *AIP Conference Proceedings*, D. Ramasamy, K. Kadirgama, Z. Mohamed, and R. M. Norsat, Eds., American Institute of Physics, 2024, doi: https://doi.org/10.1063/5.0188308

[77] n. Muslimin *et al*., "Utilization of Recycle LDPE (r-LDPE) Plastic and Galangal Stem Fiber for the Development of 3D Printing Filaments," in *Materials Science Forum*, vol. 1134, Trans Tech Publications Ltd, 2024, pp. 125–134, doi: https://doi.org/10.4028/p-sf9nRH

[78] M. S. Hussin *et al*., "Exploring the Impact of 3D Printing Parameters on the Compression Strength of Recycled PLA Filament," in *Lecture Notes in Mechanical Engineering*, R. Hamidon, M. S. Bahari, J. M. Sah, and Z. Zainal Abidin, Eds., Springer Science and Business Media Deutschland GmbH, 2024, pp. 581–591, doi: https://doi.org/10.1007/978-981-97-0169-8_48

[79] A. Spirio, R. Arrigo, A. Frache, L. Tuccinardi, and R. Tuffi, "Plastic waste recycling in additive manufacturing: Recovery of polypropylene from WEEE for the production of 3D printing filaments," *J. Environ. Chem. Eng.*, vol. 12, no. 3, p. 112474, 2024, doi: https://doi.org/10.1016/j.jece.2024.112474

[80] R. S. Devra, N. Srivastava, M. Vadali, and A. Arora, "Recycling, thermophysical characterisation and assessment of low-density polythene waste as feedstock for 3D printing," *Materials Today Sustainability*, vol. 28, p. 100949, 2024, doi: https://doi.org/10.1016/j.mtsust.2024.100949

[81] O. Saker, N. O. Ogunlakin, K. Azher, A. Nazir, and M. M. Imam, "Plastic waste to 3D printing filaments preparation, mechanical and surface characterization for sustainable application to complex non-functional geometries," *Journal of Polymer Research*, vol. 32, no. 6, p. 220, Jun. 2025, doi: https://doi.org/10.1007/s10965-025-04452-7.

[82] S. Pongsathit, P. Chanthot, S.-P. Rwei, and C. Pattamaprom, "Upcycling Waste Polyethylene Terephthalate Bottles into Eco-Friendly Filaments for Material Extrusion 3D Printing," *Engineered Science*, vol. 35, no. 1, pp. 1–16, 2025, doi: https://doi.org/10.30919/es1495

[83] V. G. Hai and V.-Q. Hoang, "Study on the Influence of Technological Parameters in the 3D Printing Filament Production Process from Recycled Plastic Bottles Using Taguchi Experimental Design," in *Lecture Notes in Mechanical Engineering*, B. T. Long, H. X. Nang, V. V. Truong, P. T. Huy, Y.-H. Kim, K. Ishizaki, K. Hyungsun, D.-T. Nguyen, N. T. Hong Minh, and P. Duc An, Eds., Springer Science and Business Media Deutschland GmbH, 2025, pp. 583–591, doi: https://doi.org/10.1007/978-3-031-96126-7_69

[84] R. E. Ciobanu, F. C. Marinescu, and P. I. Bräileanu, "Sustainable solutions for converting PET into 3D printing filament," *Academic Journal of Manufacturing Engineering*, vol. 23, no. 1, pp. 174–179, 2025, doi: https://doi.org/10.5281/zenodo.15043938

[85] V. Bhaskaran, H. Gireesan, S. T. Shashishekar, A. Kanagaraj, D. V. S. Virgindevi, and B. Muschard, "Circular Economy Business Model for 3D Printing Filament Production in Vietnam," in *Lecture Notes in Mechanical Engineering*, H. Kohl, G. Seliger, F. Dietrich, and H. T. Vien, Eds., Springer Science and Business Media Deutschland GmbH, 2025, pp. 835–846, doi: https://doi.org/10.1007/978-3-031-93891-7_92

[86] K. Alzebdeh, M. Alsafy, K. Al-Kindi, A. B. Al-Anqoodi, A. al-Alawi, and N. Al-Hinai, "Optimization and Characterization of Recycled Polypropylene and Date Palm Nanocomposites for 3D Printing Applications," *J. Mater. Eng. Perform.*, vol. 34, no. 20, pp. 24073–24089, 2025, doi: https://doi.org/10.1007/s11665-025-11029-4

[87] A. S. Charkieh *et al.*, "Multi-modal assessment of recycled polyethylene terephthalate composites in additive manufacturing: The role of carbon fiber," *Polym. Compos.*, vol. 46, no. 12, pp. 10864–10878, 2025, doi: https://doi.org/10.1002/pc.29658

[88] W. Leon-Ayala, S. Ramos-Cosi, and C. Marrujo-Ingunza, "A Systematic Review on the Reuse of Recycled Plastics in 3D Printing Filament Production," *SSRG International Journal of Mechanical Engineering*, vol. 12, no. 5, pp. 87–95, 2025, doi: https://doi.org/10.14445/23488360/IJME-V12I5P110

[89] Y. Kumarasamy, N. Nagarjun, P. K. Mohanty, and S. Das, "Transforming electronic waste into a sustainable 3D printing filaments using polylactic acid," *Proc. Inst. Mech. Eng. C J. Mech. Eng. Sci.*, vol. 239, no. 7, pp. 2424–2441, 2025, doi: https://doi.org/10.1177/09544062241301594

[90] A. Sharma, M. Kumar, and A. Sharma, "Sustainable additive manufacturing: challenges and opportunities of recycling plastic waste for 3D printing filaments," *Sadhana - Academy Proceedings in Engineering Sciences*, vol. 50, no. 1, 2025, doi: https://doi.org/10.1007/s12046-025-02669-2

[91] M. R. Hasan, I. J. Davies, A. Pramanik, M. John, and W. K. Biswas, "Recycling Post-Consumed Polylactic Acid Waste Through Three-Dimensional Printing: Technical vs. Resource Efficiency Benefits," *Sustainability (Switzerland)*, vol. 17, no. 6, 2025, doi: https://doi.org/10.3390/su17062484

[92] J. J. Ezhilan, A. Damodaran, and K. G. Kumaresan Gladys, "Decentralized approach for incorporating waste wind turbine blades into 3D printing filaments using mechanical recycling," *Polym. Compos.*, vol. 46, no. 3, pp. 2319–2332, 2025, doi: https://doi.org/10.1002/pc.29107

[93] M. M. Hasan, N. M. Navid Islam Taj, M. M. Hasan Naime, M. M. Islam, M. M. Rahman Biswas, and M. T. Rana, "Production of 3D Printing Filament from Recycled Plastic Bottles using Fused Deposition Modeling," in *International Conference on Robotics Electrical and Signal Processing Techniques*, IEEE, 2025, pp. 50–54, doi: https://doi.org/10.1109/ICREST63960.2025.10914467

[94] O. Boughanmi, L. Lamis, and H. Marouani, "Influence of Repetitive Recycling of 3D Printing Filament on Mechanical Properties of PLA and PLA/Spent Coffee Grounds Composite," in *Lecture Notes in Mechanical Engineering*, M. Soula, N. Ben Moussa, A. Trabelsi, N. Ben Yahia, F. Ghanem, and I. Dridi, Eds., Springer Science and Business Media Deutschland GmbH, 2025, pp. 92–101, doi: https://doi.org/10.1007/978-3-031-94889-3_8

[95] N. K. Mansour *et al.*, "Circular economy and 3D printing in the healthcare sector," *Front. Bioeng. Biotechnol.*, vol. 13, 2025, doi: https://doi.org/10.3389/fbioe.2025.1548550

[96] A. Sahil Panjabrao *et al*., "Sustainable 3D-Printed food packaging from agricultural waste: A review of materials, properties, and applications," *J. Agric. Food Res.*, vol. 22, p. 102061, 2025, doi: https://doi.org/10.1016/j.jafr.2025.102061.

[97] V. Dhopte, P. Khapre, O. Bhagat, and H. Warhokar, "Design and Fabrication of PET Filament Making Machine," *International Journal for Research in Applied Science & Engineering Technology (IJRASET)*, vol. 10, no. 4, pp. 1460–1463, Jan. 2022, doi: https://doi.org/10.22214/ijraset.2022.41519

[98] A. G. Pariona, J. I. Ames, and D. Huamanchahua, "Automatic Sorting System Based on Sensors for the Extrusion of Filament Used in 3D Printers Based on Recycled PET Plastic Bottles," in *2022 10th International Conference on Control, Mechatronics and Automation (ICCMA)*, IEEE, 2022, pp. 199–204, doi: https://doi.org/10.1109/ICCMA56665.2022.10011606

[99] S. Gonzaga, *Design and Fabrication of a 3D Printing Threads Extractor from Waste Plastic Bottles*. Makerere University, Kampala, Uganda, 2023. [En línea]. Disponible: https://dissertations.mak.ac.ug/bitstream/handle/20.500.12281/20238/SSEBULIME_CEDAT_BMEC.pdf?sequence=1&isAllowed=y. Consultado: Oct. 10, 2025

[100] M. Nikam, P. Pawar, A. Patil, A. Patil, K. Mokal, and S. Jadhav, "Sustainable fabrication of 3D printing filament from recycled PET plastic," in *Materials Today: Proceedings*, P. S. Chauhan, Ed. Elsevier Ltd, 2024, pp. 297–302, doi: https://doi.org/10.1016/j.matpr.2023.08.205

[101] A. T. Ahmed, *Design and fabrication of machine that converts plastic bottle - PET - to 3D printing filament*. Ashesi University, Ghana, 2024. [En línea]. Disponible: https://hdl.handle.net/20.500.11988/1237

[102] G. Morales Méndez, A. del Cerro Pérez, and F. del Cerro Velázquez, "Prototype pultrusion of recycled polyethylene terephthalate plastic bottles into filament for 3D eco-printing: Education for a sustainable development project," *Sustainability*, vol. 16, no. 19, p. 8347, Sep. 2024, doi: https://doi.org/10.3390/su16198347

[103] L. Sanassee and K. Henrage, "Production of 3D printing filament from plastic bottles waste using a low-income settings extruder as an opportunity to reduce plastic pollution in small island developing states," *J. Mater. Cycles Waste Manag.*, vol. 26, no. 5, pp. 2841–2852, Sep. 2024, doi: https://doi.org/10.1007/s10163-024-02005

[104] P. I. A. R. Ab Rahman, Mai Noor Asiah Tan Zalilah, and Azlan Shah Katiman, "Design of an extrudate filament machine for recycling waste polyethylene terephthalate plastics into 3D printing filament," *J-Innovation*, vol. 13, no. 1, pp. 25–32, Jun. 2024, doi: https://doi.org/10.55600/jipa.v13i1.229

[105] M. Meraj, P. X. Ku, H. L. Choo, and P. P. Aung, "Design and development of an automated PET plastic bottle 3D printer filament making machine," *J. Phys. Conf. Ser.*, vol. 2923, no. 1, p. 012005, Dic. 2024, doi: https://doi.org/10.1088/1742-6596/2923/1/012005

[106] R. E. Ciobanu, F. C. Marinescu, and P. I. Braileanu, "Sustainable solutions for converting PET into 3D printing filament," *Academic Journal of Manufacturing Engineering*, vol. 23, no. 1, pp. 174–179, 2025, doi: https://doi.org/10.5281/zenodo.15043938

[107] S. Chopade, S. Chopade, S. Gawade, K. Shirsat, D. Ajmera, and Y. Bharambe, "Conversión de botellas de PET de desecho en filamento para impresión 3D: un enfoque sostenible," *J. Neonatal Surg.*, vol. 14, no. 31S, pp. 732–741, Jun. 2025. [En línea]. Disponible: https://www.jneonatalsurg.com/index.php/jns/article/view/7253

[108] V. A. dos S. Oliveira, G. C. Decoló, A. M. Oliveira, F. de S. Bastos, and R. A. Dias, "PET recycling for 3D printing: Construction of an extruder with electronic waste," *IOP Conf. Ser. Earth Environ. Sci.*, vol. 1536, no. 1, p. 012025, Sep. 2025, doi: https://doi.org/10.1088/1755-1315/1536/1/012025

[109] I. M. Rodiana, B. A. Pramudita, N. A. Barokatillah, Abd. Rahman Saleh, and Aghesa Tri Nirbhita Daniswara, "Low-cost device to upcycling PET plastic bottle into 3D printer filament," *Emitor: Jurnal Teknik Elektro*, pp. 145–153, Jul. 2025, doi: https://doi.org/10.23917/emitor.v25i2.10473

[110] E. A. Calle Malo, J. Lopez Ñauta, and Javier, *Máquina para generar filamento a partir de botellas recicladas como complemento para la máquina de reciclaje Pichaybot*. Universidad Católica de Cuenca, Cuenca, Ecuador, 2025. [En línea]. Disponible: https://dspace.ucacue.edu.ec/handle/ucacue/20460

[111] A. N. Fathoni, "Development of a plastic bottle waste processing tool into 3D printer filament based on Arduino microcontroller," *Jurnal Informatika dan Teknik Elektro Terapan*, vol. 13, no. 3S1, Oct. 2025, doi: https://doi.org/10.23960/jitet.v13i3S1.8170