

Arquitectura de servicio de impresión 3D para apoyar estrategias de Economía Circular alrededor del reciclaje de plástico en el entorno marítimo-portuario

Julio Garrido Campos^{1*}, Diego Silva Muñiz¹, Blanca Lekube Gazagaetxeberria², Enrique Riveiro Fernandez¹ y Bruno Portela López¹

¹Departamento de Ingeniería de Sistemas y Automática. Universidad de Vigo, {jgarrido, diego.silva.muniz, enriveiro, bruno.portela}@uvigo.es

²Leartiker Polymer R&D, Xemein Etorbidea 12A-1, 48270 Markina-Xemein, Spain, blekube@leartiker.com

Resumen

La basura plástica oceánica, proveniente de la actividad terrestre y marina, representa un gran problema del medio ambiente. Anualmente se acumulan más de 12 toneladas en puertos, orillas, en las profundidades del océano, etc. El proyecto europeo CircularSeas aborda esta problemática mediante la combinación de tecnología de impresión 3D y el uso de residuos plásticos generados por las industrias marítimas-portuarias para, aplicando principios de Economía Circular, desarrollar productos, piezas y componentes ecológicos que sean utilizados por estas industrias. El artículo pretende responder a las preguntas de si la tecnología de impresión 3D puede aportar beneficios al sector marítimo-portuario (donde la fabricación, el prototipado y la personalización de productos no ha sido tradicionalmente su actividad de negocio) y cómo la impresión 3D podría acomodar el plástico reciclado de manera viable y orientada al usuario final de estas industrias. Para ello, este trabajo propone un nuevo entorno de impresión 3D integrado y orientado al usuario, independiente del hardware y adaptable a la materia prima plástica reciclada no estándar procedente de residuos marinos.

Palabras clave: Industrias marítimas, reciclaje, basura plástica oceánica, impresión 3D, tecnologías abiertas.

1 Introducción

Anualmente se generan más de 368 millones de toneladas de plástico en todo el mundo para su uso en distintos sectores como *packaging*, construcción, automóvil, agricultura, etc. [18]. Se estima que 12 millones de toneladas son desechadas al medio marino anualmente [4]. Todo este plástico tiende a acumularse en distintos entornos como en puertos, en la superficie y profundidades del océano, en las

costas e incluso en el hielo del Ártico [5, 17]. Aproximadamente, el 70-80% de esta basura oceánica procede de fuentes terrestres debido a los residuos plásticos urbanos y costeros mal gestionados, como son las botellas de plástico y los envases, entre otros [8]. Aproximadamente 2 millones de toneladas de residuos plásticos marinos provienen de los ríos, principalmente como resultado de una mala gestión de los residuos almacenados en vertederos o vertidos [20]. El otro 20-30% de basura plástica restante proviene de fuentes marinas, principalmente por aparejos y redes de pesca que son perdidos durante las campañas [19].

Esta gran cantidad de plástico acumulado en el mar representa uno de los problemas más graves en el medio ambiente. Por ello, diversas organizaciones han promovido políticas y recomendaciones para reducir el impacto global del plástico en el medio ambiente [9]. En el marco de la Unión Europea (UE), se han puesto en marcha un gran número de medidas que giran en torno a la reducción de residuos plásticos en el medio marino [11]: en 2020, en el marco de la Estrategia de la UE para los Plásticos en la Economía Circular y la Directiva sobre Plásticos de un solo uso, se publicó un informe sobre la estrategia marina y un plan de acción hacia una economía más limpia y competitiva a través de la transición hacia productos reciclados y funcionales de alta calidad.

Por ello, la Unión Europea, a través de sus programas de financiación, promueve proyectos que reduzcan la basura marina [21]. Entre ellos, el proyecto CircularSeas [2], el cual aborda el problema de los residuos plásticos marinos desde una perspectiva conjunta de las industrias de la CE, la impresión 3D y los puertos. Para reducir los residuos plásticos mediante el uso de este proceso de fabricación aditiva, es necesario conocer el alcance de la impresión 3D en el escenario marítimo. La rentabilidad de la impresión 3D en este entorno se basa en la identificación de productos a producir o reparar utilizando estas tecnologías, o con versiones

nuevas y adaptadas de la misma [3]. De esta manera, el proyecto CircularSeas incluye el estudio de la impresión 3D para evaluar si esta tecnología puede ser habilitadora de la economía circular del plástico en las industrias marítimas, con el fin de reciclar plástico para utilizarlo como materia prima y producir nuevos productos eco-innovadores para este entorno marítimo-portuario.

Sin embargo, las empresas y las autoridades portuarias tienen sus particularidades [7]. Aunque se centran en servicios comunes similares a los que se encuentran en otras industrias, las actividades industriales marítimas giran principalmente en torno a la pesca y la construcción naval [6]. Aunque pueden ser altamente tecnológicas, su actividad no es el de la fabricación, y no ven la tecnología de impresión 3D como estratégicamente prioritaria.

Con todo, este artículo pretende responder a la pregunta de si la tecnología de impresión 3D representa una mejora potencial para estos escenarios industriales y empresariales que no estén orientados principalmente a la fabricación de piezas y productos, incluidas las actividades económicas y comerciales relacionadas con el puerto y el mar. En este escenario, estas potenciales mejoras no son tan obvias y demandadas como en otros sectores. Otra pregunta que pretende responder el artículo es cómo la tecnología de impresión 3D actual puede adaptarse y funcionar de manera factible con filamentos reciclados cuando los usuarios no son expertos, una situación que se encuentra comúnmente en el sector marítimos y portuario.

De las encuestas descritas en la sección 2, se obtiene una serie de requisitos para que la impresión 3D sea introducida en las industrias marítimas. Uno de ellos es el uso de aplicaciones sencillas para el usuario final, generalmente sin nociones de impresión 3D. Por ello, el artículo se centra en resolver el problema de la adaptación de las aplicaciones 3D de forma válida para usuarios no expertos, considerando tanto el uso de las aplicaciones como su mantenimiento y parametrización. El artículo define en la sección 3 un nuevo entorno integrado y orientado al usuario que utiliza tecnologías abiertas y económicamente viables como se muestra en la sección 4. La sección 5 presenta los resultados de los experimentos realizados para evaluar las dos principales estrategias propuestas. El artículo termina con una sección de conclusiones.

2 Fase de encuestas

En el marco proyecto CircularSeas se ha realizado una fase inicial de encuestas a una serie de industrias marítimas colaboradoras (*stakeholders*): pesquerías, astilleros, autoridades portuarias, etc. Con ello se

pretende analizar la tipología del plástico generado por estas industrias y evaluar la estrategia para la introducción de la impresión 3D en el sector marítimo. En un área portuaria compleja y amplia, como la estudiada en este artículo, se seleccionaron 35 empresas e instituciones relevantes para colaborar con la investigación. A continuación se presentan los resultados principales.

2.1 Identificación de residuo plástico generado

La primera sección de la encuesta se centra en la identificación de los residuos plásticos generados por los grupos de interés. De las empresas encuestadas, la generación anual de plástico total es de 2828,76 toneladas (Tn) de plástico, eliminando los residuos que, por su naturaleza y contaminación, resultan costosos de reciclar, la cantidad final apta para reciclar es de 2519,52 Tn. La Figura 1 especifica las cantidades totales de los principales residuos plásticos identificados y relaciona cada residuo con el tipo de plástico identificado.

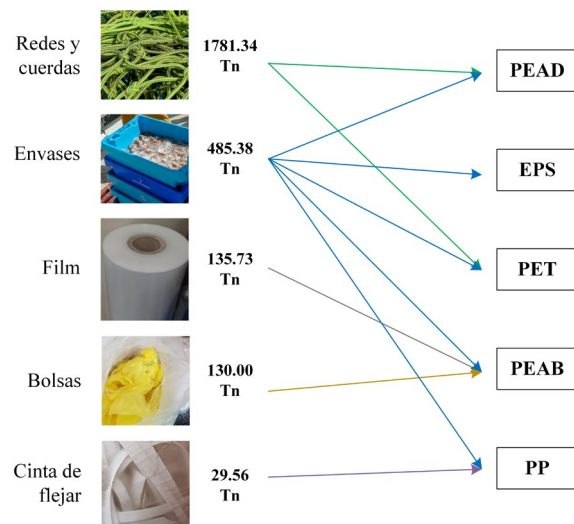


Figura 1: Residuos y tipo de plástico identificado.

Tabla 1: Gestión actual del residuo.

Residuo	Cadena de reciclaje
Redes y cuerdas	Venta a empresa de reciclaje de plástico
Envases	Contrato con empresa privada para recogida, transporte y gestión de los residuos.
Films	RSU o venta a empresa de reciclaje de plástico.
Bolsas	Compactado y gestionado como RSU.
Cinta de flejar	RSU o venta a empresa de reciclaje de plástico.

Actualmente, las empresas llevan a cabo políticas de reciclaje de plásticos en su actividad comercial, en

mayor o menor medida (como se puede ver en la Tabla 1): vendiéndolo, siendo recogido por el puerto o, en último caso, desechándolo como residuo sólido urbano (RSU).

2.2 Introducción de la impresión 3D en el entorno marítimo-portuario

La elección de la impresión 3D está en la génesis del proyecto dado que se trata de una tecnología económica en comparación con otras tecnologías de fabricación que utilizan materiales plásticos [13]. Para evaluar la potencial introducción de la impresión 3D en las industrias marítimas, se realizaron las siguientes preguntas:

- P1. ¿Estaría la empresa interesada en el uso de una impresora 3D como soporte de su actividad empresarial?
- P2. ¿Identifica algún producto plástico en su actividad susceptible de ser realizado con plástico reciclado?
- P3. ¿Identifica algún producto no plástico en su actividad susceptible de ser realizado con plástico reciclado?
- P4. Para el reemplazo de estos productos plásticos y no plásticos, ¿se estaría en condiciones de imprimir la pieza mediante recursos propios (diseño, configuración e impresión)?
- P5. Si se considera interesante fabricar piezas en impresión 3D, ¿por qué motivos decidiría utilizar plástico reciclado en lugar de pellets o bobinas comerciales?
- P6. De acuerdo a su actividad comercial, ¿estaría interesado/necesita que la impresión 3D fuese realizada a bordo?

La Figura 2 muestra las repuestas recibidas por parte de los *stakeholders* a las preguntas P1, P4, P5 y P6. Estas industrias, tradicionalmente reacias al cambio [45], acogen con satisfacción la introducción de la impresión 3D para respaldar su negocio (el 70% está de acuerdo), aunque, para determinadas piezas, se escoja una tecnología más apropiada para la fabricación, como moldeo por inyección.

La Tabla 2 resume los principales productos plásticos (P2) o libres de plástico (madera, metal, etc., P3) que podrían ser sustituidos por plástico reciclado. De entre ellos, se identificaron productos como los soportes para rodamientos, tapas, o remaches, susceptibles de ser fabricados por impresión 3D por cuestiones de demanda y tamaños. Para otros, como las botellas, films, etc. la fabricación mediante inyección o extrusión resulta más apropiada. Con las preguntas P2 y P3 se identificaron también otro tipo de producto a fabricar por impresión 3D; prototipos (en general). La cuarta pregunta (P4, Figura 2)

muestra que las empresas descatan la necesidad de un servicio externo (SE) que lleve a cabo la gestión del proceso de fabricación (60% de las respuestas), desde diseño hasta la acción previa a la impresión, ya que no cuentan con personal cualificado en fabricación aditiva. Además, el 80% de los encuestados (SE+SI en P4) apuntan que necesitarían una infraestructura económica y fácil de usar.

Las repuestas a la quinta pregunta (P5, Figura 2) muestra un claro interés de las industrias marítimas por utilizar plástico reciclado (70%), ya sea por obtener ventajas de márketing o por el hecho de utilizar material reciclado para reducir el impacto medioambiental. El otro 30%, o no lo usaría de ninguna manera (20%) o solamente utilizaría plástico reciclado si es por obligación legislativa. Para finalizar, el 20% de las empresas les resultó interesante llevar a cabo la impresión de piezas a bordo (P6, Figura 2).

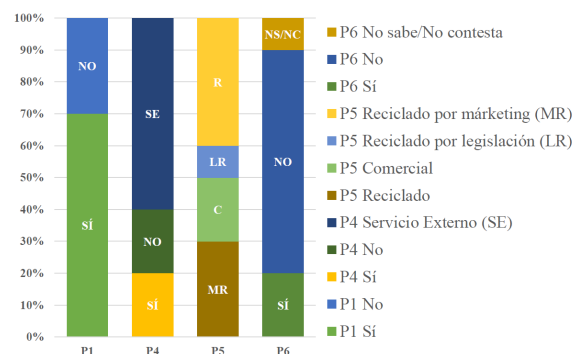


Figura 2: Respuestas a las preguntas P1, P4, P5, P6.

Tabla 2: Principales productos identificados.

P2	P3
Piezas de repuesto Topes de rodillos Tapas Soportes de rodamientos Film y bolsas Gradillas y soportes Botellas y envases	Palé (modular) Pantalán (modular) Piezas de refuerzo Remaches

3 Entorno integrado de impresión 3D

A partir de estas encuestas se puede identificar que la impresión 3D podría ser una tecnología habilitadora para disminuir el uso de plástico que proviene de fuera de la industria marítima, fomentando el reciclaje de plástico, así como la Economía Circular.

Ante una gran variabilidad en el tipo de plástico a reciclar, con diferentes cantidades, diferentes calidades, etc., el proceso de reciclaje puede resultar mucho más complejo y costoso que centrarse

únicamente en un tipo de residuo-material. Ante este escenario, existen varias estrategias.

Una de ella consiste en intentar asimilar las calidades de los filamentos reciclados con los filamentos de plástico comerciales para la impresión 3D [14]. Sin embargo, esto puede conducir a un proceso más caro, en el que se desecha una gran cantidad de residuos plásticos que no cumplen con las propiedades de los plásticos comerciales. Además, los sistemas de software de impresión 3D están preparados para trabajar con un conjunto finito y específico de referencias plásticas.

Otra alternativa es no intentar generar filamentos de plástico con “características estándar” sino permitir una variabilidad ilimitada de calidades o parámetros. Sin embargo, para esto, las aplicaciones de impresión 3D deberían poder trabajar con una variedad ilimitada de calidades plásticas y no con características estándar. Se propone una estrategia basada en estándares abiertos y tecnologías que permiten la "capacidad de adaptación" más universal y rentable posible para lograr ambos requisitos (materiales y aplicaciones económicos y fácilmente desplegables).

Las industrias marítimas y la actividad portuaria presentan desafíos específicos, ya que, como se ha mencionado anteriormente, los usuarios tienen un conocimiento limitado de las técnicas de impresión 3D y existe la necesidad de adaptar el sistema a los plásticos reciclados que provienen de una amplia variedad de fuentes y tienen una variedad de propiedades. Las encuestas destacaron la necesidad de un “procedimiento de usuario” o “servicio” simple e intuitivo para introducir la impresión 3D en el sector marítimo, que, aunque tecnificado, no cuenta con personal cualificado en fabricación aditiva y reciclaje de plástico.

La solución propuesta se basa en: un servicio local donde cada nodo, empresa o entidad puede tener la impresora de su elección, llevando a cabo la impresión 3D en sus instalaciones, y un proveedor de servicios externo, que también produce filamentos reciclados y ajusta la generación del código de fabricación adaptado. El diseño de arquitecturas integradas para gestionar esta variedad de tecnologías, soluciones de aplicación, etc. ya ha sido propuesto en la literatura [10, 15], aunque no tienen en cuenta el problema adicional de tratar con materiales no estándar y su manipulación por usuarios no expertos. Con este enfoque, los usuarios finales solo necesitan una interfaz en sus dispositivos inteligentes (o computadora personal) donde pueden seleccionar la pieza a imprimir (el modelo virtual de la pieza) y el filamento para su impresora local. Luego, el servicio integrado se encarga del resto del

proceso. Como se observa en la Figura 3, la arquitectura propuesta está compuesta por:

1. Servicio local. Realiza la impresión 3D de la pieza. Consiste en una impresora 3D comercial que procese código G Marlin/Reprap y que permita la gestión remota del proceso, pudiendo estar este mecanismo embebido en la impresora 3D o con un elemento externo conectado al puerto USB.
2. Servicio en la nube. Es el encargado de realizar el proceso de trozado de un modelo 3D para la generación de código máquina automática, y de la gestión de los datos del material y el stock de filamentos en el nodo. Servicio *back-end* que el proveedor de servicios ejecuta en la nube.
3. Aplicación de usuario. Interfaz sencilla: selección del modelo a imprimir y los requisitos básicos de impresión (calidad, material y soporte), así como la gestión básica de la operación en la impresora 3D.

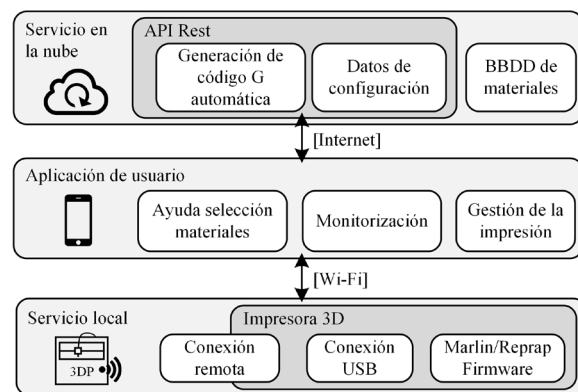


Figura 3: Arquitectura propuesta.

La selección de los modelos virtuales de piezas (en formato STL) a realizar se seleccionará a través de un repositorio local del nodo de usuario, del propio proveedor de servicios o mediante alguna aplicación de escaneo 3D.

4 Implementación del entorno integrado de impresión 3D

En sus respuestas a la encuesta, las empresas del entorno portuario coincidieron en destacar la facilidad de uso como uno de los requisitos para la implementación efectiva de la impresión 3D en el sector. El servicio de impresión debe eximir a los usuarios no expertos de otras responsabilidades, como el mantenimiento de aplicaciones de software, la generación de códigos de máquina, la selección de parámetros de expertos, etc. Dado que la mayoría de las aplicaciones de impresión 3D funcionan con

materiales preestablecidos, cambiar a otro paradigma con muchos tipos diferentes de materiales y calidades requiere realizar cambios en estas aplicaciones. Las aplicaciones abiertas facilitan esta adaptación. Sin embargo, lo más importante es que el proceso es casi transparente para el usuario. La arquitectura integrada y la implementación de un “proceso de guía del usuario” para la selección de materiales como se presenta en esta sección cumplirían con el requisito de traducir las calidades de plástico masivo en servicios de impresión estándar.

4.1 Servicio local

Esta parte del entorno integrado se diseña con el requisito de lograr un proceso compatible con la mayoría de las impresoras 3D comerciales de medio/bajo coste, por lo que se utiliza un protocolo que abierto para la comunicación entre la aplicación del usuario final y las impresoras 3D. Esto es posible con Octoprint, un servicio API-REST (*host*) que permite dotar de conectividad remota a cualquier impresora 3D aprovechándose de la conectividad USB con esta. Para la implementación de la arquitectura presentada, se ha utilizado una impresora 3D Ultimaker 2+. El servicio Octoprint se ejecuta en una Raspberry Pi y actúa como un servidor de impresión en una red local capaz de atender las solicitudes de un cliente y responder en consecuencia. Además, este *host* es el elemento clave en la configuración del servicio local, ya que la impresora, los sensores externos y una aplicación interactúan con él.

Cuando se recibe una solicitud para iniciar un nuevo proceso de impresión con este protocolo, todos los comandos de movimiento (código G) para un archivo seleccionado se envían línea por línea a través de la comunicación USB. Durante este proceso se controlan las trayectorias, la temperatura de la extrusora y el estado actual de fabricación, e incluso se pueden obtener imágenes en streaming de la plataforma de impresión.

4.2 Servicio en la nube

El Servicio en la nube surge de la necesidad de evitar que el usuario final maneje las herramientas y configuraciones necesarias para imprimir, como el troceado de modelos 3D o la construcción de código G. Además, el uso de materiales reciclados aumenta la complejidad de la correcta generación del código G, ya que es necesario manipular parámetros como velocidad, enfriamiento, temperaturas de fabricación, retracciones del extrusor, etc., que dependen de las propiedades del filamento. Es por eso que un proveedor externo tendría que dar este servicio y mantener actualizada la información del material a medida que haya nuevos filamentos disponibles y de

ajustar las propiedades de configuración del filamento para el proceso de corte en consecuencia.

Este servicio propuesto funciona como una API REST y cumple un doble propósito: proporcionar las herramientas para la generación automática y personalizada de códigos G y servir como enlace a la base de datos de materiales donde se almacenan las propiedades de los filamentos estándar y reciclados. Está formada esencialmente de dos elementos: el núcleo de configuración (proceso de creación del archivo de configuración) y el núcleo de troceado/*slicing* (proceso CAM).

Partiendo de los parámetros seleccionados (impresora, filamento y calidad) se buscan en los paquetes de configuración y se genera un único archivo. Este archivo y el modelo STL son posteriormente utilizados por el "núcleo de troceado" para generar el código máquina (archivo de código G). Para realizar la generación de código máquina de manera automática se ha utilizado el CAM de código abierto, PrusaSlicer, el cual habilita su ejecución mediante consola de comandos para configurar las especificaciones de fabricación. Estas especificaciones se componen de datos clave-valor y pueden referirse a tres entidades diferentes: impresora 3D (diámetro de boquilla, volumen de impresión, etc.), filamento (temperatura de la boquilla y de la cama caliente, enfriamiento, etc.) y perfil de calidad (altura de capa, espesor de pared, etc.) [22].

4.3 Aplicación de usuario final

El primer objetivo de la aplicación de usuario es manejar las operaciones básicas del proceso de producción con el servidor de impresión. Además, cuando se va a ejecutar un nuevo trabajo, se solicita al servicio en la nube que genere un nuevo código G, como se mencionó anteriormente. La aplicación al usuario final se ha desarrollado con el framework multiplataforma Xamarin.Forms dentro de NET Standard 2.0 para brindar mayor flexibilidad y adaptabilidad a las industrias marítimas. Dentro del marco de servicio integrado, esta aplicación es un acercamiento al patrón MVVM (Model-View-ViewModel) de arquitecturas de diseño de software [16]. La capa de presentación de la aplicación consta, principalmente, de las siguientes páginas:

- Sección de panel de control: monitorización de proceso y acciones básicas (inicio, parada, etc.).
- Sección de *slicing*: Configuración de preparación de la impresión: se escoge entre los materiales disponibles y perfiles de calidad disponibles para esa impresora. Posteriormente, tras adjuntar el modelo 3D de la pieza, estos datos se envían al servicio en la nube, que retorna el fichero de código máquina a la

aplicación. El Servicio Local es el responsable de realizar la fabricación de la pieza final a partir del código G generado.

- Sección de ayuda a la selección de material: disponible en la página de *slicing*. Lanza un asistente de selección de material para ayudar al usuario a seleccionar el material más adecuado.

La dificultad aumenta cuando se utilizan materiales reciclados, ya que sus propiedades se ven comprometidas incluso por los ciclos de reciclaje que han sufrido [12]. La arquitectura propuesta tiene esto en cuenta a través de un sistema de recomendación basado en el método TOPSIS [1], que permite a un usuario no experto trabajar con una gran variedad de material reciclado y seleccionar el más adecuado para la fabricación de una pieza. Este método establece un ranking entre las alternativas de materiales disponibles tras seleccionar el grado requerido de influencia de una propiedad de material (dureza, acabado, etc.).

5 Resultados

En este apartado se presentan los experimentos realizados para evaluar las dos principales estrategias propuestas en el artículo en cuanto al enfoque del reciclaje y la adaptación tecnológica de los sistemas de impresión 3D.

5.1 Reciclaje de residuo plástico: flejes

Se realizaron experimentos produciendo filamento con cinta de flejado reciclada con el fin de poder hacer una valoración de las propiedades de este residuo post-consumo.



Figura 4: Desarrollo del experimento.

La cinta de fleje se limpió solo con agua, debido a las impurezas menores, y posteriormente se desmenuzó (Figura 4 paso 1). El resultado es un material con una densidad aparente muy baja, que es difícil de introducir correctamente en la extrusora. Por esta razón, es difícil producir un filamento con un diámetro constante. En este caso, el primer filamento se vuelve a triturar para obtener un mejor granulado para alimentar la línea de filamentos, como se puede ver en la Figura 4, paso 2. Las pruebas de impresión se llevaron a cabo con una geometría estándar (parte central de la muestra de prueba ISO 527). Se detectó un fuerte efecto de deformación (Figura 4, paso 6). Sin embargo, este es un efecto ya conocido para el polipropileno estándar debido a las propiedades intrínsecas de contracción térmica de este material semicristalino. Por tanto, no es un efecto que pueda atribuirse al material reciclado. El uso de aditivos para mejorar la flexibilidad del material y reducir su coeficiente de contracción general puede mejorar la capacidad de impresión del PP (Figura 4, paso 7).

Estos ensayos indican el potencial de utilizar materiales de PP a base de cintas de fleje con alto contenido de reciclaje para la impresión 3D, siempre que se realicen los desarrollos de material adecuados y se ajusten los parámetros del proceso al material, como se propone en el entorno integrado de impresión 3D.

5.2 Comparación de entornos de impresión 3D

Tomando el experimento anterior, se hizo la comparación entre utilizar un entorno de impresión clásico y el propuesto en este artículo, imprimiendo ambos la misma pieza con material reciclado no estándar (fleje).

Los pasos a seguir para que un usuario configure la impresión en un entorno clásico serían los siguientes: elegir archivo de pieza, crear una nueva configuración de perfil; establecer, al menos, las configuraciones de temperatura, enfriamiento, velocidad de deposición, retracción, altura de capa, densidad de relleno, ala y velocidad de impresión; generación de código G; guardar el archivo en una memoria flash, insertarlo en la impresora 3D, buscar el fichero e imprimir. Deben establecerse más de 38 variables, las cuales requieren, generalmente, de conocimiento experto. El proceso tuvo una duración aproximada de 15 min para llevar a cabo la primera impresión, sin introducir ninguna variable de manera errónea.

Por otra parte, utilizando ahora el entorno propuesto en este artículo, los pasos consisten en: escoger el archivo de pieza a fabricar, material y calidad para imprimir la pieza, y presionar la acción de imprimir. Las configuraciones de material y calidad son

realizadas por el proveedor de servicios a través del Servicio en la nube, externalizando los pasos más técnicos para el usuario y dejando que este tome solo, aproximadamente, cuatro pasos y 2 minutos para poner en marcha la impresión.

Por lo tanto, el número de operaciones y el tiempo necesario para realizar un trabajo de impresión son mucho menores en el caso del entorno de impresión 3D integrado, como muestra la prueba.

6 Conclusiones

Los datos de la encuesta sobre los tipos y la cantidad de residuos plásticos han demostrado que hay mucho plástico para reciclar, aunque en distintos productos y de distintos tipos. Se debe hacer un esfuerzo no solo para aumentar la cantidad total de basura plástica que se recicla, sino también para tratar de reciclar de manera efectiva tantos tipos de plásticos como sea posible. La alternativa podría centrarse en poner el esfuerzo de reciclaje en un solo tipo de plástico, ignorando los demás. Sin embargo, esto no seguiría los principios de la Economía Circular. Es por eso que este trabajo considera importante facilitar, en la medida de lo posible, la inclusión de una mayor gama de plásticos en el esfuerzo de reciclaje. De esta forma se trata de, no solo reciclar tantos tipos diferentes de residuos como sea posible, sino también ofrecer al usuario final una amplia variedad de opciones de materiales reciclados para cubrir sus necesidades.

El artículo responde a la pregunta sobre cómo la tecnología de impresión 3D actual puede adaptarse y funcionar de manera sencilla con filamentos hechos de plástico reciclado con una amplia gama de tipos y calidades, común en entornos de puertos marítimos y oceánicos. Para ello, se propone una nueva estrategia basada en permitir una variabilidad ilimitada de calidades o parámetros en los plásticos reciclados, sin tener que generar filamentos con “características estándar”. De esta forma, las aplicaciones de impresión 3D deben poder trabajar con una variabilidad ilimitada de calidades plásticas y sin características regulares, de una forma transparente y sencilla para usuarios no expertos (no expertos en materiales o tecnología de impresión 3D), donde la tecnología automáticamente se adapta a cualquier plástico.

El entorno presentado implementa esta nueva estrategia y ha sido probado en una implementación de prototipo. Se ha comprobado que se pueden llevar a cabo impresiones con plástico reciclado a partir de basura generada por las industrias marítimas y el número de operaciones y el tiempo necesario para realizar un trabajo de impresión son mucho menores en el caso del entorno de impresión 3D integrado.

Agradecimientos (10 pts, negrita)

Esta investigación fue financiada parcialmente por el Fondo Europeo de Desarrollo Regional (FEDER): Programa Interreg Atlantic Area, subvención número “EAPA_117/2018”. Los autores expresan su más sincero agradecimiento a los *stakeholders* del nodo de Vigo por su contribución.

English summary

3D PRINTING ARCHITECTURE TO SUPPORT CIRCULAR ECONOMY STRATEGIES AROUND PLASTIC RECYCLING IN THE MARITIME-PORT ENVIRONMENT.

Abstract

Coming from both on-land and marine activities, marine plastic debris represents a major environmental problem. Annually, more than 12 tons accumulate in ports, on shores, in the depths of the ocean, etc. The European CircularSeas project addresses this problem by combining 3D printing technology, Circular Economy principles and the use of plastic waste generated by the maritime-port industries. The goal is to develop eco-friendly products, parts and components that will be used by these industries. The article aims to answer whether 3D printing technology can bring benefits to the maritime-port sectors, where manufacturing, prototyping and customization of products have not traditionally been its business activity. Another question to answer is how 3D printing could accommodate recycled plastic in a feasible and user-oriented way in these industries. To do this, the article proposes a new integrated 3D printing framework adaptable to recycled plastic feedstock from marine waste and user-oriented.

Keywords: Maritime industries, recycling, marine plastic waste, 3D printing, open-source technologies.

Referencias

- [1] Ceballos B, Lamata MT, Pelta D, Sanchez JM (2013) El método topsis relativo vs. Absoluto. Recta
- [2] CircularSeas (2020) CircularSeas: Turning ocean plastic waste into green products for maritime industries. <https://circularseas.com/>.
- [3] Green Ship of the Future (2018) 3D print in the maritime industry from concept to implementation. GSF, Copenhagen, Denmark.

- [4] IUCN (2020) The marine plastic footprint : towards a science-based metric for measuring marine plastic leakage and increasing the materiality and circularity of plastic processing between 3D printing, injection molding and machining manufacturing technologies. *Procedia Manufacturing* 41:280–287. doi: 10.1016/j.promfg.2019.09.010
- [5] Kanhai LDK, Gardfeldt K, Krumpfen T, Thompson RC, O’Connor I (2020) Microplastics in sea ice and seawater beneath ice floes from the Arctic Ocean. *Scientific Reports* 10:5004. doi: 10.1038/s41598-020-61948-6
- [6] Kostidi E, Nikitakos N (2017) Exploring the Potential of 3D Printing of the Spare Parts Supply Chain in the Maritime Industry. In: *Safety of Sea Transportation*. CRC Press, London, UK, pp 171–178
- [7] Kostidi E, Nikitakos N (2018) Is It Time for the Maritime Industry to Embrace 3d Printed Spare Parts? *TransNav* 12:557–564. doi: 10.12716/1001.12.03.16
- [8] LI WC, TSE HF, FOK L (2016) Plastic waste in the marine environment: A review of sources, occurrence and effects. *Science of The Total Environment* 566–567:333–349. doi: 10.1016/j.scitotenv.2016.05.084
- [9] Löhr A, Savelli H, Beunen R, Kalz M, Ragas A, Van Belleghem F (2017) Solutions for global marine litter pollution. *Current Opinion in Environmental Sustainability* 28:90–99. doi: 10.1016/j.cosust.2017.08.009
- [10] Mai J, Zhang L, Tao F, Ren L (2016) Customized production based on distributed 3D printing services in cloud manufacturing. *Int J Adv Manuf Technol* 84:71–83. doi: 10.1007/s00170-015-7871-y
- [11] Matthews C, Moran F, Jaiswal AK (2021) A review on European Union’s strategy for plastics in a circular economy and its impact on food safety. *Journal of Cleaner Production* 283:125263. doi: 10.1016/j.jclepro.2020.125263
- [12] Mikula K, Skrzypczak D, Izydorczyk G, Warchoł J, Moustakas K, Chojnacka K, Witek-Krowiak A (2020) 3D printing filament as a second life of waste plastics—a review. *Environmental Science and Pollution Research*. doi: 10.1007/s11356-020-10657-8
- [13] Minguella-Canela J, Planas SM, Ayats JRG, López MA de los S (2019) Study and comparison of the different costs’ schema associated to geometry, material and processing between 3D printing, injection molding and machining manufacturing technologies. *Procedia Manufacturing* 41:280–287. doi: 10.1016/j.promfg.2019.09.010
- [14] Pakkanen J, Manfredi D, Minetola P, Iuliano L (2017) About the Use of Recycled or Biodegradable Filaments for Sustainability of 3D Printing. In: Campana G, Howlett RJ, Setchi R, Cimatti B (eds) *Sustainable Design and Manufacturing 2017*. Springer International Publishing, Cham, pp 776–785
- [15] Paszkiewicz A, Bolanowski M, Budzik G, Przeszłowski Ł, Oleksy M (2020) Process of Creating an Integrated Design and Manufacturing Environment as Part of the Structure of Industry 4.0. *Processes* 8:1019. doi: 10.3390/pr8091019
- [16] Petzold C (2016) *Creating Mobile Apps with Xamarin.Forms*
- [17] Pham CK, Ramirez-Llodra E, Alt CHS, *et al.* (2014) Marine Litter Distribution and Density in European Seas, from the Shelves to Deep Basins. *PLoS ONE* 9:e95839. doi: 10.1371/journal.pone.0095839
- [18] PlasticsEurope (2020) *Plastics – the Facts 2020*. Plastics Europe: Association of Plastics Manufacturers
- [19] Ritchie H, Roser M (2018) *Plastic Pollution. Our World in Data*
- [20] Schmidt C, Krauth T, Wagner S (2017) Export of Plastic Debris by Rivers into the Sea. *Environ Sci Technol* 51:12246–12253. doi: 10.1021/acs.est.7b02368
- [21] SHEPHERD I (2017) European Projects on marine litter. In: *Maritime Forum - European Commission*. <https://webgate.ec.europa.eu/maritimeforum/en/node/4025>.
- [22] *Slic3r Manual – Command Line Usage*. <https://manual.slic3r.org/advanced/command-line>.



© 2021 by the authors. Submitted for possible open access publication under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution CC BY-NC-SA 4.0 license (<https://creativecommons.org/licenses/by-ncsa/4.0/deed.es>).