

Introduciendo los ODS y la circularidad a la educación en ingeniería a través de actividades para el reciclado de plásticos en un campus universitario.

Ángel Agüero Rodríguez^a, David Hidalgo-Carvajal^b, Diego Lascano^c, Javiera Sepúlveda^d, Marina Patricia Arrieta^e, Ruth Carrasco-Gallego^f y María Luisa M. Muneta^g

^a Instituto de Tecnología de Materiales, Universitat Politècnica de València, ITM-UPV, Alcoy, España. Departamento de Ingeniería Química Industrial y del Medio Ambiente, Escuela Técnica Superior de Ingenieros Industriales, Universidad Politécnica de Madrid, ETSII-UPM, Madrid, España. anagrod@upv.es 

^b Departamento de Ingeniería de Organización, Administración y Estadísticas, Universidad Politécnica de Madrid, ETSII-UPM, Madrid, España. david.hidalgo.carvajal@upm.es 

^c Instituto de Tecnología de Materiales, Universitat Politècnica de València, ITM-UPV, Alcoy, España. Departamento de Ingeniería Química Industrial y del Medio Ambiente, Escuela Técnica Superior de Ingenieros Industriales, Universidad Politécnica de Madrid, ETSII-UPM, Madrid, España. dielas@epsa.upv.es 

^d Departamento de Ingeniería Química Industrial y del Medio Ambiente, Escuela Técnica Superior de Ingenieros Industriales, Universidad Politécnica de Madrid, ETSII-UPM, Madrid, España. Grupo de Investigación: Polímeros, Caracterización y Aplicaciones (POLCA). javiera.sepulveda@upm.es 

^e Departamento de Ingeniería Química Industrial y del Medio Ambiente, Escuela Técnica Superior de Ingenieros Industriales, Universidad Politécnica de Madrid, ETSII-UPM, Madrid, España. Grupo de Investigación: Polímeros, Caracterización y Aplicaciones (POLCA). m.arrieta@upm.es 

^f Departamento de Ingeniería de Organización, Administración y Estadísticas, Universidad Politécnica de Madrid, ETSII-UPM, Madrid, España. ruth.carrasco@upm.es 

^g Departamento de Ingeniería de Ingeniería Mecánica, Universidad Politécnica de Madrid, ETSII-UPM, Madrid, España. luisa.mtzmuneta@upm.es 

How to cite: Ángel Agüero Rodríguez, David Hidalgo-Carvajal, Diego Lascano, Javiera Sepúlveda, Marina Patricia Arrieta, Ruth Carrasco-Gallego y María Luisa M. Muneta. 2023. Introduciendo los ODS y la circularidad a la educación en ingeniería a través de actividades para el reciclado de plásticos en un campus universitario. En libro de actas: *IX Congreso de Innovación Educativa y Docencia en Red*. Valencia, 13 - 14 de julio de 2023. Doi: <https://doi.org/10.4995/INRED2023.2023.16572>

Abstract

Due to the strong relationship between the Sustainable Development Goals (SDGs) and the engineering world, this paper proposes a teaching activity focused on promoting the circular economy of the Higher Technical School of Industrial Engineers of the Polytechnic University of Madrid (ETSII-UPM) through the revaluation of plastic waste, which it was generated at the School. This revaluation consists of mechanical recycling to manufacture 3D filament using waste from defective printed parts that have been produced at the school. This activity is focused on a biobased and biodegradable plastic, poly(lactic acid) (PLA), for the generation of new products by 3D printing and, subsequently, corroborating its compostability. This represents a good demonstration of the full integration of the circular economy in a productive process. Students get to know first-hand a FabLab and Living Lab environment, which are examples of educational innovation that serve as a perfect frame for

development training offers aimed at implementing the SDGs. Thus, the importance of integrating the SDGs in higher education, and the relevance of involving students in the active learning process in common workspaces, which foster a sense of self-efficacy and facilitate the acquisition and retention of knowledge in the educative process, are demonstrated.

Keywords: *FabLab, Living Lab, circular economy, plastic recycling, biobased polymers and compostable polymers.*

Resumen

Atendiendo a la vinculación directa de los objetivos de desarrollo sostenible (ODS) con el mundo ingenieril, en este trabajo se plantea una actividad docente centrada en fomentar la economía circular de la Escuela Técnica Superior de Ingenieros Industriales de la Universidad Politécnica de Madrid, mediante la revalorización de residuos plásticos generados en la Escuela mediante reciclado mecánico. La actividad consiste en la fabricación de filamento 3D empleando residuos de piezas impresas defectuosas que han sido fabricadas en la escuela utilizando un plástico biobasado y biodegradable, el poli(ácido láctico) (PLA), para la generación de nuevos productos por impresión 3D y, posteriormente, comprobar la compostabilidad de dichos productos demostrando que se integran completamente en la economía circular. Los estudiantes conocen de primera mano un entorno FabLab y un Living Lab, ejemplos de innovación educativa que sirven como escenarios perfectos para el desarrollo de ofertas formativas orientadas a la implementación de los ODS. Así, se demuestran la

importancia de integrar los ODS en la educación superior y la relevancia de involucrar a los estudiantes en el proceso de aprendizaje activo en espacios comunes de trabajo que fomentan el sentido de autoeficacia y facilitan la adquisición y retención de conocimiento en el proceso educativo.

Palabras clave: *FabLab, Living Lab, economía circular, reciclado de plásticos, plásticos biobasados y compostables.*

Introducción

Entre las distintas funciones que desempeña el sistema educativo dentro del ámbito social, se podría decir que una de las más importantes es la enseñanza. Es decir, conformar escenarios donde el docente pueda llevar a cabo actividades donde se produzca una transmisión de conocimientos, experiencias, principios e ideas hacia sus alumnos. Si bien el acto de enseñar puede seguir diversas metodologías, habitualmente llamadas metodologías de enseñanza (Alcoba, 2012), lo que resulta prácticamente obligatorio es que la información que se transmite, debe ser necesaria e interesante para las personas que la reciben. De lo contrario, puede ser que dicha lección haya sido transmitida, pero difícilmente será asimilada por el alumno. Cuando se trata de enseñanza básica esto puede ser relativamente sencillo, dado que tareas como leer o escribir son tan esenciales en el día a día de cualquier persona, que se consideran necesidades básicas del ser humano (Gaitán, 2018), estando recogidas en el Derecho a la Educación dentro de la Declaración

Universal de los Derechos Humanos (UNICEF, 2006). Pero cuando se pasa a la enseñanza superior la situación es completamente distinta. El deseo de un mayor aprendizaje debe surgir del propio estudiante, pues dicha adquisición de conocimientos no supone una necesidad básica. Por tanto, es indispensable que las instituciones de enseñanza superior trabajen constantemente en la innovación docente para garantizar una oferta formativa de calidad, abarcando siempre ámbitos del conocimiento novedosos y sobre todo, ofreciendo actividades educativas que resulten de alto impacto para el estudiante.

En el año 2015 la Organización de Naciones Unidas (ONU) en el marco de la declaración “Transformando nuestro mundo: la Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible” estableció 17 Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) que conforman el eje principal de La Agenda 2030, siendo la agenda global más ambiciosa nunca antes formalizada cuya finalidad es la de promover una serie de cambios para la mejora social con el fin de garantizar paz, prosperidad y sostenibilidad a nivel global. Los ODS están diseñados con la intención de terminar con la pobreza y el hambre en el mundo, mejorar la salud y el bienestar de sus ciudadanos, garantizar la calidad en la educación, terminar con la exclusión social, promover la prosperidad económica equitativa a través de un consumo de recursos responsable y hacer frente al cambio climático asegurando la sostenibilidad medioambiental (Kioupi et al. 2020), y todo esto para el año 2030 o antes. Como es natural, estos objetivos requieren una serie de cambios y la integración de nuevas estrategias en prácticamente todos los sectores de la actividad humana, por lo que resulta evidente la necesidad de que los sistemas educativos contribuyan a la consecución de estos objetivos. De hecho, esto está explícitamente incluido en los ODS, concretamente en el 4 “Garantizar una educación inclusiva, equitativa y de calidad y promover oportunidades de aprendizaje durante toda la vida para todos” (UNESCO).

Por tanto, es evidente la responsabilidad que recae sobre las universidades de difundir, fomentar, y sobre todo, formar y educar a sus estudiantes en base los planteamientos que proponen los ODS. El rol que debe desempeñar La Universidad en la sociedad no consiste sólo en formar profesionales, debe ir más allá y educar ciudadanos con conciencia ética y un alto compromiso cívico a nivel mundial (Serrate et al., 2019). Afortunadamente, esto se ve claramente reflejado, y cada día más, en una constante labor por parte de las instituciones académicas de integrar actividades relacionadas con los ODS en sus modelos de docencia.

Centrándonos en la educación en ingeniería, el surgimiento de los ODS ha significado un claro reconocimiento de las principales repercusiones negativas que supone el sistema productivo tradicional que se ha mantenido sin cambio desde la revolución industrial. Muchos de los ODS, como el número 6 “Agua limpia y saneamientos”, el 7 “energía asequible y no contaminante”, el 8 “trabajo decente y crecimiento económico”, el 9 “Industria, innovación e infraestructuras”, el 11 “Ciudades y comunidades sostenibles”, el 12 “Producción y consumo responsable”, el 13 “Acción por el clima”, el 14 “Vida submarina” y el 15 “vida de ecosistemas terrestres” están de una forma u otra totalmente relacionados con la ingeniería y las industrias. Esto hace que la integración de estos valores en la educación de estas ciencias resulte de notoria importancia.

La implantación de los ODS y la concienciación que estos promueven ha propiciado que en los últimos años se hayan ido introduciendo conceptos que a día de hoy resultan imprescindibles, afortunadamente, en la educación en ingeniería. El diseño inteligente, la optimización de recursos, la gestión de residuos, la reciclabilidad o los procesos sostenibles o circulares son algunos de los ejemplos de conceptos que no faltan en el temario de cualquier asignatura o programa educativo. Además, gracias al mayor interés y la necesidad de ampliar y abordar estos planteamientos, numerosas propuestas educativas novedosas, formativas van surgiendo constantemente. Asignaturas con orientación a la sostenibilidad medioambiental y el ecodiseño, proyectos o trabajos basados en la revalorización de subproductos, estudios sobre la manera más idónea de reciclar o reutilizar cierto residuo, seminarios sobre propuestas para la optimización de recursos o la

investigación de sustancias de origen natural para su explotación industrial son solo algunos de los cientos de ejemplos donde se aprecia la completa relación entre la educación en ingenierías y los ODS.

Uno de estos planteamientos o propuestas que han surgido en los últimos años dentro del mundo de la educación en ingeniería son los denominados *FabLabs* (acrónimo en inglés de Laboratorios de Fabricación) y *Living Lab* (acrónimo en inglés de “laboratorio vivo” y definido como un espacio de innovación que integra diferentes grupos de interés alrededor del desarrollo de una temática en particular). Se puede entender por un *FabLab* como un entorno donde recurriendo a la fabricación digital, el uso de tecnologías *Open-Source* y siguiendo premisas de la cultura *Maker* se llevan a cabo proyectos tecnológicos (García-Ruiz et al. 2019). Entrando un poco más en detalle en los tres elementos principales que conforman un *FabLab*, se podrían resumir de la siguiente manera: la fabricación digital hace referencia a la producción de objetos o componentes mediante el uso de máquina conectadas y monitorizadas por un ordenador (Jorquera, 2016); se engloba dentro de tecnologías *Open-Source* tanto a software como hardware cuya programación, código, módulos y demás parámetros que lo conforman son compartidos por la comunidad y permiten su modificación para ser adaptados a un caso concreto (Arango et al., 2014); la cultura *Maker* está inspirada en el movimiento “hazlo tú mismo” y consiste en promover el diseño y la fabricación de objetos personalizados o adaptados para satisfacer una necesidad en concreto (Sánchez, 2019). Por lo que un *FabLab* representa un escenario donde mediante el aprovechamiento de recursos compartidos se promueve el intercambio de ideas, estrategias y maneras de resolver problemas concretos empleando tecnologías de fabricación sin necesidad de tener que ser llevado a escala industrial.

Por su parte, los *Living Labs* son espacios que se consideran demostradores para realizar procesos de experimentación basados en un contexto próximo a la realidad, involucrando a los actores activamente en procesos de co-creación (creación conjunta), y que además representan un punto de conexión en donde participan activamente distintos grupos de interés (Carrasco-Gallego et al., 2020). Así, los *Living Labs* son espacios de conexión entre distintos actores que permiten abordar distintos problemas de una forma innovadora mediante experimentación aplicada y teniendo en cuenta distintos puntos de vista multidisciplinares (Evans et al, 2015).

Por otro lado, existe la posibilidad de integrar dentro del marco de un *FabLab* y/o un *Living Lab* la gestión y aprovechamiento de residuos o subproductos. Es más, debido a la filosofía regenerativa, de compartir y experimentar que transmiten los *FabLabs*, resulta casi inevitable que el aprovechamiento y reciclaje de los materiales no acaben siendo factores importantes para una organización de este tipo. Esto supone que estos *FabLabs* conformen un escenario bastante apropiado donde se puede integrar otro de los retos más importantes para la integración de los ODS, la economía circular. La economía circular se define como un modelo de desarrollo y crecimiento basado en la máxima optimización del uso de los recursos, materias y productos, otorgándoles un valor dentro de la economía como conjunto durante el mayor tiempo posible y buscando reducir al mínimo la generación de residuos (CIEC, 2022). El cambio hacia este tipo de modelo socio-económico es uno de los desafíos en los que más se encuentra involucrada la sociedad, al menos a nivel europeo. Muestra de ellos son los propios ODS y otras iniciativas como el Plan de Acción para la Economía Circular “Cerrar el Círculo” diseñado por la Comisión Europea e integrado por el Gobierno de España dentro de la Estrategia Española de Economía Circular “España Circular 2030”, la cual sienta las bases para impulsar un modelo de producción y consumo en el que el valor de los recursos, los materiales y los productos, se mantengan en la economía durante el mayor tiempo posible, en el que la generación de residuos se reduzca al mínimo y que a su vez se aprovechen con el mayor alcance posible aquellos que no se pueden evitar mediante la revalorización de residuos. Esto ha propiciado que la economía circular se haya convertido en una materia transversal clave dentro de la enseñanza superior (Bejar-Alvarado, 2019).

En este trabajo se presenta una actividad donde alumnos de distintas ingenierías (Ingeniería en Tecnologías Industriales, Ingeniería en Organización y/o Ingeniería Química) de la Escuela Técnica Superior de Ingenieros Industriales, llevando a cabo una serie de tareas propuestas por docentes de distintas áreas del conocimiento, entraran en contacto directo con la gestión de residuos plásticos generados en su propio campus universitario, la reutilización de los mismos mediante el reciclado de plásticos, así como en el diseño de producto e impresión 3D y, finalmente en la gestión del residuo generado por este nuevo producto mediante la compostabilidad del mismo una vez cumplida su vida útil. Así, se consigue con ello afianzar conocimientos que involucran distintos conceptos aprendidos en diversas asignaturas como la gestión de residuos, economía circular, procesado de polímeros, diseño de productos, biopolímeros y compostabilidad. Distintas disciplinas y conceptos se combinan además aquí para facilitar el desarrollo de los proyectos desde distintos ángulos, tales como las ciencias naturales (química, biología, física e ingeniería), sociales (economía y medioambiente), humanidades (comunicación y artes visuales) y tecnológicas (computación, robótica, mecatrónica); además, estos espacios incentivan a los participantes al desarrollo de habilidades adicionales a las competencias que tradicionalmente aprenden en su formación académica, como trabajo y gestión de equipos, gestión de tiempo, habilidades de comunicación, entre otras. Este abordaje multidisciplinar de procesos, tecnologías y gestión de residuos resulta especialmente interesante cuando se tiene en cuenta el extenso uso que se hace de los materiales plásticos tanto en la industria como en el día a día y el impacto en el medioambiente que supone la acumulación de este tipo de residuos. Así, la iniciativa CircularizatE demuestra la importancia del uso de materiales plásticos más sostenibles, como los biopolímeros, y su aplicación en nuevas tecnologías, como es la impresión 3D, así como también cómo se puede abordar el reto de introducir los materiales plásticos en la economía circular en una Escuela Universitaria mediante la aplicación directa e integrada de algunos ODS en un *Living Lab*.

Objetivos

El objetivo general de la presente actividad docente innovadora es facilitar a los estudiantes un espacio en el que puedan integrar los principios de economía circular y los ODS en los procesos productivos, y más concretamente, en el reciclado y compostabilidad de plásticos.

De este objetivo general surgen una serie de objetivos específicos:

- Demostrar que los principios de economía circular se pueden aplicar de manera práctica en un campus universitario.
- Incrementar la motivación de los estudiantes a involucrarse en la sostenibilidad proporcionándoles espacios de trabajo común como *FabLabs* o *Living Labs* donde potenciar la adquisición de competencias transversales mediante una perspectiva práctica y próxima a situaciones reales.
- Ofrecer una formación aplicada práctica de conocimientos integrados adquiridos durante la carrera y realizando un acompañamiento integral multidisciplinar que les ayude en su inserción en el mundo laboral.
- Incrementar la satisfacción de los estudiantes de la ETSII-UPM al hacerlos formar parte de la mejora de la circularidad en la escuela.

Desarrollo de la innovación

Como se ha comentado anteriormente, la innovación aquí presentada pretende que los estudiantes afiancen conocimientos sobre gestión y revalorización de residuos, diseño de producto y procesado de materiales plásticos, conceptos relacionados con el reciclado y compostabilidad de plásticos, en un escenario real como es el Campus Universitario en el que estudian, siempre teniendo en cuenta los ODS orientados a la mejora

de la sostenibilidad dentro del concepto de economía circular. Si bien los conceptos, equipos y tecnologías que aparecen en dicha actividad se podrían considerar básicos dentro del ámbito de la ingeniería, no deja de ser necesario que el alumno tenga ciertos conocimientos previos sobre los temas a tratar. Igualmente, como ocurre en la inmensa mayoría de actividades prácticas, la seguridad industrial y los equipos de protección personal (EPI) son un tema fundamental para tratar al inicio de la actividad. La actividad se estructura en tres etapas de la siguiente manera:

- 1) Revalorización de residuos plásticos generados en la escuela: recuperación de materiales a partir de piezas defectuosas elaboradas por tecnología de impresión 3D. Esta etapa incluye la clasificación por color de los desechos, seguidos de un proceso de triturado y secado para eliminar restos de humedad y obtener una granza lista para ser extruida.
- 2) Transformación de los residuos plásticos revalorizados en nuevos productos: extrusión de la granza de PLA reciclado para transformarlo en hilo 3D, que será posteriormente empleado en un nuevo producto de impresión 3D.
- 3) Compostabilidad de piezas 3D basadas en bioplástico en condiciones de compostaje a escala de laboratorio para demostrar la circularidad de los productos desarrollados.

1. Explicación teórica.

En la Escuela Técnica Superior de Ingenieros Industriales de la Universidad Politécnica de Madrid (ETSII-UPM) se ha implantado un *Living Lab* (Figura 1), que nace de la iniciativa CircularizatE bajo el paradigma de que los campus universitarios son escenarios idóneos para la aplicación de experiencias prácticas multidisciplinares, que permiten aplicar los principios de economía circular dentro de un campus universitario, promoviendo al mismo tiempo la interacción entre distintos grupos de interés en el entorno. En el *Living Lab* de la ETSII-UPM se contempla el desarrollo de un sistema circular para la revalorización de residuos plásticos de poli(ácido láctico) (PLA) generados en la propia Escuela. El PLA es un plástico biobasado y compostable (Arrieta et al., 2014), que ha ganado particular interés en el sector de la impresión 3D (Gil-Muñoz et al. 2020). Esta actividad ha permitido a los estudiantes aprender acerca de: a) la revalorización y gestión de residuos plásticos generados en un escenario real, b) la importancia del diseño y fabricación de productos por tecnologías de uso común como es la impresión 3D, teniendo en cuenta el impacto que generan en el medioambiente una vez desechados, c) la compostabilidad como una alternativa de gestión de residuos de bioplásticos una vez cumplida su vida útil. De esta manera, los estudiantes disponen de un espacio donde realizar estas actividades que les ofrece el máximo beneficio siendo un proyecto de gran alcance porque del *Living Lab* pueden beneficiarse y formar parte todos los estudiantes de la ETSII-UPM, alrededor de 4.500 estudiantes (considerando grado, máster y doctorado). Además, el alcance de la iniciativa CircularizatE se puede extenderse a otros campus de la UPM y, además, puede replicarse en cualquier campus universitario.



Fig. 1 Living Lab de revalorización de residuos plásticos en hilo de impresión 3D de la ETSII-UPM.

Como se ha comentado, una función primordial que debe cumplir el equipo docente multidisciplinar es el de informar de todas las medidas de seguridad que se deben tomar para la correcta ejecución de la actividad que se lleva a cabo en un *FabLab* y un *Living Lab*. Igualmente, al tratarse de una actividad donde se llevan a cabo varias tareas, y en un orden determinado, resulta necesario que los estudiantes sean informados de ello. Por esta razón varios conceptos y términos relacionados con la gestión de residuos, el reciclado de plásticos, los biopolímeros, la compostabilidad serán explicados para que los participantes refuercen los conocimientos que ya han adquirido durante las distintas titulaciones sobre estos temas. Del mismo modo los procesos de procesado y transformación de plásticos, como pueden ser el triturado, la extrusión o la impresión 3D, también son tratados en este punto. No obstante, aunque entre las distintas tareas a realizar durante la actividad se hace uso de equipos cuyos parámetros debe ser fijados, éstos serán explicados y se darán valores numéricos, aunque se advertirá que dichos valores pueden variar ligeramente en el momento de la práctica. Además, dado que, si bien los materiales que se emplean son de origen conocido porque son residuos que se producen en la propia escuela y, por lo tanto pueden clasificarse, se debe tener en cuenta que pueden contener aditivos o impurezas, etc. Por otra parte, los parámetros de proceso a emplear solo podrían emplearse a modo orientativo, teniendo que ser ajustados en cada caso concreto. Esto lejos de suponer un inconveniente, resulta muy interesante para que los estudiantes sean conscientes de las decisiones y pequeñas modificaciones que deben llevarse a cabo cuando se trabaja en un *FabLab* y un *Living Lab*, especialmente cuando se trata de revalorización o reciclado de residuos. En esta innovación ha participado un equipo multidisciplinar de docentes y estudiantes de grado, máster, doctorado e investigadores postdoctorales. La capacidad de componer un equipo multidisciplinar que involucra disciplinas de organización, materiales, química y bioquímica ha sido clave para el éxito de la implantación del programa de revalorización de residuos. Además, al desarrollarse esta actividad en un entorno de

Introduciendo los ODS y la circularidad a la educación en ingeniería a través de actividades para el reciclado de plásticos en un campus universitario

FabLab y de *Living Lab*, los estudiantes se familiarizan con este nuevo concepto de espacio de trabajo donde las ideas, las propuestas y proyectos cooperativos son la base de partida, pero donde también se requiere de actividad práctica, de tener que manipular herramientas y darse cuenta de que se pueden fabricar muchas cosas haciéndolo uno mismo. Por último, al aplicar todo esto al sector de los biopolímeros y más concretamente a la compostabilidad de algunos de ellos como el PLA, se pretende fomentar el ecodiseño a nivel general, mostrar que pueden obtenerse soluciones tecnológicas que sean eco-sostenibles.

2. Experiencia de circularidad en el campus.

Se trata de la etapa principal de la actividad, desarrollada en las instalaciones de un *FabLab* y *Living Lab* donde se dispone de equipos de triturado de plásticos, una secadora, una extrusora de pequeñas dimensiones, y una impresora 3D (*Figura 2*). En esta etapa es donde los alumnos ponen en práctica todo lo expuesto en la primera etapa. Sin embargo, debido a las limitaciones del número de equipos y el tiempo que pueden tardar algunos de los procesos, se dispone de muestras de material tal y como deberían quedar después de cada tarea (es decir, piezas ya trituradas y filamento obtenido a partir de piezas trituradas).



Fig. 2 Parte de las instalaciones del Living Lab de ETSII-UPM.

La primera tarea consiste en seleccionar y separar piezas y trozos de PLA provenientes de piezas defectuosas de impresión 3D de un mismo color de un contenedor donde el equipo de trabajo del *Living Lab* almacena este tipo de desecho. En este punto el equipo docente hará ver a los estudiantes que dichas piezas están limpias, que han sido previamente separadas de piezas hechas con otro tipo de material y que, en definitiva, han pasado por toda una cadena de gestión de residuos que ha permitido su clasificación y conocer el origen ya que los residuos son fabricados en la propia escuela y que es posible conocer el origen de cada material, asegurando una mayor trazabilidad de las materias primas.

Una vez se disponga de una cantidad suficiente de piezas de un mismo color, se procede al triturado de estas, seguido de un lavado (solamente en caso de que amerite por contener rastros de suciedad) y secado del material. Cabe mencionar que aunque los equipos como una trituradora suponen siempre cierta peligrosidad, al tratarse de equipos a escala no industrial y de dimensiones reducidas, el riesgo se limita a puntos muy concretos, como el pequeño orificio al final de la tolva de alimentación, donde las piezas

entrarían en contacto con las cuchillas de la trituradora. Tras el triturado, se obtiene el material en forma de pequeños trozos o granza, los cuales, podrán ser introducidos en la extrusora directamente o previo secado si no se requiere de lavado. En este punto, y partiendo del rango de parámetros de procesado que se ofreció en la parte teórica, los alumnos deberán concretar la temperatura y velocidad del husillo para conseguir que la extrusión se haga a un ritmo constante y homogéneo. Esto es fácilmente comprobable pues, automáticamente, a medida que sale por la boquilla de la extrusora el material fundido, este se enfría y recoge en una bobina. Este proceso de fundir el material y bobinarlo puede demorarse tanto en el tiempo como de cantidad de material se disponga, por lo que una vez establecidas las condiciones de procesado y un ritmo adecuado de extrusión, se puede coger otra bobina producida previamente y pasar a la siguiente tarea.

El paso siguiente, consiste en emplear una de las bobinas de filamento para fabricar nuevas piezas, usando una impresora 3D (*Figura 3*). Como se habrá comentado en la primera etapa teórica de manera resumida, la impresión 3D es un proceso relativamente sencillo, donde una vez se disponga de un modelo virtual, este será parametrizado para poder ser impreso. Con la misma intención de aprovechar el tiempo al máximo en pro de la actividad del estudiantado, se dispone de modelos virtuales ya parametrizados y listos para mandar a imprimir.



Fig. 3 Imagen de la impresora 3D disponible en el Living Lab de ETSII-UPM.

Finalmente, y con el objetivo de que los estudiantes dispongan de información sobre la que trabajar todos los conceptos tratados, se llevará a cabo un ensayo de compostabilidad a escala de laboratorio, siguiendo la norma UNE-EN-ISO 20200. En dicha norma se especifica el procedimiento que se debe llevar a cabo para comprobar si un material es considerado o no desintegrable en condiciones de compostaje a nivel laboratorio. Un material plástico compostable aquel que es capaz de desintegrarse en sustancias no tóxicas debido a la acción de microorganismos presentes en el compost (donde es enterrado), obteniéndose agua, biomasa y tierra rica en humus (Agüero et al., 2020). Aunque las pautas que indica la norma son, obviamente, mucho más detalladas y la ejecución del ensayo algo más compleja, este procedimiento se puede simplificar para actividades educativas como la aquí propuesta. En definitiva, puede bastar con enterrar en compost muestras de material plástico y comprobar cuanta pérdida de masa han sufrido al cabo de unos días o semanas, y así comprobar si dicho material es compostable.

Introduciendo los ODS y la circularidad a la educación en ingeniería a través de actividades para el reciclado de plásticos en un campus universitario

Por tanto, como última tarea de esta etapa, se obtendrán varias muestras del material de partida: de dicho material tras ser triturado y extruido en forma de filamento, y un pieza impresa con la impresora 3D usando el mismo filamento. Dichas muestras solo deben cumplir el requisito de que pesen aproximadamente lo mismo. También resulta idóneo que las muestras sean lo más planas posibles, para facilitar la desintegración por compostaje y que los resultados del ensayo sean homogéneos. Entonces, estas muestras deben ser enterradas en compost que consiste en una mezcla de ingredientes especificados en la norma que son fáciles de obtener como son: serrín, comida de conejo, compost maduro, almidón de maíz, azúcar, aceite de maíz y urea. En la *Figura 4* se puede apreciar el aspecto que presenta el compost donde se entierran las muestras para realizar el ensayo. Eso sí, previamente a ser enterradas, el peso de las muestras debe ser anotado y las muestras se colocan en redes textiles que permiten el contacto con el compost y, a su vez, posibilita que se recuperen del medio cuando se han desintegrado (Arrieta et al, 2014). A su vez, las muestras deben ser numeradas de tal manera que puedan ser recogidas e identificadas cuando haya que desenterrarlas (*Figura 5*).



Fig. 4 Contenedor con compost donde se entierran las muestras.

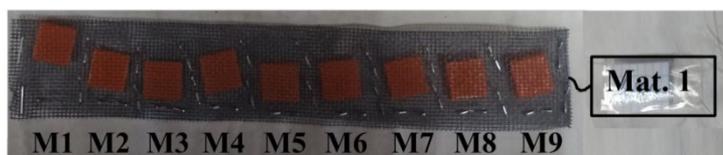


Fig. 5 Ejemplo esquemático de cómo se numeran y organizan las muestras para poder realizar el ensayo de forma sencilla.

3. Resultados

Al terminar la segunda etapa uno de los primeros resultados que los alumnos obtendrán son el propio filamento y las piezas impresas que ellos mismo han diseñado y fabricado. Esto resulta muy gratificante para los estudiantes, pues pueden considerar esto como una prueba de su capacidad para llevar a cabo una tarea como la propuesta. Incluso pueden llevarse a modo de recuerdo alguna pieza o trozo de filamento.

Posteriormente, se han enterrado las muestras en los reactores de compostaje y se han sometido a 58°C en una estufa. Es conveniente que transcurran varios días, o incluso una semana, antes de sacar las muestras para que los resultados de dejar enterradas las muestras en el compost sean más significativos. También la

masa de las muestras que se enterraron es un factor a tener en cuenta, pues muestras con menores masas iniciales se desintegrarán a mayor velocidad, haciendo que el ensayo requiera menos días.

Considerado esto, las muestras han sido desenterradas y se determinó su pérdida de masa en una balanza analítica. Los estudiantes, tal y como indica la norma UNE-EN-ISO 20200, han calculado el grado de desintegración del material en condiciones de compostaje a escala de laboratorio. Teniendo en cuenta que los estudiantes gestionaron y clasificaron los residuos, revalorizaron el material reciclado en hilo de impresión 3D, generaron nuevos productos y posteriormente demostraron que pueden desintegrarse en condiciones de compostaje, se puede decir que los resultados obtenidos permiten a los estudiantes sacar distintas conclusiones que les permitirán comprender conceptos de economía circular y relacionarlos con los ODS en un escenario real como es su propio campus universitario, tal y como se muestra resumido de forma esquematizada en la *Figura 6*.

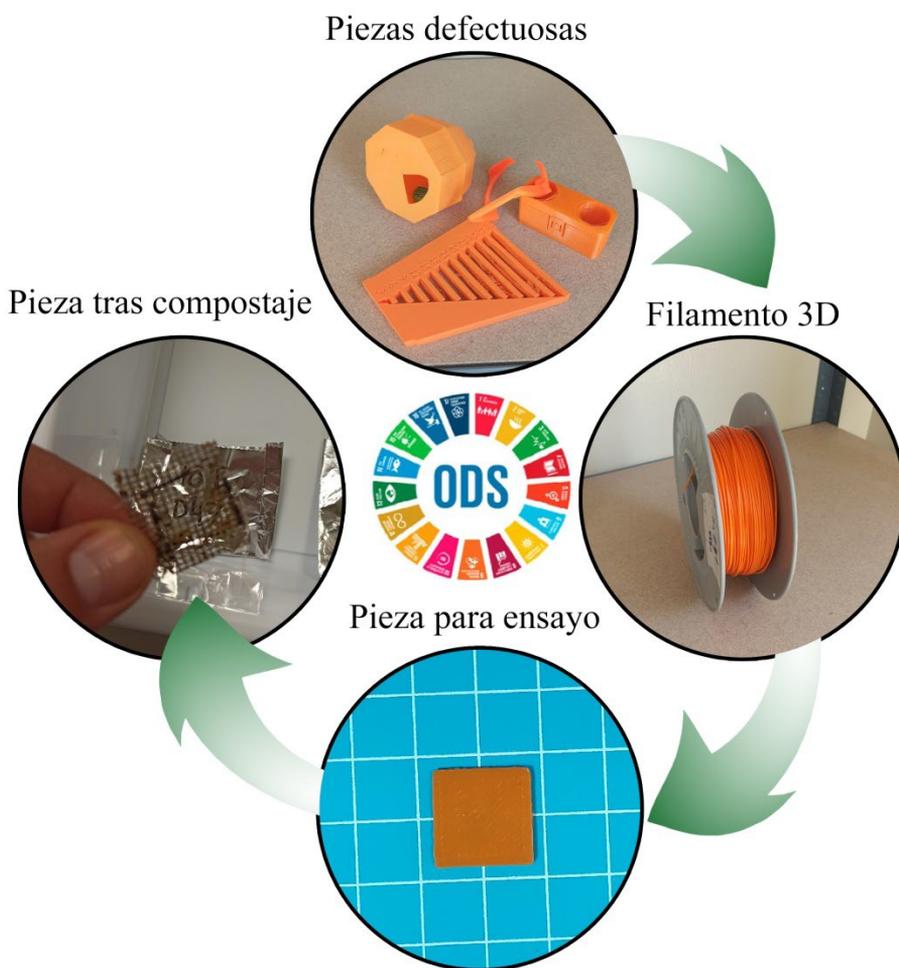


Fig. 6 Esquema de la transformación del material empleado en la actividad.

Cabe destacar la notable motivación y entusiasmo mostrados por los estudiantes, debido no sólo al planteamiento novedoso y realizado en un escenario real, sino también la variedad de tareas que se deben ejecutar. Por otro lado, cabe recalcar que disponer de un margen de varios días durante la desintegración de los materiales permitió organizar y analizar los resultados obtenidos y plantearse nuevas preguntas. Esta metodología resultó positiva en cuanto a la implementación de algunos ODS en un escenario real y promoviendo además otros valores fundamentales que fomentan los *FabLabs* y *Living Labs* como el autoaprendizaje, la motivación hacia encontrar nuevos retos a superar, etc.

Conclusiones

La actividad propuesta en este trabajo, en la que se han fabricado filamentos de impresión 3D mediante el reciclado de piezas plásticas en un entorno *FabLab* y de *Living Lab* ha resultado muy bien acogida por los estudiantes involucrados. Por otro lado, se demuestra que los materiales plásticos compostables pueden introducirse en el concepto de economía circular mediante un ensayo sencillo como es comprobar si los materiales desarrollados con los plásticos reciclados por ellos mismos sufren o no pérdida de masa al pasar unos días enterrados en un medio de compostaje

Teniendo todo esto en cuenta, podría concluirse que la implementación de espacios *FabLabs* y *Living Labs* dentro de un centro de educación superior de ingenierías supone una apuesta segura por la educación de calidad, no solo por el hecho de permitir al alumnado un primer contacto con varias tecnologías de fabricación, sino porque además estos entornos forman un escenario perfecto para proponer e implantar estrategias totalmente relacionadas con los ODS.

Agradecimientos

Este trabajo es parte de los proyectos de I+D+i PID2021-123753NA-C32 y TED2021-129920A-C43, financiado por MCIN/AEI/10.13039/501100011033 así como también por “FEDER Una manera de hacer Europa” y por la “Unión Europea NextGenerationEU/PRTR”, respectivamente. Ángel Agüero Rodríguez y Diego Lascano agradecen su contrato postdoctoral Margarita Salas con la Univertiat Politècnica de València, financiado, a través del Ministerio de Universidades, por la Unión Europea-Next generation EU. Javiera Sepúlveda agradece al proyecto de la Universidad Politécnica de Madrid “SDGine for Healthy People and Cities” el cual ha recibido financiación del Programa de Investigación e Innovación Horizonte 2020 de la Unión Europea en el marco del acuerdo de subvención Marie Skłodowska-Curie No 945139 y de ECOEMBALAJES ESPAÑA, S.A. (Ecoembes). David Hidalgo-Carvajal agradece al proyecto WEDISTRICT financiado por el programa de investigación e innovación Horizon 2020 de la Unión Europea con acuerdo N°857801 y al proyecto de investigación “Campus UPM Circulares” de la Universidad Politécnica de Madrid. Finalmente, los autores recalcan que este trabajo es parte de la comunidad “The Circular and Regenerative Campus” perteneciente a la comunidad EELISA European University Alliance.

Referencias

Alcoba González, J. (2012). La clasificación de los métodos de enseñanza en educación superior. Contextos educativos: Revista de educación, 15 (2012), 93-106.

Gaitán Muñoz1 L. (2018), Los derechos humanos de los niños: ciudadanía más allá de las “3Ps”. Sociedad e Infancia, 2 (2018), 17-37. <http://dx.doi.org/10.5209/SOCI.59491>

UNICEF COMITÉ ESPAÑOL. (2006). Convención sobre los derechos del niño. UNICEF.

Kioupi V. y Voulvoulis N. (2020). Sustainable Development Goals (SDGs): Assessing the Contribution of Higher Education Programmes. *Sustainability*, 12, 6701. [doi:10.3390/su12176701](https://doi.org/10.3390/su12176701)

UNESCO. Objetivos de Desarrollo Sostenible, extraído de la web disponible en: <https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/sustainable-development-goals/>.

Serrate González S., Martín Lucas J., Caballero Franco D. y Muñoz Rodríguez J. M. (2019). Responsabilidad universitaria en la implementación de los objetivos de desarrollo sostenible. *European Journal of Child Development*, 7 (2), 183-196. [doi: 10.30552/ejpad.v7i2.119](https://doi.org/10.30552/ejpad.v7i2.119)

García-Ruiz M. E. y Lena-Acebo F. J. (2019). Movimiento FabLab: diseño de investigación mediante métodos mixtos. *Revista de Ciencias Sociales*, 14 (2), 373-406. [doi: 10.14198/OBETS2019.14.2.04](https://doi.org/10.14198/OBETS2019.14.2.04)

Jorquera Ortega, A. (2016). Fabricación digital: Introducción al modelado e impresión 3D. Ministerio de Educación, Cultura y Deporte.

Arango, R., Navarro, Á. A., & Padilla, J. B. (2014). Sistemas open hardware y open source aplicados a la enseñanza de la electrónica. *Revista de Investigaciones Universidad del Quindío*, 25(1), 126-133.

Ludeña, E. S. (2019). La educación STEAM y la cultura «maker». *Padres y Maestros/Journal of Parents and Teachers*, 379, 45-51. [doi: 10.14422/pym.i379.y2019.008](https://doi.org/10.14422/pym.i379.y2019.008)

Carrasco-Gallego, R., Yáñez Gutiérrez, S., M Muneta, M.L., y Martínez Urreaga, J. (2020). CircularizatE: un living lab de economía circular real en el ámbito universitario, *Economía Industrial*, 416, 135-146.

Evans, J., Jones, R., Karvonen, A., Millard, L., y Wendler, J. (2015), Living labs and co-production: university campuses as platforms for sustainability science, *Current opinion in Environmental Sustainability*, 16, 1-6.

CIEC, Centro de Innovación en Economía Circular de Madrid. (2022), Dossier informativo: ¿qué es la economía circular?

Bejar-Alvarado, J. (2019). Instituto de Biotecnología y Desarrollo Azul de la Universidad de Málaga, IBYDA: un instrumento al servicio de la docencia transversal de la economía circular.

Arrieta, M.P, López, J. Rayón, E., Jiménez, A. (2014) Disintegrability under composting conditions of plasticized PLA–PHB blends. *Polymer Degradation and Stability*, 108, 307-318.

Gil-Muñoz, V., Muneta, M.L., Carrasco-Gallego, R., De Juanes Marquez, J., Hidalgo-Carvajal, D. (2020) Evaluation of the Circularity of Recycled PLA Filaments for 3D Printers. *Applied Science*, 10(24), 8967.

Agüero, Á., Lascano, D., Garcia-Sanoguera, D., Fenollar, O., y Torres-Giner, S. (2020). Valorization of linen processing by-products for the development of injection-molded green composite pieces of polylactide with improved performance. *Sustainability*, 12(2), 652.