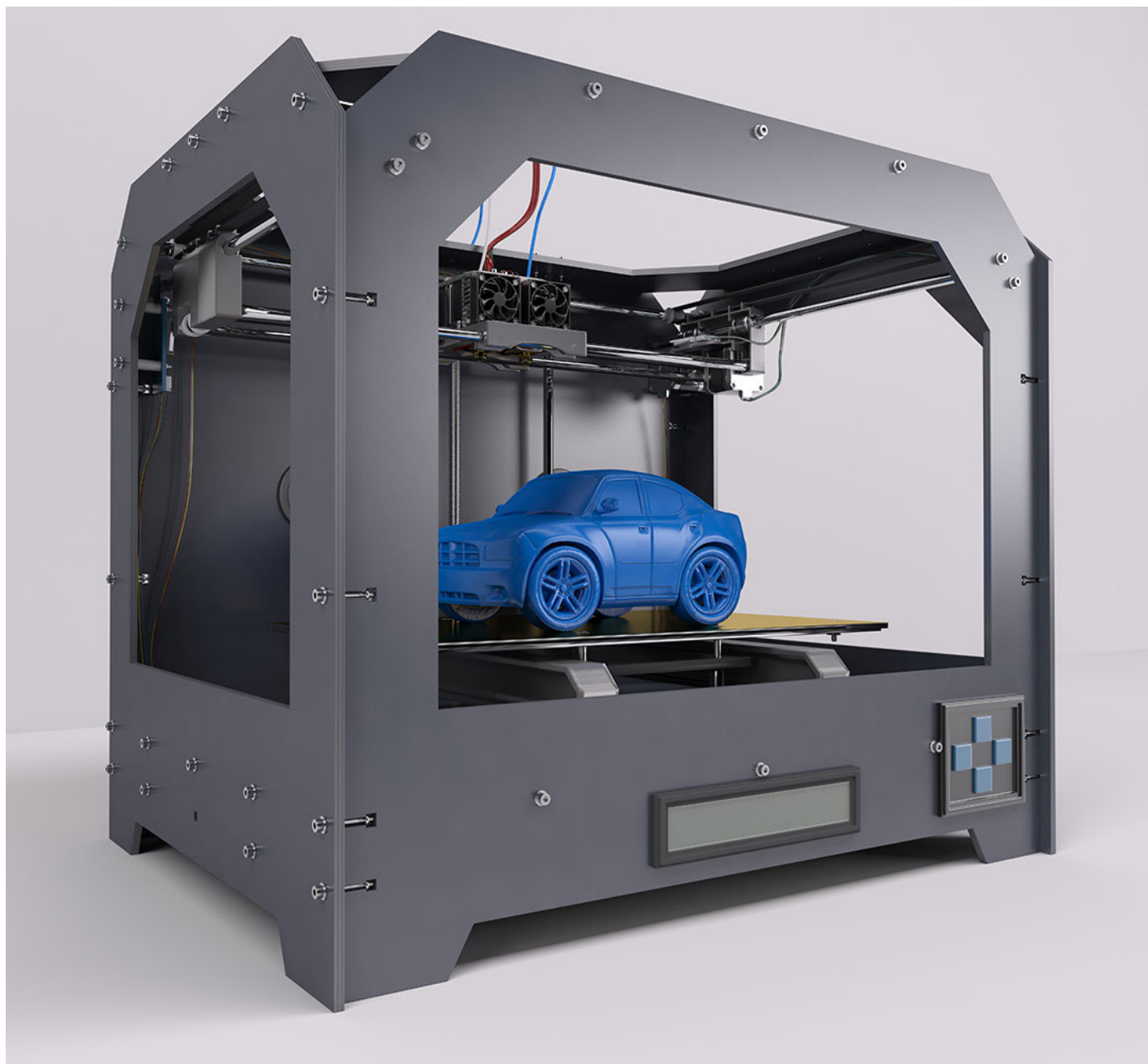




## **Implementación de economía circular en la industria de impresión 3D mediante el reciclaje de plásticos de un solo uso**

## **Implementation of circular economy in the 3D printing industry through the recycling of single-use plastics**

**hernández, Juan**

Aprendiz programa Te. Fundición de joyería a la cera perdida,  
ficha 1906743

## Resumen

La popularización de la impresión 3D y su crecimiento como industria se traducen como un aumento en el consumo y producción de materiales poliméricos. El uso de materiales poliméricos (la mayoría de los cuales son derivados del petróleo y no biodegradables) se ha convertido en un tema creciente de preocupación ambiental, la cual podría ser incrementada por los desechos de la industria de la impresión 3D si esta continúa bajo un modelo económico circular. Sin embargo, la creación de proyectos de reciclaje de filamento impulsados por la cultura de autoproducción inherente a la comunidad de la impresión 3D, y la descentralización de los procesos de producción y reciclaje que esta conlleva, presentan una oportunidad única para la implementación de un modelo económico circular que reincorpore tanto los desechos de la industria de la impresión 3D como los plásticos de un solo uso producidos por otras industrias al ciclo productivo, contribuyendo a la sostenibilidad de los materiales poliméricos.

## Introducción

El aumento en asequibilidad y la subsecuente popularización de la impresión 3D ha representado un importante avance tanto para emprendedores como para instituciones educativas. Su uso simplifica considerablemente el proceso de prototipado rápido al reducir considerablemente tanto

## Summary

The popularization of 3D printing and its growth as an industry translate into an increase in the consumption and production of polymeric materials. The use of polymeric materials (most of which are non-biodegradable petroleum derivatives) has become an increasing source of environmental concern, which could be worsened by the waste of the 3D printing industry if this continues using a linear economic model. However, the creation of filament recycling projects, driven by the D.I.Y. culture inherent to the 3D printing community, and the decentralization of the production and recycling processes that comes with it, present a unique opportunity for the implementation of a circular economic model that reincorporates both the waste of the 3D printing industry and the single-use plastics produced by other industries into the productive cycle, contributing to the sustainability of polymeric materials.

## Abstract

The increase in accessibility and subsequent popularization of 3D printing represents an important step forward for both entrepreneur and educative institutions. Its use considerably simplifies the process of fast prototyping by considerably reducing both costs and production times for prototypes, which greatly benefits the industries of design, engineering, aerospace, metalcasting, and medicine. However, the growth in the

costos como tiempos de producción de prototipos, lo cual beneficia enormemente a las industrias del diseño, la ingeniería, aeroespacial, fundición y la medicina. Sin embargo, el crecimiento de la industria de la impresión 3D también ha llevado a un aumento en el consumo de polímeros termoplásticos. Teniendo en cuenta que gran parte del uso de la impresión 3D consiste en prototipos rápidos destinados a ser desechados, esto ha contribuido a aumentar las ya crecientes preocupaciones con respecto a la contaminación por el uso de plásticos no biodegradables. Es por esto que la impresión 3D presenta una importante oportunidad para la implementación de un modelo económico más circular que se traduzca en un menor gasto de material mediante su reincorporación al sistema productivo.

## **Impresión 3D y uso de polímeros termoplásticos**

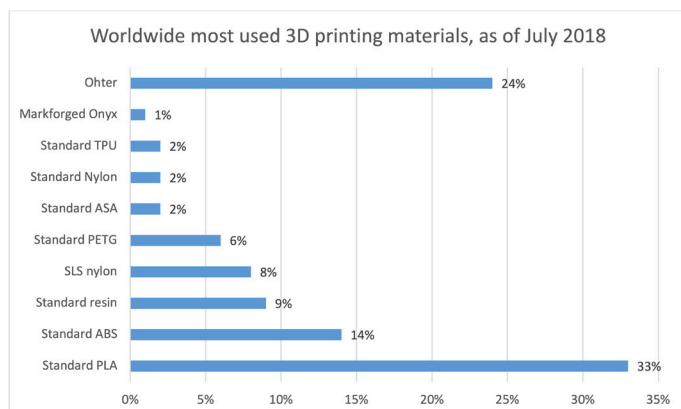
La inversión en la industria de la impresión 3D ha demostrado un crecimiento constante tanto a nivel nacional como global. Se pronostica que la inversión en este sector presentará un crecimiento del 19.4% en el periodo 2019-2024, con el gasto en el segmento de materiales presentando un crecimiento del 20.3%[1]. En particular, este crecimiento en el gasto en materiales representa un mayor consumo de filamento polimérico. Aunque algunos de los polímeros termoplásticos utilizados en el proceso de impresión 3D son biodegradables, como

3D printing industry also carries with in an increase in the consumption of thermoplastic polymers. Considering that a big part of the use of 3D printing consists on the fast prototypes destined to be discarded, this has contributed to increase the already growing environmental concerns regarding pollution due to the use of non/biodegradable plastics. This is why 3D printing presents an important opportunity for the implementation of a more circular economic model which would translate into less material usage due to its reincorporation into the productive system.

## **3D printing and thermoplastics**

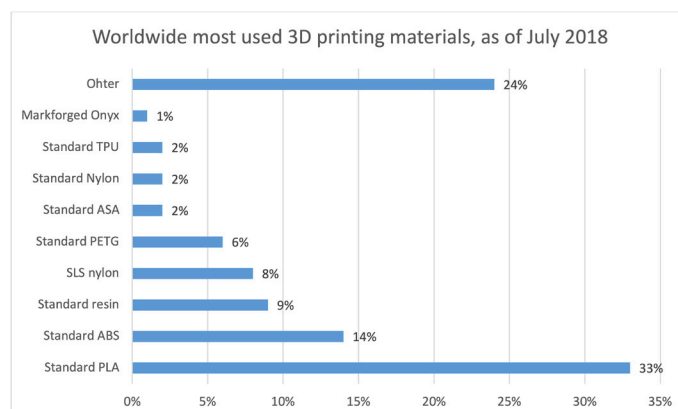
Investment into the 3D printing industry has shown a constant growth on both a national and global level. It is predicted that investment in this sector will present a 19.4% growth in the 2019-2024 period, with materials spending presenting a 20.3% growth [1]. In particular, this growth in material spending represents a higher use of polymeric filament. Despite some of the thermoplastic polymers used in 3D printing are biodegradable, like PLA, most of them aren't. In particular, ABS, which is the second most used filament material on the market [2] because of its good finishing and strength, not only is not biodegradable, carrying the corresponding environmental concerns, it also carries potential health risks due to the gases and particular materials it produces during the printing process, which haven't been conclusive studied for their health effects [3].

el PLA, la mayoría no lo son. En particular el ABS, el cual es el segundo polímero de impresión 3D más popular del mercado [2] debido a su buen acabado y alta resistencia, no solo no es biodegradable, conllevando a las correspondientes preocupaciones ambientales, sino que también acarrea potenciales riesgos de salud debido a los gases y material particulado que produce durante el proceso de impresión, cuyos efectos a largo plazo no han sido estudiados conclusivamente[3].



*Figura 1: Materiales de impresión 3D más usados. Fuente: Statista, Worldwide most used 3D printing materials as of July 2018. Consultado 03 de Agosto de 2020 <https://www.statista.com/statistics/800454/worldwide-most-used-3d-printing-materials/>*

Un incremento en el uso de materiales poliméricos tal como el que supone la popularización de la impresión 3D puede ser preocupante considerando el estado actual de los desechos poliméricos a nivel tanto nacional como mundial. En Colombia, anualmente se producen aproximadamente 14 millones de toneladas de residuos sólidos [4], de las cuales 1 millón es de origen polimérico. De este millón de toneladas, solo el 7% es reciclado [5], y entre el 85% y el 90% del total de residuos sólidos en el país termina



*Figura 1: Most used 3D printing materials. Source: Statista, Worldwide most used 3D printing materials as of July 2018. Consultado 03 de Agosto de 2020 <https://www.statista.com/statistics/800454/worldwide-most-used-3d-printing-materials/>*

An increase in the use of polymeric materials like the one entailed by the popularization of 3D printing can be worrying considering the current status of polymeric waste on both a national and global level. In Colombia, 14 million tons of solid waste are currently produced each year [4], of which one million is polymeric in origin. Of this million tons, only 7% gets recycled [5], and between 85% and 90% of all solid waste in the country ends up in landfills according to Daniel Mitchell, president of Acoplástico [6].

Considering that 22% of landfills in the country are oversaturated [7], that the National Planning Department predicts that production of solid waste could increase by 20% in the next 10 years if conditions continue on the current course [8], it's clear that the lack of circularity in the treatment of our waste represents a growing problem, of which plastic makes up an important part. Close to 40% of this waste is recyclable, and

en rellenos sanitarios según Daniel Mitchell, presidente de Acoplásticos [6].

Considerando que el 22% de los rellenos sanitarios del país se encuentra sobresaturado [7], que el Departamento Nacional de Planeación predice que la producción de residuos sólidos en Colombia podría crecer en un 20% en los próximos 10 años si las condiciones actuales se mantienen [8], es claro que la falta de circularidad en el tratamiento de nuestros residuos representa un problema creciente, del cual los residuos plásticos forman parte importante. Cerca del 40% de estos residuos son reciclables, y la Política Nacional para la Gestión de Residuos Sólidos plantea como uno de sus objetivos llegar a un aprovechamiento del 30% de estos para el año 2030 [9], sin embargo, estando a 10 años de esta fecha, y con una tasa de aprovechamiento de residuos sólidos que apenas llega al 17%, es dudoso que este objetivo se vaya a convertir en una realidad.

Además del impacto ambiental de su disposición final, el incremento en el uso de material polimérico también acarrea el impacto ambiental de su producción. A pesar de que el PLA proviene de una fuente orgánica sustentable (obtenido a partir de la fermentación controlada del almidón el maíz o el azúcar de caña [10]), la mayoría de termoplásticos utilizados en el proceso de impresión 3D tienen su origen en el petróleo, es decir, tienen un proceso de producción que contribuye a las emisiones de gas carbónico.

No todo es negativo, sin embargo. Una de

the National Policy for the Management of Solid Waste sets as one of its goals to reach a recycling rate of 30% for them by the years 2030 [9]. However, with this date being merely 10 years away and our recycling rate being only 17%, it's dubious that this goal will be reached.

Besides the environmental impact of its final disposal, the increase in the use of polymeric material also carries the environmental impact of its production. Despite the fact that PLA proceeds from an organic source (obtained from the controlled fermentation of cornstarch and cane sugar [10]), most of the thermoplastics utilized in the 3D printing process are derived from petrol, meaning they have a production process that contributes to carbon emissions.

Not everything is negative, however. One of the environmental advantages of the popularization of 3D printing is a decentralization of productive processes. Whether for the production of medical prostheses, prototypes for the research projects, objects for commercialization in an entrepreneurship project, or objects for personal use, 3D printing encourages a productive model where production is much closer to the final user, both physically and in its place in the productive chain, in many cases decreasing or completely eliminating the phase of transport and distribution. Example given, an engineer that needs a piece that is only produced in a different country, but decides to use his 3D printer to produce it instead of importing it, he has effectively



las ventajas ambientales de la popularización de la impresión 3D es una descentralización de los procesos productivos. Ya sea para la producción de prótesis médicas, prototipos para proyectos de investigación, objetos para comercialización en un proyecto de emprendimiento, u objetos para uso personal, la impresión 3D incentiva un modelo productivo en el que la producción se encuentra mucho más cerca del usuario final, tanto físicamente como en su posición en la cadena productiva, en muchos casos disminuyendo o incluso eliminando por completo la fase de transporte y distribución. Por ejemplo, un ingeniero que se encuentra realizando un prototipo que requiere una pieza que solo es producida en otro país, pero decide usar su impresora 3D para producirla en vez de importarla, ha efectivamente eliminado todos los pasos intermedios entre la producción y la adquisición por parte del usuario final, eliminando también el impacto ambiental de esos procesos intermedios, como el transporte de un país a otro.

Además de esto, la consolidación del PLA como el material más popular para la impresión 3D polimérica representó un gran paso hacia adelante en cuanto a la sostenibilidad ambiental de esta industria. Sin embargo, sigue existiendo en la industria un gran potencial para la circularidad, uno que a duras penas ha empezado a aprovecharse.

Una de las formas que ha tomado este potencial es la de las extrusoras caseras para la producción de filamento reciclado. La popularización de la producción de filamento

eliminated all the intermediate steps between production and acquisition by the final user, also eliminating the environmental impact of these steps, like transport from one country to the other.

Aside from that, the consolidation of PLA as the most popular material for polymeric 3D printing represented a great step forward regarding the environmental sustainability of this industry. However, there's still great potential for circularity, which we have barely started taking advantage of.

One of the forms this potential has taken is that of domestic extruders for the production of recycled filament. The popularization of the production of recycled filament among 3D printing users would contribute to closing not only the production loop of 3D printing by allowing the reincorporation of objects destined to be discarded (like damaged prints or simply 3D printed objects that aren't needed or wanted anymore) into the productive chain, but also the productive loop of other industries with waste that principally consists of polymeric residues by allowing the integration of these into a new productive cycle as raw material for 3D printing.

| Características                         | ABS [12]  | PET [13] |
|-----------------------------------------|-----------|----------|
| Densidad (g/cm <sup>3</sup> )           | 1.03-1.38 | 1.39     |
| Temperatura de deflexión del calor (°C) | 84-118    | 80-120   |
| Temperatura de fusión (°C)              | 225       | 244-254  |
| Módulo de Young (Gpa)                   | 2.8       | 3.1      |
| Resistencia a la tracción (Mpa)         | 110       | 72       |
| Resistencia a la flexión (Mpa)          | 97        | 80       |

Table 1: Comparison of characteristics of ABS and PET. Source: Article author, 2020.

reciclado entre los usuarios de impresión 3D contribuiría no solo a cerrar el bucle productivo de la impresión 3D al permitir reincorporar a la cadena productiva objetos destinados a ser desechados (como impresiones dañadas o simplemente objetos impresos en 3D que ya no se quieren o necesitan), sino también el bucle productivo de otras industrias cuyos desechos consistan principalmente de residuos poliméricos al permitir integrar estos en un nuevo ciclo productivo como materia prima para impresión 3D.

| Características                         | ABS [12]  | PET [13] |
|-----------------------------------------|-----------|----------|
| Densidad (g/cm <sup>3</sup> )           | 1.03-1.38 | 1.39     |
| Temperatura de deflexión del calor (°C) | 84-118    | 80-120   |
| Temperatura de fusión (°C)              | 225       | 244-254  |
| Módulo de Young (Gpa)                   | 2.8       | 3.1      |
| Resistencia a la tracción (Mpa)         | 110       | 72       |
| Resistencia a la flexión (Mpa)          | 97        | 80       |

*Tabla 1: Comparación de características del ABS y el PET. Fuente: Autor del artículo, 2020.*

Con respecto a este último punto, un material que presenta especial potencial es el PET o tereftalato de polietileno. Este material cuenta con características físicas y mecánicas similares a las del ABS. Cerca de un 30% de la demanda del PET a nivel mundial proviene de su uso para la producción de envases para bebidas y empaques termoformados para medicamentos [11], lo cual lo convierte en fuente importante de los llamados “plásticos de un solo uso”, en los cuales se ha centrado gran parte de la preocupación ambiental respectiva a los residuos de origen polimérico.

Aunque empresas de reciclaje convencional realizan esfuerzos significativos para el

Regarding this last point, a material with particular potential is PET or polyethylene terephthalate. This material has physical and mechanical properties similar to that of ABS. Close to 30% of PET demand on a global level comes from its use for the production of beverage bottles and thermoformed packaging for medicine [11], which turns it into an important source of what is known as “single-use plastics”, on which a lot of the environmental concerns regarding polymeric waste.

Despite the fact that conventional recycling companies carry out significant efforts for PET recycling (in Colombia, companies like Apropet and Enka process 31200 tons of PET every year [14]), the decentralized model for waste recycling encouraged by the existence of domestic recycled filament extruders (especially by open-source designs like the RecycleBot Project from the Victoria University of Wellington of New Zealand) would present some advantages over the centralized recycling carried out by private or public companies. Just like 3D printing eliminates the energetic costs of transport from the productive process, domestic 3D printing filament eliminates the energetic cost of transport from the recycling process:

While in a conventional recycling process the material needs to be transported to a recycling plant and then from there to the place where the new recycled pellets will be used, a 3D printing user who saves his own single-use plastics to produce his own recycled filament and then uses it in his own home completely

reciclaje del PET (En Colombia empresas como Apropet y Enka procesan 31200 toneladas de PET al año [14]), el modelo descentralizado de reciclaje de desechos poliméricos incentivado por la existencia de extrusoras de filamento reciclado (especialmente por diseños de código abierto como el proyecto RecycleBot de la Universidad Victoria de Wellington de Nueva Zelanda) presentaría ventajas con respecto al reciclaje centralizado realizado por empresas públicas o privadas. Igual que la impresión 3D elimina el costo energético del transporte del proceso productivo, el reciclaje casero de filamento para impresión elimina el costo energético del transporte del proceso de reciclaje:

Mientras que en un proceso de reciclaje convencional el material debe ser transportado primero hacia una planta de reciclaje y de ahí al lugar donde los pellets obtenidos del proceso de reciclaje serán aprovechados, un usuario de impresión 3D que guarde sus plásticos de un solo uso para producir su propio filamento reciclado y posteriormente utilizarlo en su propio hogar ahorra por completo este proceso de transporte. Según Joshua Pearce, investigador de la Universidad Tecnológica de Michigan y uno de los principales colaboradores del proyecto Recyclebot, esta diferencia supondría un ahorro energético de entre el 70 y el 80% por kilo de material [15].

Una implementación a mayor escala de equipos de producción de filamento reciclado entre la base de usuarios de la impresión 3D permitiría reducir el consumo de filamento virgen, reintegrar residuos de PET

saves this transport process. According to Joshua Pearce, researcher of the Michigan Technological University and one of the main collaborators of the Recyclebot Project, this difference would save between 70% and 80% of the energy in the process of recycling for kilogram of material [15].

A larger-scale implementation of filament production hardware among the 3D printing userbase would make it possible to reduce the use of virgin filament, reincorporate PET and other plastic waste into the productive chain, and reintegrate damaged or defective prints into the chain instead of discarding them, contributing to the three pillars of circular economy [16]:

- Preserving and improving natural capital: The 3D printing industry can be transformed into an industry which consumes less natural resources by encouraging the use of recycled filament among 3D printing users.
- Resource optimization: Optimization of the useful life of each kilogram of recycled PET, by allowing recycling the material more than once, thus making it possible to repeatedly reintegrate recycled PET prints several times when they're not needed anymore (or in case they come out damaged or defective). However, it's worth saying that this point would be limited by material recuperation rate and the loss of quality inherent to repeated recycling processes.
- Encouraging system efficacy: The externalities of the productive activities of



y otros plásticos de un solo uso a la cadena productiva, y reintegrar impresiones dañadas o defectuosas a la cadena productiva en vez de desecharlas, contribuyendo a los tres pilares de la economía circular [16]:

- **Preservar y mejorar el capital natural:** Se puede convertir la industria de la impresión 3D en una con un consumo menor de recursos naturales al fomentar el uso de filamento reciclado entre los usuarios de la impresión 3D.
- **Optimización de los recursos:** Optimización de la vida útil de cada kilogramo de PET reciclado, al permitir reciclar el material más de una vez, permitiendo así reintegrar repetidamente las impresiones realizadas con PET reciclado múltiples veces cuando ya no se necesiten (o en caso de salir dañadas o defectuosas). Sin embargo, cabe resaltar que este punto iría limitado por el porcentaje de recuperación del material y la pérdida de calidad inherente a la realización de repetidos procesos de reciclaje.
- **Fomentar la eficacia del sistema:** Se reducirían las externalidades de las actividades productivas de la industria alimentaria al reintroducirlas como materia prima de la industria de la impresión 3D.

## Conclusiones

- Muchas de las materias primas intermedias en diferentes industrias terminan generando problemas de gestión

the food industry by reintroducing them as raw material for the 3D printing industry.

## Conclusions

- Many of the intermediate raw materials in different industries end up creating waste management problems, due to their cost not being significant to the productive process, which prevents the appropriate attention from being paid to them. Such is the case of 3D modelling, transitory packaging, modelling materials, etc.
- The implementation of circular economy can be extended from the 3D printing industry to these other industries, for example, the industries of jewelry, engineering, medicine, design, or any industry that makes use of 3D printing.
- In these current times, when economic and environmental sustainability is more important than ever, 3D printing is in a position where, depending on how its handled and the emphasis placed on circularity, it can end up alleviating some of our environmental concerns or, on the contrary, increasing them.

## Bibliography

- 1) La impresión 3D consolida su crecimiento de cara a los próximos años (2019), Revista digital it Trends, 28 de enero de 2019, It Digital Media Group. Consultado 03 de Agosto de 2020 <https://www.ittrends.es/infraestructura/2019/01/la-impresion->

de desechos, dado que su costo no es muy significativo dentro del proceso productivo, por lo que no se les presta la debida atención. Tal es el caso de los modelos 3D, embalajes transitorios, materiales de moldeado, etc.

- La implementación de la economía circular puede extenderse desde la industria de la impresión 3D a estas otras industrias, por ejemplo, la industria de la joyería, ingeniería, medicina, diseño, y cualquier industria que haga uso de la impresión 3D.

- En estos tiempos donde la sostenibilidad económica y ambiental es más importante que nunca, la impresión 3D se encuentra en una posición en la cual, dependiendo de cómo se maneje y el énfasis que se le dé a la circularidad, puede llegar a aliviar parte de nuestras preocupaciones ambientales o, por el contrario, acrecentarlas

## Bibliografía

1) La impresión 3D consolida su crecimiento de cara a los próximos años (2019), Revista digital it Trends, 28 de enero de 2019, It Digital Media Group. Consultado 03 de Agosto de 2020 <https://www.ittrends.es/infraestructura/2019/01/la-impresion-3d-consolida-su-crecimiento-de-cara-a-los-proximos-anos>.

2) Statista, Worldwide most used 3D printing materials as of July 2018. Consultado 03 de Agosto de 2020 <https://www.statista.com/statistics/800454/worldwide-most-used-3d-printing-materials/>

3d-consolida-su-crecimiento-de-cara-a-los-proximos-anos.

2) Statista, Worldwide most used 3D printing materials as of July 2018. Consultado 03 de Agosto de 2020 <https://www.statista.com/statistics/800454/worldwide-most-used-3d-printing-materials/>

3) Scott, M. (2017), 5 Reasons why ABS needs to go away, All3DP. Consultado 03 de Agosto de 2020 <https://all3dp.com/5-reasons-why-abs-needs-to-go-away/>

4) Pastori, D. (2019). “Colombia pierde 2 billones anuales por no reciclar desechos plásticos”. Periódico El Heraldo, edición 10 de junio de 2019.

5) En Colombia solo se recicla el 7% del plástico (2019), Diario Occidente, edición 1 de julio de 2019.

6) Mitchell, D. (2019). La paradoja de la industria plástica. Periódico El Espectador, edición 6 de agosto de 2019.

7) Noguera K.M., Olivero J.T., (2010), Los Rellenos Sanitarios en Latinoamérica: Caso Colombiano. Revista Académica Colombiana de Ciencias, Volumen 34, Número 132, 347-356.

8) Monterrosa H. (2019). Colombia podría aprovechar 40% de las toneladas de residuos que genera actualmente. Periódico La República, edición 10 de enero de 2019.

used-3d-printing-materials/

3) Scott, M. (2017), 5 Reasons why ABS needs to go away, All3DP. Consultado 03 de Agosto de 2020 <https://all3dp.com/5-reasons-why-abs-needs-to-go-away/>

4) Pastori, D. (2019). “Colombia pierde 2 billones anuales por no reciclar desechos plásticos”. Periódico El Herald, edición 10 de junio de 2019.

5) En Colombia solo se recicla el 7% del plástico (2019), Diario Occidente, edición 1 de julio de 2019.

6) Mitchell, D. (2019). La paradoja de la industria plástica. Periódico El Espectador, edición 6 de agosto de 2019.

7) Noguera K.M., Olivero J.T., (2010), Los Rellenos Sanitarios en Latinoamérica: Caso Colombiano. Revista Académica Colombiana de Ciencias, Volumen 34, Número 132, 347-356.

8) Monterrosa H. (2019). Colombia podría aprovechar 40% de las toneladas de residuos que genera actualmente. Periódico La República, edición 10 de enero de 2019.

9) Departamento Nacional de Planeación (2016), Política Nacional para la Gestión Integral de Residuos Sólidos, Bogotá D.C.

10) Jaimes Gutiérrez, R. (2020), PLA Plastic/Material: All you need to know in 2020, All3DP, consultado 04 de Agosto de 2020, <https://all3dp.com/1/pla-plastic-material-poly-lactic-acid/>

9) Departamento Nacional de Planeación (2016), Política Nacional para la Gestión Integral de Residuos Sólidos, Bogotá D.C.

10) Jaimes Gutiérrez, R. (2020), PLA Plastic/Material: All you need to know in 2020, All3DP, consultado 04 de Agosto de 2020, <https://all3dp.com/1/pla-plastic-material-poly-lactic-acid/>

11) Ji, L. N. (2013). Study on Preparation Process and Properties of Polyethylene Terephthalate (PET). Applied Mechanics and Materials, 312, 406–410.

12) HXX: Materiales de impresión 3D (II): ABS, acrilonitrilo butadieno estireno (2015). Consultado 01 de Agosto de 2020. <http://hxx.es/2015/03/23/materiales-de-impresion-3d-ii-abs-acrilonitrilo-butadieno-estireno/>

13) Richardson, T.L, Lokensgrad E, (2000), Industria del plástico. Madrid, España. Editorial Paraninfo.

14) Minvivienda: Proyecto “Hacia el reconocimiento y la institucionalización del reciclaje inclusivo en Colombia, consultado el 02 de Agosto de 2020.

15) Turning old plastic into 3d printing filament is greener than conventional recycling (2014). 3Ders. Consultado 202 de Agosto de 2020. <http://www.3ders.org/articles/20140304-turning-old-plastic-into-3d-printer-filament-is-greener-than-conventional-recycling.html>

all3dp.com/1/pla-plastic-material-poly-lactic-acid/

11) Ji, L. N. (2013). Study on Preparation Process and Properties of Polyethylene Terephthalate (PET). *Applied Mechanics and Materials*, 312, 406–410.

12) HXX: Materiales de impresión 3D (II): ABS, acrilonitrilo butadieno estireno (2015). Consultado 01 de Agosto de 2020. <http://hxx.es/2015/03/23/materiales-de-impresion-3d-ii-abs-acrilonitrilo-butadieno-estireno/>

13) Richardson, T.L, Lokensgrad E, (2000), *Industria del plástico*. Madrid, España. Editorial Paraninfo.

14) Minvivienda: Proyecto “Hacia el reconocimiento y la institucionalización del reciclaje inclusivo en Colombia, consultado el 02 de Agosto de 2020.

15) Turning old plastic into 3d printing filament is greener than conventional recycling (2014). 3Ders. Consultado 202 de Agosto de 2020. <http://www.3ders.org/articles/20140304-turning-old-plastic-into-3d-printer-filament-is-greener-than-conventional-recycling.html>

16) Haas W. et al. (2015), How Circular is the Global Economy?: An Assessment of Material Flows, Waste Production, and Recycling in the European Union and the World in 2005, *Journal of Industrial Ecology* 19 (5): 765-777.

16) Haas W. et al. (2015), How Circular is the Global Economy?: An Assessment of Material Flows, Waste Production, and Recycling in the European Union and the World in 2005, *Journal of Industrial Ecology* 19 (5): 765-777.