
CIRCULARIZATE: UN *LIVING LAB* DE ECONOMÍA CIRCULAR REAL EN EL ÁMBITO UNIVERSITARIO

RUTH CARRASCO GALLEGO

SUSANA YÁÑEZ GUTIÉRREZ

MARÍA LUISA MARTÍNEZ MUNETA

JOAQUÍN MARTÍNEZ URREAGA

Universidad Politécnica de Madrid

Según cifras de la Organización de Naciones Unidas (ONU, 2015) en el año 2050 seremos más de 9.600 millones de personas en el mundo. Esto implica que en treinta años serán necesarios tres planetas como el nuestro para proporcionar los recursos necesarios que permitiesen mantener el estilo de vida actual. Asimismo, pese a los avances tecnológicos en pro de la eficiencia energética, el uso de la energía crecerá un 35% en 2020. En la

actualidad, menos del 3% del agua fresca del mundo es potable, estamos contaminando el agua más rápido de lo que la naturaleza puede reciclarla, y las infraestructuras para gestionarla son costosas. Por último, existe despilfarro alimentario, un tercio de la comida acaba en contenedores. Todos estos datos apuntan a que un cambio en el modelo de producción y consumo es necesario.

La ONU ha dedicado, dentro de la Agenda 2030, el Objetivo de Desarrollo Sostenible (ODS) número 12 para impulsar la producción y el consumo responsable, como uno de los 17 objetivos a alcanzar para conseguir un modelo de desarrollo más sostenible que permita «satisfacer las necesidades de las generaciones presentes sin comprometer las posibilidades de las generaciones del futuro para atender sus propias necesidades» (Comisión Brundtland, 1987). Para conseguirlo es necesario que todos los actores, no solamente las empresas, estén alineados en los principios de la sostenibilidad. Por ello, los consumidores, administraciones públicas, inversores,

organizaciones sin ánimo de lucro y otros actores de la sociedad civil, pueden llevar a cabo acciones que animen a las empresas a desarrollar iniciativas que promuevan su sostenibilidad (Commenne, 2006). Entre esos actores se encuentra la universidad, que tradicionalmente ha jugado un papel histórico en la transformación de la sociedad y en la búsqueda del bien común (Waas *et al.*, 2010), y que debido a su capacidad para crear y difundir conocimiento, durante mucho tiempo ha sido impulsora de la innovación, el desarrollo social y el bienestar (SDSN Australia/Pacific, 2017).

Los principales impactos de las universidades son los impactos educativos (formación de personas y de los profesionales del mañana), impactos cognitivos (generación del conocimiento y transferencia tecnológica), impactos sociales (acompaña al desarrollo de la sociedad) y organizacionales (su gestión tiene una huella social y medioambiental que debe ser tenida en cuenta) (Vallaey, 2007). ¿Podrían todos estos impactos realimentarse para abordar los re-

tos que actualmente enfrenta la sociedad? ¿Podría utilizarse el campus universitario como una plataforma de pruebas y transferencia de modelos más sostenibles hacia el tejido productivo y la sociedad en general? Los *living labs*, «demostradores», son ecosistemas de innovación que aglutinan una visión multiactor (*multi stakeholder*) y fomentan la conexión entre investigadores de diferentes disciplinas, empresas, organizaciones, administraciones públicas, futuros profesionales, etc., en torno a la resolución de un reto. Estos espacios fomentan la co-creación e implementación de soluciones que pueden ser probadas y, si resultan exitosas, replicadas en las ciudades o entornos donde se incluyen.

En este artículo presentamos un *living lab*, o demostrador, de economía circular real en el ámbito de los campus y centros de la Universidad Politécnica de Madrid (UPM). La economía circular ha emergido en los últimos cinco años como un tema crítico en la agenda de la Unión Europea, como muestra la aprobación del primer plan de acción en Economía Circular de la Comisión Europea en diciembre de 2015 y su relanzamiento, con un nuevo plan en marzo de 2020, como uno de los bloques principales del *European Green Deal* de la Comisión von der Leyen. En efecto, la economía circular se está revelando en los últimos diez años como una vía posible para abordar con un enfoque diferente la falta de sostenibilidad ambiental de nuestros modelos de producción y consumo. Este enfoque se centra no tanto en mitigar los impactos medioambientales negativos, sino en prevenirlos desde el origen y cambiar nuestra concepción de la palabra «residuos» para transformarlos en «recursos» con valor. El cierre del bucle de materiales que propugnan estos enfoques permite a las instituciones europeas abordar, por un lado, el problema medioambiental de la gestión de residuos. Por otro lado, también permite afrontar el reto geoestratégico de carencia de algunos materiales, muy valiosos y limitados, y muchos de ellos críticos también para que avancen las agendas de digitalización y de transición energética, como el litio, el cobre o los lantánidos. Desde la perspectiva de la investigación e innovación orientada a misiones (Mazzucatto, 2018), el reto (*moonshot*) de cerrar el bucle de la economía europea emerge como una misión alcanzable, alineada con los Objetivos de Desarrollo Sostenible de Naciones Unidas y las políticas palanca del plan de acción para la implementación de la Agenda 2030 en España (Gobierno de España, 2018). Desde los centros de la UPM deseamos contribuir a esa misión a través de nuestro propio reto de alcanzar la circularidad en nuestros campus en el año 2030, reto que abordamos a través de la experimentación, la innovación y la conexión que nos proporciona el demostrador o *living lab* que aquí presentamos.

El artículo se estructura como sigue. En el epígrafe 2 se presenta un breve marco conceptual sobre espacios demostradores y economía circular. El epígrafe 3 constituye el bloque central del artículo con

la presentación del diseño del demostrador circular y sus cinco áreas de actuación. A continuación, el epígrafe 4 muestra los resultados alcanzados hasta el momento. El artículo se cierra con un epígrafe 5 de conclusiones y futuros desarrollos.

MARCO CONCEPTUAL: *LIVING LABS* Y ECONOMÍA CIRCULAR ↓

Siguiendo a Ballon y Schuurman (2015), los *living labs* o espacios demostradores son entidades y/o espacios orientados a la innovación abierta caracterizados por procesos de experimentación basados en un contexto próximo a la realidad (*real life-setting experimentation*), donde los usuarios se involucran de manera activa en procesos de co-creación (*active involvement of users, co-creation*), a menudo a través de comunidades convencionales o en línea (*online or offline community setting*), y que involucran una amplia gama de grupos de interés tanto institucionales como del sector privado (*institutional and business stakeholders*). Los *living labs* o demostradores tienen una doble dimensión como espacios que facilitan y generan las condiciones para la co-creación, la investigación y la innovación embebidas en el contexto (*context research and co-creation*), y además sirven como un banco de pruebas para que las innovaciones y prototipos generados en el demostrador puedan someterse a la de su aplicación en un contexto o escenario real (*living labs as testbeds*).

Los campus universitarios son espacios privilegiados para establecer este tipo de espacios de experimentación (Verhoef y Bossert, 2019), especialmente cuando se encuentran profundamente imbricados en la trama urbana de una ciudad. En efecto, los centros de educación superior constituyen en sí mismos pequeñas ciudades dentro de la ciudad, y por sus características poblacionales (gran cantidad de jóvenes) y las actividades que en ellos se desarrollan (investigación, transferencia, docencia), suponen un ecosistema único para el desarrollo de innovaciones que, si resultan exitosas, pueden ser después escaladas a la ciudad y al mundo.

Por otro lado, el concepto de economía circular es un marco integrador de varios enfoques y disciplinas que se han ido desarrollando en los últimos treinta años en torno a la idea de establecer un modelo circular para el flujo de materiales en nuestros sistemas de producción-distribución-consumo. En la década de los 90 emergen los conceptos de logística inversa (Carter y Ellram, 1998; Rogers y Tibben-Lembke, 1999) y ecología industrial (Frosch y Gallopoulos, 1989; Jeliński *et al.*, 1992), planteamientos que se siguen desarrollando en la década de 2000 a 2010 con el surgimiento de las cadenas de valor o redes de suministro de bucle cerrado (*closed-loop supply chains*; Guide y Van Wassenhove, 2009), el enfoque de diseño de la cuna a la cuna (*cradle-to-cradle* o C2C; McDonough y Braungart, 2002) o el movimiento «residuos cero» (*zero waste*; Murray, 2002;

Elkington, 2012). En los últimos diez años estos paradigmas y enfoques se han enriquecido y fusionado con corrientes ya existentes en torno a la economía basada en la función (*function-based economy*; Stahel, 2005), los sistemas industriales de producto-servicio (*product-service systems* o PSS; Roy, 2002; Tukker, 2004; Tukker, 2015), también conocidos como procesos de servitización (*servitization*; Baines *et al.*, 2009) - en particular cuando se abordan desde la perspectiva del fabricante industrial que provee el producto-servicio-, o las nuevas plataformas digitales que permiten compartir activos infrautilizados en la no siempre bien llamada economía colaborativa o del acceso (*sharing economy*, ver Ranjbari *et al.*, 2018, para una aproximación a este término). Bajo todos estos enfoques subyace una concepción holística de nuestros procesos de producción y consumo, que pone el foco no sólo en las partes del sistema, sino también, y de manera especial, en las interrelaciones entre las partes y entre estas y su entorno (*systems thinking*; Ackoff, 1971).

Los desarrollos en estos últimos diez años ponen de manifiesto que el cierre del bucle de materiales a través de la reutilización, la reparación, el reacondicionado, la remanufactura o el reciclado necesita ir acompañado, por un lado, de innovación en los modelos de negocio, de modo que se favorezca un diseño circular de productos y servicios. Por otro lado, es necesaria una revisión de las métricas macroeconómicas con las que se diseñan políticas públicas y esquemas impositivos. Se necesitan indicadores que capturen el valor de los recursos naturales (capital natural, en palabras de Lovins *et al.*, 1999) en lugar de medir sólo el flujo lineal de materiales en un determinado periodo de tiempo (Stahel, 2016). Bajo los indicadores macroeconómicos clásicos permanece aún una concepción lineal del sistema productivo industrial basada en el flujo de inputs y outputs a través de un sistema que opera en un entorno con recursos infinitos. Sin embargo, en un metabolismo industrial cerrado, los outputs vuelven al sistema en forma de inputs, aportando de esta forma un mayor valor económico, menos externalidades y una mayor productividad del material. Son necesarios por tanto, nuevos modelos de negocio y nuevas políticas públicas, innovación en definitiva, para desvincular o desacoplar crecimiento económico, generación de riqueza y bienestar social, del consumo y explotación de recursos naturales y sociales (desmaterialización de la economía).

En ese contexto de innovación y generación de las condiciones para que ésta ocurra se enmarca esta propuesta de demostrador o *living lab* de una economía circular real en el ámbito universitario. El objetivo de este proyecto es utilizar nuestros campus universitarios como espacios de experimentación que nos permitan contrastar la viabilidad técnica, económica y social de prácticas y acciones vinculadas a la economía circular y regenerativa. Estos espacios, además de su potencial investigador para generar conocimiento nuevo, son una herramienta

demostradora también para nuestro alumnado, de manera que desde la universidad podamos contribuir al cambio de mentalidad necesario para transitar desde una perspectiva lineal a una circular, que cierre el bucle y tenga en cuenta la capacidad de regeneración del ecosistema en el que se inserta.

DISEÑO DE UN *LIVING LAB*, DEMOSTRADOR, A TRAVÉS DEL CAMPUS CIRCULAR ↓

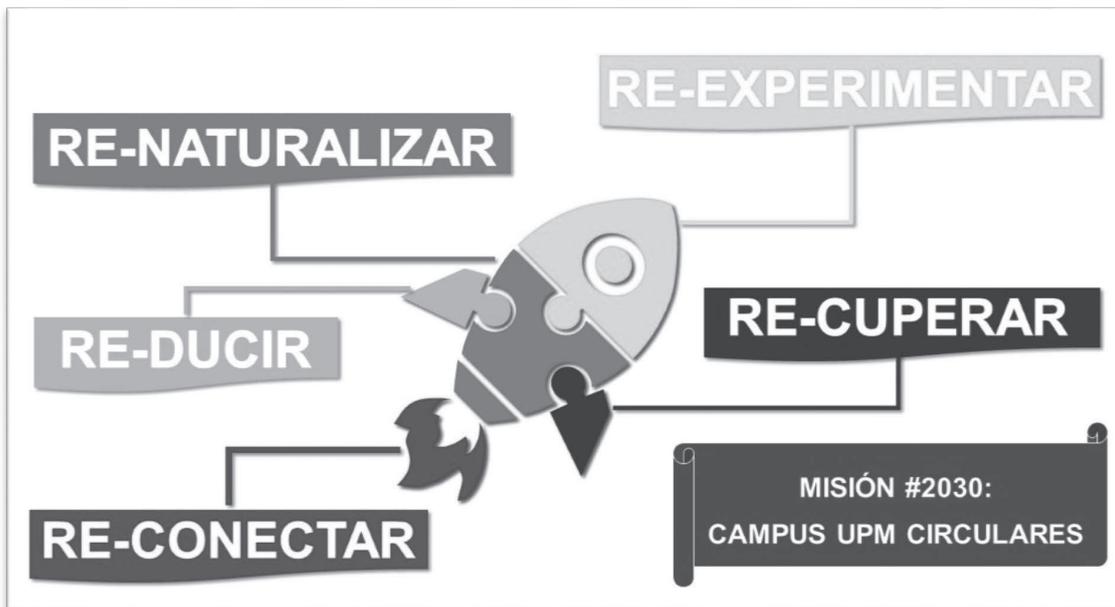
El contexto ↓

La Universidad Politécnica de Madrid (UPM) se creó en 1971 con la integración de las diferentes Escuelas Técnicas Superiores y Escuelas Universitarias de Ingeniería Técnica existentes en la ciudad de Madrid, muchas de ellas instituciones ya entonces centenarias con una larga tradición de formación e investigación en ingeniería y arquitectura. Como consecuencia de su historia, la universidad no dispone de un único campus, sino que las diferentes Escuelas se encuentran salpicadas en diferentes ubicaciones de la trama urbana de la ciudad de Madrid y sus alrededores. Desde la universidad se estructura esta red de centros en torno a cuatro campus: campus Ciudad Universitaria (compartido con la Universidad Complutense de Madrid), campus Madrid centro, campus Sur y campus Montegancedo. Cabe destacar que el campus Madrid centro no es un campus «al uso», sino un conjunto de cuatro escuelas independientes localizadas en la almendra central de la ciudad de Madrid. Cada una de ellas podría considerarse un mini-campus, con la ventaja de encontrarse profundamente imbricadas en el contexto de los barrios y espacios urbanos en los que se ubican.

En el demostrador circular actualmente participa profesorado e investigadores de diversas ramas de la ingeniería y la arquitectura: ingeniería mecánica, ingeniería química, ingeniería de organización, ingeniería agronómica, ingeniería de materiales y arquitectura. El diseño del campus circular incorpora en este momento a cuatro escuelas de la UPM (ETSI Industriales, ETSI Diseño Industrial, ETS Arquitectura, ETSI Agronómica, Alimentaria y Biosistemas) y dos de sus campus (Madrid Centro y Ciudad Universitaria), aunque su vocación es ir expandiéndose a modo de mancha de aceite a todos los centros y campus de la UPM a través de la estructura de nodos ODS, estructura de nueva creación impulsada desde el Vicerrectorado de Calidad y Eficiencia, que es donde residen las competencias en políticas de sostenibilidad en la UPM. Los nodos ODS son una estructura organizativa tipo red en la que la dirección de cada centro ha nombrado a un equipo de representantes integrado por estudiantes, profesorado y personal de la universidad.

Asimismo, dentro del equipo de trabajo, una fuerza impulsora y vital del demostrador o *living lab* es el alumnado involucrado que, mediante sus conocimientos y orientación a la innovación, contribuye a

FIGURA 1
MISIÓN UPM. CAMPUS CIRCULARES EN 2030. ÁREAS DE TRABAJO



Fuente: Elaboración propia.

mejorar y hacer evolucionar el proyecto aportando su visión e ideas y lo mantienen vivo y activo entre la comunidad universitaria, a la vez que enriquecen su competencia técnica en el ámbito de la economía circular y adquieren competencias transversales valiosas para su posterior desarrollo profesional.

El demostrador: áreas y líneas de trabajo

El objetivo principal de este proyecto es demostrar, a través de los campus de la UPM, que la economía circular es técnicamente viable, económicamente rentable y socialmente inclusiva. A través del proyecto se trata de establecer nuestros campus como un banco de pruebas de prácticas y políticas alineadas con los principios de la economía regenerativa, creadora (y no extractora) de valor, y de la simbiosis industrial: los desechos de un nodo de la red sirven de entrada para otro nodo, buscando un «metabolismo» industrial cerrado a través de colaboraciones y alianzas entre centros, campus UPM y agentes externos como ayuntamientos, empresas, organizaciones y comunidades locales.

El espacio demostrador se ha diseñado en torno a cinco áreas de trabajo, que quedan recogidas en la figura 1.

El demostrador toma como punto de partida un inventario (línea de base) de los residuos que generan los distintos centros implicados en el demostrador, con un doble objetivo. Por un lado, disponer de datos de partida que permitan evaluar el impacto de la introducción de la perspectiva circular en la cotidianidad de los centros (Smyth *et al.*, 2010; Zhang

et al., 2011; Siwaporn T *et al.*, 2017). Por otro lado, conocer mejor qué residuos genera cada centro, en qué cantidades y cuáles son las prácticas actuales de gestión de los mismos, con el fin de alimentar líneas de trabajo innovadoras en las cinco áreas del proyecto:

- Re-ducir, ¿podemos eliminar este residuo?
- Re-cuperar, ¿podemos poner en valor este residuo (quizá en alianza con socios externos a la universidad)?
- Re-conectar, ¿podría este residuo ser «materia prima» para otro nodo de la red UPM?
- Re-naturalizar, ¿podemos darle un ciclo en la «biosfera» – en contraposición a la tecnosfera – a este residuo?
- Re-experimentar, ¿podemos incorporar este residuo a los espacios de experimentación circular de la UPM y darle una nueva vida dentro de la universidad a través de la reparación, el reacondicionado (*refurbishment*), la refabricación (*remanufacturing*) o el reciclado?

Un ejemplo de esta línea de base para uno de los centros del demostrador circular (ETSI Industriales) se muestra en los Cuadros 1 y 2. Este centro tiene una larga historia de implantación de un modelo de gestión integral de la sostenibilidad (Yáñez *et al.*, 2019), que ha sido plasmada a través de sus cinco memorias de responsabilidad social publicadas (ETSII-UPM, 2019) y que reportan de forma bienal el decenio 2007–2017 (la sexta memoria para el periodo 2018–2019 está en elaboración). El Cuadro 1 recoge los

CUADRO 1
LÍNEA DE BASE PARA LA ETSI INDUSTRIALES. GENERACIÓN DE RESIDUOS EN EL CENTRO

TABLA 77 - RESIDUOS NO PELIGROSOS

TIPO DE RESIDUO (Kg)	2015	2016	2017
RAEES	467	1.657	522+233 (Monitores CRT)
Papel-carton	25.680	11.050	1.840
Tubos fluorescentes	276	96,5	110,98
Aceite vegetal	620	1040	785

TABLA 78 - RESIDUOS DE CONSTRUCCIÓN Y DEMOLICIÓN

RESIDUOS DE LA CONSTRUCCIÓN O DEMOLICIÓN (m³)	2015	2016	2017
	78	138	126

TABLA 79 - RESIDUOS PELIGROSOS

TIPO DE RESIDUOS (Kg)	2015	2016	2017
Reactivos de Laboratorio	40	160	16
Disoluciones ácidas	120	440	18
Disoluciones básicas	280	460	25
Disolvente halogenado	80	237	10
Disolvente no halogenado	540	668	9
Envases de plástico	20	14	-
Envases de vidrio	40	80	-
Envases metálicos		25	
Productos químicos	440	320	
Productos químicos de Laboratorio	10	260	20
Otros combustibles	40		17
Resinas de Intercambio Iónico y Adhesivos y sellantes	4	20 Resinas de Intercambio Iónico + 276 Adhesivos y sellantes	120
Antiespumante	5		-
Residuos biosanitarios	1,98	3,33	3,98
Aceites		171	
Pintura		120	
Gas Halon		80	
Gas FE-B		100	
Virutas (polvo de acero inox.)		3	
Absorbentes contaminados	N/A	N/A	22
Baterías Ni-Cd			10
Pintura			60
Fuel Oil			80

Fuente: Memoria de Responsabilidad Social de la ETSII-UPM 2016-17.

indicadores plasmados en dichas memorias, elaboradas bajo el estándar GRI, en relación a la generación de residuos en el centro. El Cuadro 2 recoge el estudio realizado por el alumnado de la iniciativa CircularizatE en torno al tipo de residuos plásticos generados en el centro.

Las cinco áreas de trabajo presentadas en la figura 1 se describen a continuación en los epígrafes 3.3 a 3.7. Estas cinco líneas permiten definir una metodología para la identificación de flujos de residuos y su potencial para la circularidad en instituciones como hospitales, centros corporativos y administra-

ciones públicas, y constituyen la principal aportación de este trabajo (c.f. Hopff *et al.*, 2019; Mendoza *et al.*, 2019).

Área de trabajo RE-DUCIR

El mejor residuo es aquel que no se genera. No tiene sentido hablar de economía regenerativa en un contexto donde no se valoran la materia y la energía que contienen los artículos de uso y consumo cotidiano. Los campus universitarios deben establecer unos «mínimos higiénicos» que eviten el despilfarrar

CUADRO 2
LÍNEA DE BASE PARA LA ETSI INDUSTRIALES. IDENTIFICACIÓN DE TIPOS DE PLÁSTICOS UTILIZADOS EN EL ENTORNO UNIVERSITARIO

Nº	ID	TIPO DE PLÁSTICO	USO EN LA ETSII
1	PET	Polietileno Tereftalato	Botellas de agua y refrescos Botellas de aceite de cocina
2	HDPE (PEAD)	Polietileno de Alta Densidad	Tapones de plástico (tapones solidarios) Envases de detergentes y productos de limpieza,...
3	PVC	Policloruro de Vinilo	Plástico que envuelve las botellas de PET Cubiertas de encuadernación de trabajos de PVC Fundas de documentos
4	LDPE (PEBD)	Polietileno de Baja Densidad	Bolsas de plástico de un solo uso Film plástico para envolver
5	PP	Polipropileno	Tapones de plástico (tapones solidarios) Tupperware Cubiertas de encuadernación de trabajos de PP. Fundas de documentos.
6	PS	Poliestireno	Cubiertos y platos de un solo uso Vasos de plástico desechables Envases de yogur, de helado, margarina PS cristal: envases de alimentos para llevar PS expandido: bandejas de corchopan
7	O	Other (Por ejemplo PLA)	Hilo de impresión 3D

Fuente: Elaboración propia.

y la proliferación de residuos innecesarios, como condición previa para que la universidad pueda hablar con legitimidad de economía circular. Estos mínimos son condición necesaria también de cara al alumnado, pues los contenidos que se imparten en aulas (sostenibilidad y ODS en el currículo) se refuerzan de modo muy importante si el alumnado percibe «ejemplo institucional» en relación a dichos contenidos. En el área de trabajo «RE-DUCIR», el demostrador contempla tres líneas de trabajo específicas.

Línea 1. Reducción de envases de un solo uso en cafeterías e introducción de sistemas de fianza.

Algunos trabajos previos realizados en la ETSI Industriales (antenas de sostenibilidad) muestran que el alumnado identifica las cafeterías de los centros como espacios que generan gran cantidad de residuos, dónde la gestión actual de los mismos impacta negativamente en el «ejemplo institucional» antes mencionado. Sin embargo, es importante destacar que las cafeterías no son los únicos espacios generadores de residuos dentro de los centros, pero sí uno de los más visibles.

La Gerencia de la Universidad Complutense de Madrid (que comparte campus con la UPM en Ciudad Universitaria) ha declarado la obligación con fecha 28 enero 2020 de eliminar plásticos de un solo uso en sus centros. En la UPM existen exitosas iniciativas

en la misma línea, como Caminos Sin Plástico o Montes Sin Plástico, también en torno a un material en concreto: el plástico. Sin embargo, es necesario clarificar que, desde una perspectiva de economía circular, pondremos el foco en los envases y productos desechables, y no tanto en el material del que estén hechos. La mera sustitución de envases de plástico por papel (probablemente recubierto con un film de plástico para resistir la humedad) no reduce el impacto ambiental de dichos envases.

Partiendo de las buenas prácticas detectadas en la UCM y Caminos Sin Plástico, se establece una línea de trabajo con los administradores de los centros para incluir en los pliegos de contratación de los servicios de restauración y máquinas de *vending* de la UPM las cláusulas adecuadas, así como otras nuevas que permitan a los usuarios bien traer sus propios envases o bien, si estos no disponen de ellos, ofrecerles un servicio de envases reutilizables gestionado con un sistema de fianza (también denominado SDDR, sistema de depósito, devolución y retorno). Asimismo, en esta línea de trabajo es necesario contemplar recursos para el desarrollo de los proveedores de estos servicios de restauración, pues como prueban la literatura académica (Hahn *et al.*, 1990) y la experiencia práctica, el enfoque meramente regulatorio no suele ser efectivo y es necesario acompañar a la empresa prestataria en este proceso de cambio.

Línea 2. Eventos.

En muchos de nuestros centros se celebran eventos de distinto tipo, como son: (i) fiestas de alumnado (ej. San Pepe en Industriales, San Cemento en Ciudad Universitaria); (ii) ferias de empleo, congresos empresariales, congresos académicos (ej. Induempleo); (iii) otros eventos. Es necesario buscar la alineación de todos estos eventos con las iniciativas de campus circular. Por ejemplo, en los eventos de alumnado, a través de las delegaciones de alumnos y las asociaciones universitarias, se puede trabajar para reducir la generación de basuras y la introducción de vasos duraderos (existen empresas que facilitan el alquiler y limpieza de estos vasos).

En los eventos empresariales y académicos, es necesario incluir una mirada a la sostenibilidad ambiental y social de estas actividades y a algunos residuos específicos que este tipo de ferias generan (e.g. moqueta ferial, acreditaciones de asistentes) y que tienen alto potencial para abordarse desde una perspectiva circular.

Línea 3. Prevenir el despilfarro alimentario y conectar con las iniciativas de campus saludable.

Los menús de calidad en las cafeterías de los centros previenen el despilfarro alimentario. En esta línea se busca fomentar menús más saludables, con productos de proximidad y de temporada que reduzcan los kms necesarios para traerlos a la mesa del comedor universitario, y cocinados con poca sal y aceites de calidad. Las cafeterías de los centros pueden ser también un demostrador de un sistema agronómico sostenible, en línea con el trabajo realizado desde la ETSI Agronómica, Alimentaria y Biosistemas en el marco del proyecto «La red Natura 2000: alimentando el campus», proyecto piloto ejecutado entre febrero y noviembre 2018, con el objetivo de fomentar el consumo de alimentos de proximidad, temporada y/o ecológicos en la restauración colectiva universitaria, a través de la incorporación de alimentos producidos en municipios de la Red Natura 2000 de la bio-región de Madrid (Comunidad de Madrid, provincia de Ávila y provincia de Toledo). Estas iniciativas conectan además con los compromisos universitarios vinculados a la salud (ODS 3) del personal de la universidad (política de RRHH) y estudiantes

Además de asegurar la calidad del menú, otras medidas que permiten reducir o prevenir el despilfarro alimentario en los centros universitarios es facilitar envases retornables para que los usuarios puedan llevarse la comida sobrante o incluir en la lista de precios de los pliegos diferentes tamaños de ración, con diferentes precios.

Área de trabajo RE-CUPERAR ↓

En este área de trabajo, que también contempla tres líneas de trabajo más concretas, se investiga

el valor oculto de los «residuos» generados en el ámbito universitario, recuperando materiales para los que podamos cerrar el bucle directamente en la propia universidad (líneas 2 y 3) o a través de alianzas con terceros (línea 1).

Línea 1. Obtener recursos gracias al valor de nuestros residuos y al volumen generado.

En algunos flujos de residuos, como el papel, el aluminio (latas) o la basura electrónica no tenemos capacidad actual de reciclarlos internamente en la propia universidad, pero en función de los precios del mercado de materias primas puede ser interesante gestionarlos directamente con los recicladores, en lugar de a través de los servicios de recogida municipal, con el fin de obtener valor, bien sea a través de su venta o través de la obtención de servicios, como la recogida y destrucción del papel o la recogida de los residuos electrónicos. Algunas de las claves identificadas para la viabilidad de esta línea tienen que ver con las economías de escala y con la dificultad o salubridad de almacenar el residuo en los centros. En este sentido, a los centros «grandes» como ETSI Industriales y ETS Arquitectura, ambos con una «población» de unas 5.000 personas cada uno, les resultará más sencillo encontrar recicladores interesados. Los centros más pequeños pueden mancomunarse con otras Escuelas o Facultades, en caso de encontrarse imbricados en una estructura «campus», o con otras instituciones cercanas.

Línea 2. Nodo de recuperación del PLA: cierra el bucle de la impresión 3D.

En muchos centros de la UPM se realiza impresión 3D para actividades docentes y de investigación. Las bobinas de PLA y otros polímeros empleados para la fabricación aditiva son costosas y los rechazos (fallos) de producción son fácilmente reciclables. El demostrador incluye una red inter-centros para cerrar el bucle de la impresión 3D, de modo que los centros entreguen PLA usado y reciban a cambio bobinas de PLA, con el consiguiente ahorro de costes para los centros y los grupos de investigación.

Línea 3. Identificar e incentivar los canales internos de recuperación ya existentes.

La iniciativa «reciclado de mobiliario» y de «consumibles electrónicos» en ETSI Industriales fomenta la comunicación entre las distintas áreas para conseguir sinergias en el uso de recursos. Gracias a ella, se pone a disposición de departamentos y unidades del centro materiales que ya no van a ser utilizados (por ejemplo, mesas, sillas, cajoneras, impresoras, cartuchos de tinta, etc.) para que sean utilizados por otra área. Así se evita que se conviertan en residuos antes del final de su vida útil y satisface las necesidades del personal sin incurrir en gastos financieros o de tiempo para la gestión de la compra.

Área de trabajo RE-EXPERIMENTAR

En este eje del demostrador se aborda la creación de espacios de experimentación donde la comunidad universitaria (alumnado, profesorado, personal) y la ciudadanía puedan vivenciar los principios inspiradores de la economía circular. Este tipo de espacios contribuyen al cambio de mentalidad necesario en los profesionales de la ingeniería para la transición de sistemas lineales basados en extraer-fabricar-usar-tirar a sistemas circulares y regenerativos donde los «residuos» no existen como tales, sino que son fuentes de módulos, piezas y materiales que tienen reconocido su valor. En estos espacios se trata de «cortocircuitar» los flujos tradicionales lineales de materiales, fomentando ciclos cerrados lo más cortos posible: en primer lugar, reutilización; en segundo lugar, reparación, reacondicionado o remanufactura; por último, reciclado, con el fin de dar valor a los residuos generados siempre que sea posible dentro del propio campus universitario.

Un ejemplo de estos espacios de experimentación se ha llevado a cabo en este curso académico en la ETSI Industriales a través de la iniciativa «CircularizatETSI», germen de partida del demostrador de campus circular que se presenta en este artículo. El espacio de experimentación se inspira en varias iniciativas surgidas en Países Bajos en torno a la valorización y cierre del bucle de los materiales plásticos: Precious Plastics (Eindhoven), Better Future Factory y su Perpetual Plastics Project o la iniciativa Refill (Rotterdam). En el interior del espacio demostrador se ha diseñado un proceso para el reciclado de los residuos plásticos generados en la ETSI Industriales, con el fin de producir objetos con valor a los que se pueda dar uso dentro del centro.

El interior del espacio de experimentación contiene el siguiente equipamiento: una trituradora (*shredder*), una secadora de granza plástica, una máquina extrusora y bobinadora de hilo de impresión 3D, así como varias impresoras 3D disponibles en diversas ubicaciones en el propio centro. Adicionalmente, para actividades de reparación, reacondicionado y refabricación se cuenta con el FabLab de la Escuela, ubicado a escasos metros de donde se encuentra el espacio de experimentación circular, y que cuenta con una cortadora láser, fresadoras, un plotter de corte, así como diversos utensilios y herramientas básicas. Asimismo, para procesos más complejos se puede contar con otras instalaciones y laboratorios de la UPM (dentro del demostrador del campus circular se pueden emplear las capacidades de inyección presentes en los laboratorios de la ETSI Diseño Industrial). Los residuos plásticos pasan por el siguiente proceso: (a) recogida, identificación, separación y limpieza, (b) granceado, (c) secado, sólo en el caso de polímeros higroscópicos, como el PET, (d) extrusión, inyección o termoconformado, en función del tipo de producto final que se quiera obtener. En el caso del hilo de impresión 3D, primero se obtiene el hilo en una máquina específica y des-

pués se sigue un proceso de fabricación aditiva en la impresora, como si se tratase de hilo virgen.

El valor del espacio de experimentación y fabricación digital está no sólo en la obtención de objetos con segunda vida, a los que se puede dar un uso dentro de la propia Escuela o del propio campus (e.g. piezas y probetas para prácticas, que luego pueden volver a ser reprocesadas), sino también en la acción formativa que obtienen nuestros estudiantes.

El set de máquinas elegido permitirá experimentar con diferentes tipos de polímeros, mezclas y aditivos para la elaboración de filamentos de impresión 3D a partir de materiales usados. Esta línea de experimentación tiene un gran potencial investigador (publicaciones en revistas de materiales, polímeros y fabricación aditiva, c.f. ejemplo Schirmeister *et al.*, 2019), así como de tractor de financiación en convocatorias competitivas y de transferencia al sector productivo. Existe un gran interés en obtener hilo de impresión 3D a partir de materiales de desecho ampliamente abundantes, como el PET, pero el proceso de obtención no está aún bien desarrollado. Del mismo modo, queremos investigar las posibilidades de la impresión 3D con otro tipo de plásticos ampliamente disponibles, o composites de los mismos, como el PP (polipropileno), el PS (poliestireno, que da lugar a hilo HIPS, similar al ABS) o polietileno de alta y baja densidad (HDPE y LDPE).

Este espacio demostrador en construcción se ubica junto a la «piscina» de la Escuela, una zona de gran visibilidad para el alumnado. El espacio de experimentación aspira a convertirse no sólo en el lugar donde se alberguen estas máquinas, sino a un verdadero espacio de reflexión, diálogo y demostración para la comunidad universitaria y la ciudadanía de Madrid en torno a las posibilidades de la economía circular como nuevo paradigma de diseño de productos, servicios y modelos de negocio (el principal impacto del proyecto gira en torno a la meta 4.7 de los ODS, Educación para la Sostenibilidad).

La propia infraestructura contendora se ha diseñado para ser un ejemplo de sostenibilidad. En este sentido, se está trabajando a través de prácticas en algunas asignaturas regladas, animadas por herramientas de inteligencia colectiva (colab.upm), así como a través de diversos trabajos fin de grado y fin de master con el fin de, por un lado, dotar al espacio de energía eléctrica renovable a través de autoconsumo fotovoltaico; por otro, evaluar las posibilidades de la naturación urbana para reducir las necesidades de climatización del espacio. Asimismo, se contempla analizar el uso del agua que se haga en la instalación, con el fin de dotar al demostrador de circularidad en los tres ejes básicos de recursos naturales: materiales, energía y agua.

El espacio de experimentación del demostrador aspira también a catalizar otras iniciativas circulares que puedan surgir en el transcurso del proyecto, convirtiéndose así en un verdadero Fab-Lab Circular

que incorpore procesos de reciclado, remanufactura, reacondicionado y reparación, así como las herramientas de diseño circular (*design thinking*) que permitan visualizar los nuevos productos y modelos de negocio servitizados que facilitan la transición hacia sistemas circulares.

Área de trabajo RE-NATURALIZAR

Cualquier proyecto de economía circular debe contemplar una visión desde la doble perspectiva de la tecnosfera (ciclos técnicos) y la biosfera (ciclos biológicos). En esta parte del demostrador, la biosfera cobra un especial protagonismo a través de dos líneas específicas de actuación.

Línea 1. Compostaje local.

El residuo verde generado en cafeterías y en podas de jardines puede recogerse de forma selectiva para compostarlo en los propios centros y eliminar así la compra de abonos. En este sentido, el PAS de mantenimiento y jardinería necesitará la formación necesaria, que puede ser prestada por profesorado y personal de la ETSI Agronómica, Alimentaria y Biosistemas. En caso de generarse más compost del necesario en los centros, el sobrante podría donarse a campos de prácticas o a otras Escuelas, Facultades u otras instituciones que pudieran necesitarlo.

Línea 2. Aumento del verde vertical (a partir de residuos generados en los centros).

Los espacios de experimentación circular propuestos en el epígrafe anterior deben transmitir una imagen de sostenibilidad y ser ejemplo de las ideas que propugnan. Por este motivo, sería adecuado invertir en jardines verticales y herramientas de naturación urbana en dichos espacios, que además de transmitir imagen y confort, actúen como reguladores térmicos en los espacios de experimentación propuestos. Tanto en la ETS Arquitectura como en la ETSI Agronómica, Alimentaria y Biosistemas existe amplia experiencia en esta línea.

Para la construcción de estos jardines verticales, el demostrador propone un *upcycling* de un residuo ampliamente presente en nuestros centros, como son las carátulas de polipropileno utilizadas para la encuadernación de trabajos del alumnado. Estas carátulas pueden fácilmente transformarse en macetas, que después se colgarían de una red ad-hoc mediante una máquina de termoconformado de escritorio que se incorporaría al equipamiento del espacio de experimentación.

Área de trabajo RE-CONECTAR

Los principios de la simbiosis industrial requieren conectar los nodos de un ecosistema, de manera que los residuos de un nodo sirvan de alimento o materia prima a otro nodo del sistema. Sin estas conexiones la economía circular en el campus no podría fun-

cionar, pues ningún centro, ni siquiera la universidad completa puede funcionar como un sistema autosuficiente. Es necesario establecer conexiones entre centros y hacia fuera. Para fomentar estas interrelaciones se contemplan en el demostrador cuatro líneas específicas.

Línea 1. Alianzas entre centros y simbiosis industrial.

En el demostrador se investiga si existe posibilidad de que los residuos de un centro sean materia prima para otros centros de la UPM (al margen de la línea de compostaje mencionada en el epígrafe 3.6). Por ejemplo, residuos industriales del sector eléctrico, como el grafito, mejoran las características mecánicas de materiales de construcción, como el yeso. Conectar investigaciones de este tipo nos permitiría avanzar hacia una universidad con menos emisión de residuos hacia el exterior.

Línea 2. Expandir el demostrador de economía circular hacia otros centros y campus.

Aunque esta iniciativa haya nacido en el campus Madrid ciudad, se pretende involucrar poco a poco a toda la comunidad universitaria de la UPM, para expandir el concepto de circularidad y replicar las acciones que hayan tenido éxito, así como recoger experiencias de otros centros ligadas al objetivo de circularizar la UPM para ponerlas en práctica en nuestro entorno. Esta reconexión estará facilitada por la nueva estructura de nodos ODS y permitirá poner en contacto a personas especializadas en diferentes áreas y centros con diferentes recursos cuyo objetivo es la resolución de un reto relacionado con la sostenibilidad. Se facilitará la colaboración multidisciplinar y la sinergia de recursos para fomentar la innovación y la co-creación, así como la incorporación de nuevos retos específicos en el ámbito de la economía circular, como podría ser el cierre del bucle en el sector textil, ámbito de amplio potencial de investigación y transferencia.

Línea 3. Conexión con iniciativas de transición energética y descarbonización del campus.

La energía que mueve la economía circular no debería proceder de fuentes fósiles. Por tanto, la iniciativa se alinea con el compromiso de descarbonización del campus en la UPM, y los espacios de experimentación deberían estar alimentados en la medida de lo posible por fuentes renovables, ya sea en modalidad de autoconsumo o por compra de electricidad con certificado de origen renovable. La Declaración del Compromiso de la UPM con la acción contra el cambio climático se presentó a finales de noviembre de 2019, con motivo de la celebración de la Cumbre del Clima (COP25) en Madrid. En ella, la UPM se declara consciente de los riesgos para el equilibrio bioclimático y geofísico de la evolución de la concentración de gases de efecto invernadero. Además, declara que su principal aportación contra el cambio climático es trabajar

y formar personas que sepan resolver problemas, innovar y ofrecer soluciones a los retos del futuro. Además, se compromete a anular las emisiones directas netas de gases de efecto invernadero en 2030 con el fin de alcanzar la neutralidad climática de la UPM en 2040.

Además de alimentar el demostrador con fuentes renovables, la iniciativa de campus circular contribuye a alcanzar estos compromisos institucionales de la universidad de forma directa, mediante la mitigación de la huella de carbono de los campus, al reducir la cantidad de residuos que estos emiten y, por tanto, el CO2 equivalente vinculado a la gestión de dichos residuos.

Línea 4. Conexión con la ciudad, el país y el mundo.

Gracias a la red de contactos generada por los implicados en el demostrador se puede tener una visión *multi-stakeholder* de los actores implicados en la red de valor circular de los diversos productos usados en los campus. Esta visión sistémica, donde los proveedores de materias primas y productos intermedios, los productores, los consumidores y los recicladores y gestores de residuos pueden aportar su visión, facilita el poder encontrar soluciones innovadoras y factibles a los retos que se planteen. En particular, es fundamental establecer conexiones de este demostrador universitario con la ciudad de Madrid, conexión que ya se está realizando a través del Área de Gobierno de Economía, Innovación y Empleo del Ayuntamiento de Madrid, que también tiene una línea de trabajo en torno a la promoción de la Economía Circular con un Centro de Innovación propio en este ámbito (en desarrollo). A través de este centro podemos conectar con iniciativas aún mayores y con una red de actores más amplia

Por otro lado, es vocación del demostrador, a partir de la cuarta misión de la universidad (impacto social o *outreach*), el establecer vínculos con otros actores de la sociedad civil y hacer labores de divulgación, a través de visitas de colegios, políticos, etc., a nuestro espacio de experimentación circular. La conexión en red con España y el mundo se realizará a través de diferentes redes nacionales, como REDS (Red Española para el Desarrollo Sostenible) e internacionales, como SDSN y la ISCN.

RESULTADOS ↓

Cabe destacar que el diseño e implementación parcial presentado en el epígrafe 3 describe actuaciones llevadas a cabo en tan sólo doce meses. En efecto, el primer borrador de una Estrategia de Economía Circular para la ETSI Industriales de la UPM, germen de este proyecto de demostrador circular en la UPM a través de sus campus, data de marzo 2019. Desde entonces, se han sumado al demostrador cuatro patrocinadores corporativos que han aportado un capital inicial de 19.000 €, además de conocimiento técnico, apoyo institucional y con-

tactos industriales. Esta aportación ha permitido la adquisición de los materiales e infraestructuras necesarias para la constitución del espacio de experimentación circular presentado en el apartado 3.5 y es muestra del compromiso e interés de los socios empresariales del demostrador en su enfoque y resultados. En este punto, cabe destacar que uno de los patrocinios empresariales ha sido el resultado de la participación de un equipo de estudiantes vinculados al demostrador en una competición universitaria orientada a la innovación social.

Por otra parte, la propia universidad apoya al demostrador a través de un proyecto de innovación educativa recientemente concedido. Asimismo, se ha presentado un proyecto de Aprendizaje-Servicio, pendiente de resolución, en colaboración con la DG de Economía del Ayuntamiento de Madrid, con la que se han establecido contactos para colaboración en su futuro centro de innovación en Economía Circular. Asimismo, se cuenta con el apoyo de la dirección de la ETSI Industriales, un espacio asignado en el campus «privilegiado» por su visibilidad entre el alumnado, y un grupo de unos 40 estudiantes, voluntarios, que se reúnen desde octubre de 2019 quincenalmente junto con el equipo multidisciplinar de profesores impulsores para ir avanzando en el proyecto. Finalmente, el Vicerrectorado de Investigación, Innovación y Doctorado de la UPM ha decidido apoyar y legitimar recientemente este demostrador de campus circulares en la UPM con un capital semilla que va a permitir consolidar y escalar esta iniciativa naciente en torno a la economía circular con una financiación parcial a cuatro años. Todos estos apoyos y recursos están permitiendo que el demostrador se vaya desarrollando y consolidando. En el marco de la actual crisis de la COVID-19, el demostrador ha establecido una alianza con el movimiento coronamaker de Madrid para la recuperación del PLA residuo generado como rechazo de producción en la fabricación de viseras y otros equipos de protección individual para sanitarios y poderlos reciclar en el espacio de experimentación del demostrador. El material ya ha sido depositado en las instalaciones de la ETSI Industriales a la espera de que la situación sanitaria mejore y nos permita iniciar el reciclado del mismo.

CONCLUSIONES ↓

En este artículo se ha presentado el demostrador «Campus Circulares UPM», un *living lab* que aspira convertirse en un espacio de experimentación, conexión y co-creación multifactor orientado a desplegar el potencial de la economía circular en nuestras comunidades locales. Además de servir como banco de pruebas para prototipar y testar nuevos productos, servicios, modelos de negocio y políticas públicas que facilitan el cierre del bucle de materiales, el demostrador también presenta una importancia formativa para los profesionales de la ingeniería y la arquitectura del mañana, tanto en competencias

técnicas como transversales, que seguro tendrá un gran impacto en su futura actividad profesional, multiplicando el impacto positivo del demostrador.

Este demostrador tiene la capacidad de unir a diferentes actores y organizaciones que tienen el propósito común de alcanzar un modelo de desarrollo más sostenible, en el que se evite el despilfarro, se racionalice el uso de recursos, se descubra el valor de materiales que son desechados, se generen espacios de encuentro en los que la creatividad y las visiones de diferentes actores de la red de valor identifiquen nuevas maneras de hacer que impulsen el valor compartido, el bien común, la minimización de impactos negativos y la maximización de los impactos positivos.

La universidad dispone de los recursos, espacios, conocimientos, contactos y la legitimidad institucional para articular e impulsar estos ecosistemas para la co-creación, la experimentación y la generación de soluciones. Las redes creadas permiten transmitir las buenas prácticas y las innovaciones de manera más eficiente, llegando a los agentes de cambio de cada medida planteada. Así, el alumnado pone en práctica sus conocimientos y capacidades para encontrar respuestas a problemas reales utilizando soluciones ya existentes o generando nuevas soluciones. Su talento se canaliza hacia la investigación aplicada dentro del demostrador, mejorando su proceso formativo. Los investigadores están en contacto con los agentes implicados o propietarios del problema, lo que les permite detectar necesidades reales y retos incipientes aplicando su experiencia investigadora y trasladando soluciones al tejido productivo, consiguiendo impacto y mejoras. Las organizaciones (empresas, administraciones públicas) consiguen una visión multiactor que les ayuda a conocer las necesidades y expectativas de los demás actores implicados de tal manera que pueden identificar prácticas gana-gana, así como acceder a un ecosistema de innovación muy valioso en términos de conocimiento generado, aplicabilidad de sus resultados y potencial de innovación.

REFERENCIAS ↓

Ackoff, R.L., 1971. Towards a system of systems concepts, *Management science*, 17(11), pp. 661-671.

Baines, T.S., Lightfoot, H.W., Benedettini, O., Kay, J.M., 2009. The servitization of manufacturing: A review of literature and reflection on future challenges, *Journal of Manufacturing Technology Management*, 20 (5), pp. 547-567.

Ballon, P., Schuurman, D., 2015. Living labs: concepts, tools and cases, *Info*, 17 (4).

Carter, C.R., Ellram, L.M. 1998. Reverse logistics: a review of the literature and framework for future investigation, *Journal of business logistics*, 19(1), p. 85.

Commenne, V., 2006. *Economic Actors's Participation in Societal and Environmental Responsibility. A Guide to promoting Ethics and Sustainable Development*. Editions Charles Léopold Mayer.

Elkington, J., 2012. *The zeronauts: breaking the sustainability barrier*. Routledge.

ETSII-UPM, 2019. *ETSII-UPM Sustainability Reports*. Available at: http://www.etsii.upm.es/la_escuela/responsabilidad_social/memoriasRS.es.htm

Frosch, R., Gallopoulos, N., 1989. Strategies for Manufacturing, *Scientific American*, 261, pp. 144-152.

Gobierno de España, 2018. *Plan de Acción para la Implementación de la Agenda 2030. Hacia una Estrategia Española de Desarrollo Sostenible*.

Guide, V.D.R. Jr., Van Wassenhove, L.N., 2009. The Evolution of Closed-Loop Supply Chain Research, *Operations Research*, 57 (1), pp. 10-18

Hahn, C.K., Watts, C.A., Kim, K.Y., 1990. The Supplier Development Program: A Conceptual Model, *Journal of Purchasing and Materials Management*, 26, pp. 2-7.

Hopff, B., Nijhuis, S., Verhoef, L.A., 2019. New Dimensions for Circularity on Campus—Framework for the Application of Circular Principles in Campus Development, *Sustainability*, 11(3), p. 627.

Jelinski, L.W., Graedel, T.E., Laudise, A., McCall, D.W., Patel, C.K., 1992. Industrial ecology: concepts and approaches, *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 89 (3), pp. 793-797.

Lovins, A.B., Lovins, H., Hawken, L.P., 1999. A road map for natural capitalism, *Harvard Business Review*, 77(3), pp. 145-158.

Smyth, D.P., Fredeen, A.L., Booth, A.L., 2010. Reducing solid waste in higher education: The first step towards 'greening' a university campus, *Resources, Conservation and Recycling*, 54 (11), pp. 1007-1016.

Mazzucatto, M., 2018 *Mission-Oriented Research & Innovation in the European Union A problem-solving approach to fuel innovation-led growth*. Directorate-General for Research and Innovation, European Commission, Brussels.

McDonough, W., Braungart, M., 2002. *Cradle to cradle: Remaking the way we make things*. North Point Press.

Mendoza, J.M.F., Gallego-Schmid, A., Azapagic, A., 2019. A methodological framework for the implementation of circular economy thinking in higher education institutions: Towards sustainable campus management, *Journal of Cleaner Production*, 226, pp. 831-844

Murray, R., 2002. *Zero Waste*. Greenpeace Environmental Trust.

ONU, 2015. *Objetivo 12: Garantizar modalidades de consumo y producción sostenibles*. Disponible en: <https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/sustainable-consumption-production/>

Ranjbari, M., Morales-Alonso, G., Carrasco-Gallego, R., 2018. Conceptualizing the sharing economy through presenting a comprehensive framework, *Sustainability*, 10(7), p. 2336

Rogers, D.S., Tibben-Lembke, R.S., 1999. *Going backwards: reverse logistics trends and practices*. Reverse Logistics Executive Council.

Roy, R., 2000. Sustainable product-service systems, *Futures*, 32(3-4), pp. 289-299.

Schirmeister, C.G., Hees, T., Licht, E.H., Mülhaupt, R., 2019. 3D printing of high density polyethylene by fused filament fabrication, *Additive Manufacturing*, 28, pp. 152-159.

SDSN Australia/Pacific, 2017. *Getting started with the SDGs in universities: A guide for universities, higher educa-*

tion institutions, and the academic sector. Australia, New Zealand and Pacific Edition. Sustainable Development Solutions Network – Australia/Pacific, Melbourne.

Siwaporn, T., Vilas, V., Brahmanand, M., Chettyyappan, V., (2017). Greening of a campus through waste management initiatives: Experience from a higher education institution in Thailand, *International Journal of Sustainability in Higher Education*, pp. 203-217.

Stahel, W.R., (2005). The Functional Economy: Cultural & Organizational Change, *International Journal of Performance Engineering*, 2005, 1(2), pp. 121-130.

Stahel, W.R. 2016. The circular economy. *Nature*, 531(7595), pp. 435-438.

Tukker, A., 2004. Eight types of product-service system: eight ways to sustainability? Experiences from SusProNet, *Business strategy and the environment*, 13(4), pp. 246-260.

Tukker, A., 2015. Product services for a resource-efficient and circular economy—a review, *Journal of cleaner production*, 97, pp. 76-91.

Vallaes, F., 2007. *Responsabilidad Social Universitaria. Propuesta para una Definición Madura y Eficiente* (p. 11). Instituto Tecnológico de Monterrey.

Verhoef, L.A., and Bossert, M., 2019. *The university campus as living lab for sustainability – a practitioners guide and handbook*, Delft/Stuttgart, ISBN 978-3-940670-68-7

Waas, T., Verbruggen, A., Wright, T., 2010. University research for sustainable development: definition and characteristics explored. *Journal of Cleaner Production*, 18(7), pp. 629–636.

Yáñez, S., Uruburu, Á., Moreno, A., & Lumbreras, J., 2019. The sustainability report as an essential tool for the holistic and strategic vision of higher education institutions. *Journal of Cleaner Production*, 207, pp. 57–66.

Zhang, N., Williams, I.D., Kemp, S., Smith, N.F., 2011, Greening academia: Developing sustainable waste management at Higher Education Institutions, *Waste Management*, 31 (7), pp. 1606-1616.