

04-015

DESIGN OF A FACILITY FOR THE COLLECTION OF PLASTIC WASTE IN SEAS AND OCEANS

Ballester Bayarri, Laura⁽¹⁾; *Arnal Arnal, José Miguel*⁽²⁾; *García Fayos, Beatriz*⁽¹⁾;
Sancho Fernández, María⁽¹⁾

⁽¹⁾ UPV, ⁽²⁾ Universitat Politècnica de València

In the present work, an analysis of the problems generated by the use of plastic in society, as well as its environmental impact on seas and oceans, is carried out. Subsequently, the current techniques for minimizing the problem are reviewed and the design of a technical system for the collection of this waste is proposed. For the design, the different industrial equipment and special collection techniques on the market are taken into account. The collection system is based on an "articulated spoon" capable of collecting 50 m³ of plastic/for each dive, anchored to the bow and sides, composed of bars and 40x40 mm metal fabric of mesh light. Once on the boat, the plastic is discharged, sorted, crushed, separated, subjected to a drying and pressing process and stored in 20-foot containers. In the design, the type of plastic found in marine accumulations, their dimensions, their possible degradation by waves, sea currents and ultraviolet radiation, has been considered. This design is intended to be an alternative to existing collection systems, with greater capacity and with greater resistance to marine conditions.

Keywords: plastics; oceans; seas; system; waste

DISEÑO DE UNA INSTALACIÓN PARA LA RECOGIDA DE RESIDUOS PLÁSTICOS EN MARES Y OCÉANOS

En el presente trabajo, se realiza, un análisis de la problemática que genera el uso del plástico en la sociedad, así como su impacto medioambiental en mares y océanos. Posteriormente, se revisan las técnicas actuales para la minimización del problema y se plantea el diseño de un sistema técnico de recogida de estos residuos. Para el diseño se tiene en cuenta los diferentes equipos industriales y técnicas de recogida especiales existentes en el mercado. El sistema de recogida se basa en una "cuchara articulada" capaz de recoger 50 m³ de plástico/por cada inmersión, anclado a la proa y a los laterales, compuesto por barras y tela metálica de 40x40 mm de luz de malla. Una vez en el barco, el plástico se descarga, se clasifica, se tritura, se separa, se somete a un proceso de secado y prensado y se almacena en contenedores de 20 pies. En el diseño, se ha tenido en cuenta, el tipo de plástico que se encuentra en las acumulaciones marinas, sus dimensiones, su posible degradación por oleaje, corrientes marinas y radiación ultravioleta. Este diseño pretende ser una alternativa a los sistemas existentes de recogida, de mayor capacidad y con mayor resistencia a las condiciones marinas.

Palabras clave: plásticos; océanos; mares; sistema; residuos

Correspondencia: José Miguel Arnal Arnal jarnala@iqn.upv.es



©2020 by the authors. Licensee AEIPRO, Spain. This article is licensed under a Creative Commons Attribution-NonCommercial-NoDerivatives 4.0 International License (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>).

1. Introducción

Los materiales plásticos como tal no irrumpieron en el mundo industrial hasta el siglo XIX. Es a partir de este momento, cuando se origina la industria plástica, y el plástico empezó a estar presente en todos los ámbitos de la vida cotidiana.

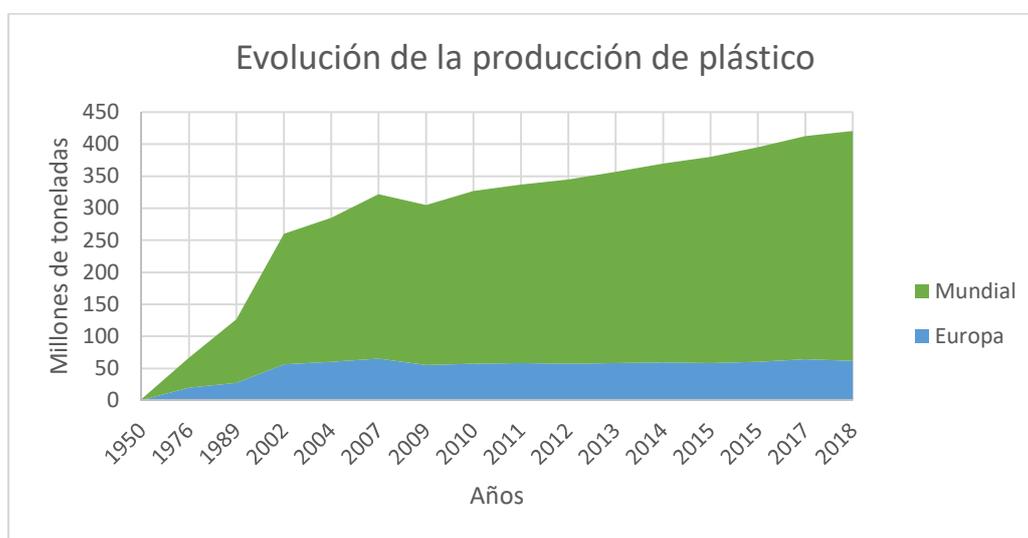
Su elevado uso a nivel mundial, su baja biodegradabilidad y escaso reciclaje (del 9 %) son el origen de la problemática asociada a su uso lo que provoca la generación de un gran volumen de residuos y un importante impacto ambiental. Este trabajo expondrá con detalle la situación actual en relación al plástico y su evolución, así como las tecnologías actuales para disminución de su impacto medioambiental en mares y océanos, para realizar, por último, la propuesta de un nuevo sistema de recogida.

1.1. Uso y consumo de plástico en la sociedad actual

El plástico es uno de los materiales más presentes en la actualidad, además, de abarcar una gran familia de materiales. Su producción se ha disparado en los últimos 50 años, en 2016 se alcanzaron los 335 millones de toneladas de plástico producidas.

Esta cifra es bastante preocupante, ya que, con el ritmo de crecimiento actual, se estima que para 2020, se producirá un 900% más de plástico que en 1980, lo que supondrá que se superen los 500 millones de toneladas de plástico producidos al año. En la Figura1, se muestra la evolución de la producción de plástico a lo largo de los últimos 50 años, dónde se puede observar la tendencia de crecimiento exponencial.

Figura 1: Evolución de la producción de plástico (Mateo, 2013) (PlasticsEurope, 2019)



1.2. Problemática e impacto ambiental

El principal problema medioambiental asociado al residuo que genera el uso de plástico es su baja biodegradabilidad. El tiempo que tarda en degradarse un plástico es variable, ya que depende del tipo de plástico y las condiciones ambientales a las que está sometido, es decir, la luz solar, el oxígeno, agentes mecánicos, etc.

El agente principal que provoca la degradación es la radiación ultravioleta. En el caso de los plásticos que llegan a los océanos, en su degradación influye también la acción del oleaje

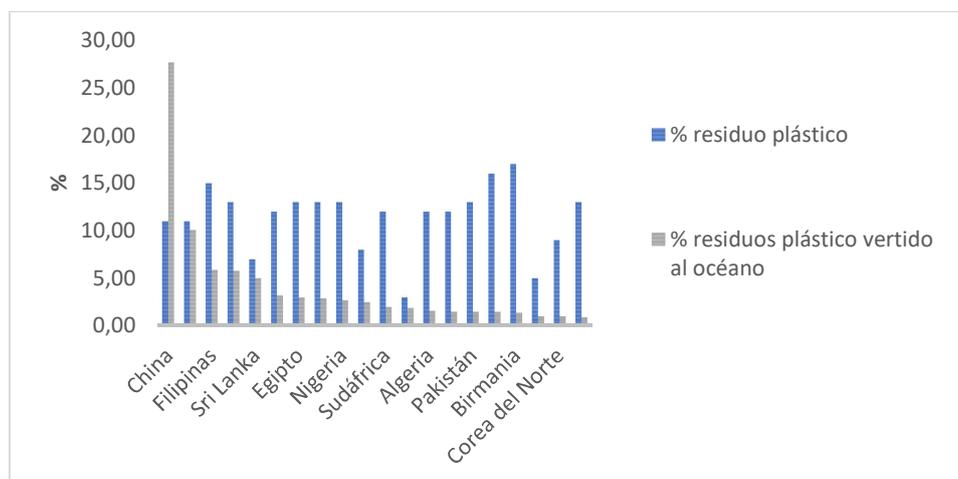
que acelera el proceso de degradación, generando la fragmentación del plástico en trozos más pequeños y generando así, los microplásticos (Greenpeace, 2015).

Un ejemplo del impacto ambiental de estos plásticos es que actualmente existen cinco islas de plástico repartidas a lo largo del planeta; Pacífico norte y sur, Atlántico norte y sur, y por último el océano Índico. Las islas están formadas por una mezcla de residuos plásticos y microplásticos, llegando a alcanzar la más grande los 1,6 millones de km², es decir, casi tres veces el tamaño de Francia. Aunque se habla de “sopas” de plásticos, las corrientes oceánicas son las encargadas de distribuir los residuos plásticos por todo el planeta (Briggs, 2018).

1.3. Contaminación por plástico en el medio marino

Hay numerosas vías por las que los plásticos llegan al océano, tales como la simple acción del viento y la lluvia o simplemente porque no se han desechado correctamente. De esta manera, pueden llegar a ríos o cualquier otro tipo de vía fluvial y acabar en el mar, si no se procede a una retirada previa. Además, de todas estas vías, se pueden encontrar residuos plásticos en el mar procedentes de vertidos de basura deliberados o de vertidos accidentales desde barcos. Se estima que el 80% de los residuos plásticos que se encuentran en el mar provienen de tierra, mientras que solamente el 20% restante provienen de la actividad marítima (Greenpeace, 2015). En la Figura 2, se muestra una comparativa entre el porcentaje de residuos plásticos que genera cada país y el porcentaje de estos que finalmente es vertido al mar.

Figura 2: Cantidad de residuos estimados en 2010 para los 20 países con mayor porcentaje de vertido (Jambeck et al., 2015)



Uno de los problemas asociados al vertido de residuos plásticos es la generación de microplásticos, es decir, fragmentos inferiores a los 5 mm y los nanoplásticos (menos de 100 nm de diámetro). Su impacto ambiental es especialmente destacado en los océanos ya que pueden afectar de manera sustancial a la biodiversidad marina, al transferir sustancias químicas, como contaminantes orgánicos persistentes, (Generalitat de Catalunya. Departamento de Territorio y Sostenibilidad, 2014), o como los disruptores endocrinos (Frederic Gallo, 2018). Actualmente existen diversas técnicas de eliminación de los residuos plásticos, que pueden ser aplicadas en las costas como en alta mar. Estas son:

Tabla 1. Comparación de las técnicas de eliminación de residuos presentes.

	Ventajas	Inconvenientes
The Ocean Clean Up (The Ocean Cleanup, 2013)	-Equipamiento tecnológico -Estructura adaptable -Gran poder de retención (microplásticos) -Respetuoso con el medio ambiente	-Material poco resistente -Dispersión de residuos
Seawater (eVolo,2014)	-Equipamiento tecnológico avanzado -Tratamiento in situ -Retención de microplásticos	-Elevado impacto en la fauna -Estructura inestable -Gran inversión económica
Upcycling the Oceans (Ecoembes, 2015)	-Aprovechamiento de barcos pesqueros -Respetuoso con el medio ambiente -Reciclaje de productos	-No específico para recogida de plásticos -No tratamiento de todos los residuos

2. Objetivos

El objetivo principal de este proyecto es el diseño de una instalación para la recogida de residuos plásticos en mares y océanos acoplado a un buque, que se encargará de recoger los plásticos superiores a 40 mm. de tamaño, teniendo en cuenta para el diseño el estado del arte actual de los sistemas de recogida y los fallos de sistemas anteriores ya implementados.

Los objetivos específicos (OE) de este trabajo se enumeran a continuación:

OE-1-Estudiar la cantidad de residuos plásticos presentes en mares y océanos, los materiales más comunes y el tamaño de estos.

OE-2- Elegir el barco con dimensiones adecuadas para albergar la instalación de recogida.

OE-3-Selección de los materiales constructivos.

OE-4-Selección del sistema de clasificación y tratamiento de residuos plásticos una vez han sido recogidos.

OE-5 -Diseño de la distribución en planta del sistema de clasificación.

3. Metodología

En el apartado de metodología se describe el procedimiento seguido para llevar a cabo el diseño de un sistema de recogida de residuos plásticos en el mar. Los pasos son los siguientes:

i) Estudio de la materia prima a recoger

Se realizará un estudio de la materia prima que hay que recoger con el sistema diseñado. En primer lugar, se recopilará información general de todos los residuos presentes en el mar, profundizando en la isla de plástico del Pacífico Norte y la del Atlántico Norte, que son las islas de mayor superficie.

ii) Hipótesis para el diseño

Se plantea el diseño del sistema de recogida a partir de toda la información recopilada. El diseño planteado debe suplir los inconvenientes que los sistemas ya diseñados presentan, como la capacidad de recogida, la estructura, los materiales, etc. Para ello, se lleva a cabo un estudio de los sistemas existentes y se analizan sus características.

iii) Realización del diseño

El diseño contemplará:

- Selección del tipo de material del prototipo
- Selección del tipo de barco al que irá acoplado el sistema de recogida
- Determinar la capacidad del sistema de recogida
- Almacenamiento

4. Diseño

4.1. Definición del tipo de materia prima a recolectar

Hasta la fecha se han llevado a cabo distintas expediciones para caracterizar los residuos plásticos presentes en las cinco islas de plástico. Las más importantes son las de 2007 y 2013, donde se determinó que las dos regiones oceánicas del hemisferio norte, océano Índico y Pacífico Norte, contenían el 56,8% de plástico comparado con el hemisferio sur, y que la fracción de microplásticos y microplásticos pequeños es la más abundante, como se puede ver en detalle en la Tabla 1.

Tabla 2. Cantidad y peso del plástico en las cinco islas presentes (Eriksen et al., 2014).

	Pacífico Norte	Atlántico Norte	Pacífico Sur	Atlántico Sur	Océano Índico	Mediterráneo	TOTAL
Cantidad (n x 10 ¹⁰ piezas)							
Microplásticos pequeños (0,33-1,00) mm	68,8	32,4	17,6	10,6	45,5	8,5	183,4
Microplásticos (1,01- 4,75) mm	116,0	53,2	26,9	16,7	74,9	14,6	302,3
Mesoplásticos (4,76- 200) mm	13,2	7,3	4,4	2,4	9,2	1,6	38,1
Macroplásticos (>200) mm	0,3	0,2	0,1	0,05	0,2	0,04	0,89
TOTAL	198,3	93,1	49	29,75	129,8	24,74	524,69

Por tanto, el sistema a diseñar debe ser capaz de recolectar al menos los microplásticos, evitando así que por efecto del oleaje, salinidad y radiación UV se degrade y se transformen en microplásticos pequeños.

4.2. Sistema de recogida

Para el diseño se tiene en cuenta los siguientes aspectos:

Material

Según la norma UNE-EN 10088-1, los aceros inoxidables deben tener un contenido mínimo de cromo del 10,5% y máximo del 1,2% de carbono (UNE. Normalización Española, 2015). Es por ello que el más indicado es el AISI 316, ya que presenta una buena ductilidad y la presencia de níquel le confiere mayor resistencia a la corrosión y el molibdeno le proporciona una muy buena resistencia a medios más agresivos, como el ácido y la atmósfera salina (Grupo Carvi, 2000).

Luz de malla

El dispositivo de recogida será una cuchara recubierta en su superficie malla de acero inoxidable AISI 316 de dimensiones de 40 x 40 mm y un diámetro de alambre de 3 mm.

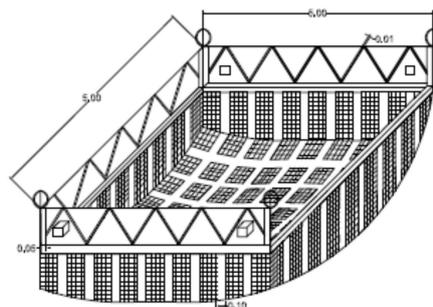
Estructura

Es necesario que la cuchara tenga unos nervios que refuercen toda la estructura y dotarle de una resistencia adecuada para la tarea que debe desempeñar, es por ello que está reforzada por tubos rectangulares de 50 mm de acero inoxidable AISI 316 (Lumetal, 1970) y por chapa metálica (1000 x 20 mm) permitiendo delimitar la superficie y que los residuos plásticos queden contenidos en esta zona.

Capacidad de recogida

La cuchara mide 5 metros de ancho, 5 metros de largo y 2 metros de profundidad dotándole de una superficie de recogida de 25 m² y de un volumen de 50 m³, una imagen del diseño se ve en la Figura 3. De esta manera, se instalarán seis sistemas de recogida a lo largo de la parte delantera del buque, que permitirá en cada inmersión recoger 150 m² y 300 m³ de residuos plásticos, respectivamente. Teniendo en cuenta, que se estima que cada operación dura aproximadamente 5 minutos, y que los sistemas de recogida están trabajando durante 12 horas diarias, se recogen 21600 m² y 43200 m³ de residuos plásticos en un día de trabajo.

Figura 3: Vista del sistema de recogida diseñado

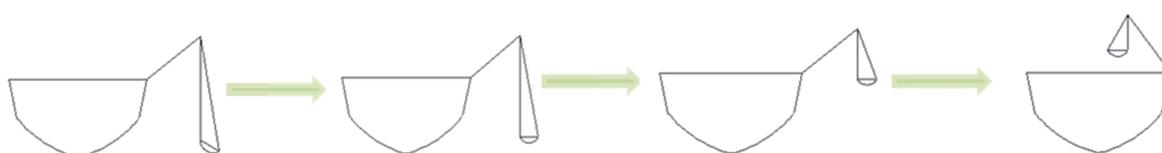


Sistema de descarga

El sistema de descarga permite depositar los residuos recolectados sobre la zona de clasificación y tratamiento en el buque. Para que la cuchara pueda realizar la descarga, se coloca un basculante al lado de cada punto de descarga, para realizar la operación.

A continuación, en la Figura 4, se muestra la secuencia esquematizada del proceso de recolección y descarga del sistema. Primero, la cuchara desciende inclinada para poder recoger los residuos plásticos aprovechando el avance del barco. A continuación, cuando la cuchara está llena, el mecanismo de grúa y cables, la coloca en posición horizontal y comienza el descenso del sistema a la cubierta del barco. Una vez arriba, la grúa gira la cuchara y la deposita encima de la zona de recepción, y mediante un sistema basculante, está se inclina ligeramente permitiendo que los residuos plásticos se depositen sobre la zona de recepción.

Figura 4: Secuencia esquematizada del proceso de recolección y descarga de plástico.



En la zona de clasificación, hay una cinta transportadora donde se realiza un control de calidad manual, en el que se retira todo tipo de fauna que pudiera estar retenida en los plásticos y se devuelve al mar.

4.3. Tipo de barco. Acoplamiento

Así pues, una vez definido el sistema de recolección es necesario llevar a cabo un estudio del tipo de barco dónde este va a estar acoplado y las dimensiones para instalar adecuadamente el sistema de clasificación y tratamiento. El tamaño del barco debe estar de acorde con la situación planteada, luego se ha elegido un buque portacontenedores, con las dimensiones que se muestran en la Tabla 3.

Tabla 3. Dimensiones del buque elegido (Autoridad Portuaria de Valencia, 2014)

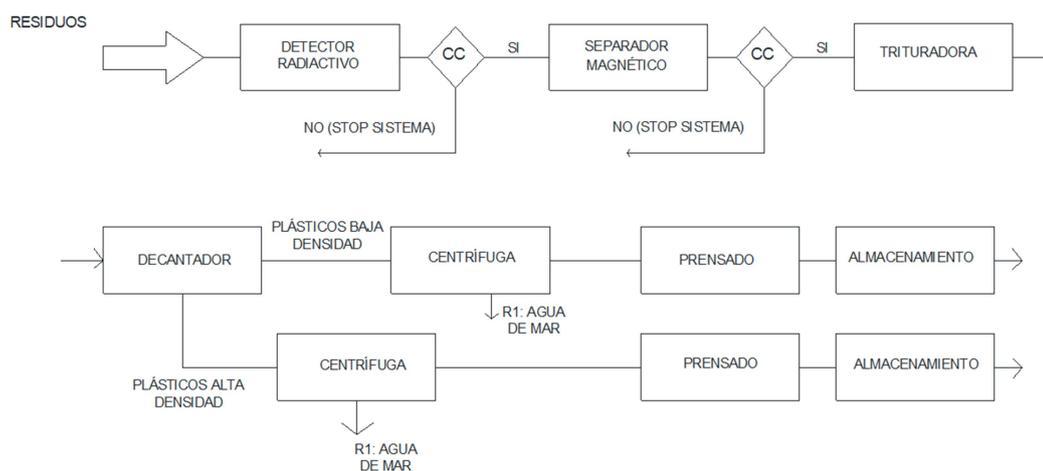
Eslora (m)	Manga (m)	Calado (m)	Número de contenedores que puede albergar		
			A lo largo de la manga	Altura cubierta	Altura debajo de cubierta
290	32	12,5	13	8	6

4.4. Sistema de clasificación y almacenamiento

El sistema de clasificación se ha basado en un trabajo previo (García-Puchol, 2017). Este sistema, está compuesto por una serie de etapas para su clasificación y posterior tratamiento en tierra, que ocupa aproximadamente 56 metros de eslora del barco, sin embargo, se disponen de unos 19 metros, para que exista espacio suficiente para realizar los movimientos necesarios para cada una de las operaciones, luego en total, para el sistema de clasificación se tienen unos 115 metros, teniendo en cuenta los 40 metros del sistema de recolección. El resto de la eslora del buque, 175 metros, está destinada al almacenamiento de los residuos recolectados.

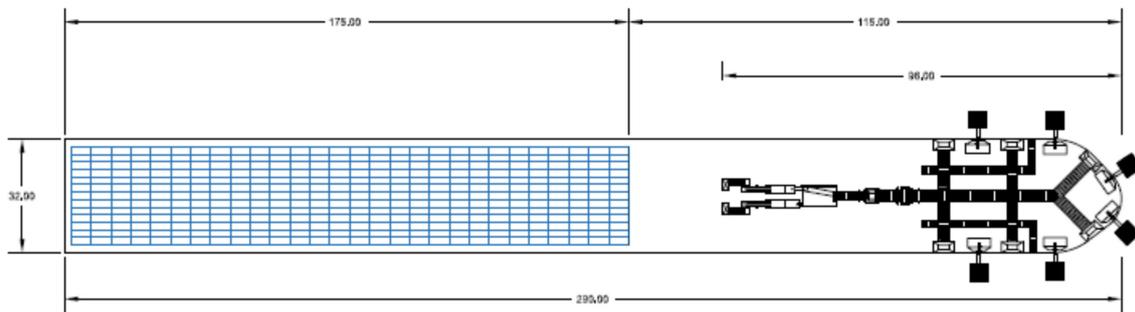
A continuación, en la Figura 5, se muestra un diagrama de bloques de la secuencia que se va a seguir, compuesta por un detector radioactivo previo, seguido de un separador magnético para eliminación de metales que puedan estar asociados a la acumulación de plástico en la isla (latas, anzuelos, tornillos, etc). Posteriormente se pasa a una etapa de trituración de los plásticos para facilitar su manejo, y luego un decantador para clasificarlos en base a su densidad. Una vez separados, se someten a centrifugación para eliminar el agua de mar y una vez separados se someten a un prensado y a su almacenamiento en pallets y en contenedor marítimo hasta su desembarco en tierra.

Figura.5. Etapas de recolecta y clasificación de residuos plásticos.



La figura 6, muestra la distribución en planta de la cubierta del buque, en el que se ve el sistema de recogida tipo cuchara diseñado, seguido del sistema de control de calidad, de clasificación y posterior almacenamiento.

Figura 6. Distribución en planta del sistema de recogida, clasificación y almacenamiento de plástico en el buque.



El almacenamiento debe de ser adaptado a las dimensiones del buque elegido es por ello que se dispone de contenedores de 20 pies (6.10 x 2.44 x 2.59 m) y palés standards (1.20 x 0.80 x 0.15 m),

Así pues, se calcula el volumen de plástico compactado que se almacena en cada uno de los contenedores.

$$Volumen_{bloque} = Superficie * Altura = 1,2 * 0,8 * 1 = 0,96 m^3 \quad (1)$$

$$Volumen_{contenedor} = Volumen_{bloque} * número_{bloques} = 0,96 * 22 = 21,12m^3 \quad (2)$$

De esta manera, si caben 5096 contenedores y en cada contenedor pueden introducirse 22 palés, en total en el barco hay 112.112 palés. y como se sabe, que en cada contenedor caben 21,12 m³ de residuos plásticos, se tiene que en cada barco caben 107.627,52 m³ de residuo plástico. Conociendo la cantidad de residuos plásticos que puede recoger el sistema al día, 43200 m³, se puede estimar el tiempo que puede estar el barco operando en alta mar, unos 3 días aproximadamente realizando tareas de recogida antes de volver a tierra. La distancia aproximada entre la isla de plástico del pacífico, considerando que se parte desde California, es de 1985,13 km, como indica la NOAA. Sabiendo que un buque navega a unos 40 km/h, se estima que tarda en llegar al destino unos 2 días. así, el tiempo que tardaría incluyendo el desplazamiento y la recogida de residuos plásticos es de 7 días en total. La tarea se podría agilizar utilizando barcos de transferencia para evitar la ida y vuelta del buque a puerto para descarga.

Además, considerando que el sistema es capaz de recoger 21600 m²/día, en un año podría eliminar 7,88 km² de isla. Si se dispone de una flota considerable de barcos, unos 100 barcos equipados completamente, se podrían recoger 788 km²/año de residuos plásticos. Es tal, la dimensión de la isla de plástico del Pacífico que se necesitaría una gran inversión económica y de tiempo, para poder eliminarla completamente, ya que cada vez va aumentando más (Briggs, 2018).

5. Conclusiones

La situación de los plásticos en el océano es realmente preocupante y cada vez la problemática es mayor. Los sistemas actuales no son del todo eficientes. Es por ello, que el diseño propuesto está enfocado para la recogida de plásticos que tienen un tamaño superior a los 40 mm y así eliminar las islas de plásticos formadas a lo largo de los cinco océanos.

El diseño, presenta unas características óptimas para estar en contacto con el medio marino y respetar la fauna marina y que el impacto sea el menor posible. Su capacidad es de 43200

m³/día. Se ha buscado, que el diseño y la operación de subida y bajada sea lo más sencilla posible.

El sistema diseñado contribuye a la gran suma de iniciativas para reducir la presencia de plástico en el medio marino y obtener resultados de mejora medioambiental en el ecosistema marino a medio plazo.

6. Referencias

Autoridad Portuaria de Valencia. (2014). *Introducción Buque Portacontenedores*. Valencia. Recuperado el 28 de 05 de 2019, de <http://www.fundacion.valenciaport.com/docs/PonenciasBuquePortacontenedores/1-MarioFominaya.pdf>

Briggs, H. (2018). La preocupante velocidad a la que está creciendo la gran isla de basura del Pacífico que ya tienen res veces el tamaño de Francia. *BBC*. Recuperado el 13 de 05 de 2019, de <https://www.bbc.com/mundo/noticias-43515386>

Ecoembes. (2015). *Upcycling the Oceans*. Recuperado el 14 de 05 de 2019, de <https://www.ecoembes.com/es/ciudadanos/sobre-nosotros/proyectos-destacados/upcycling-the-oceans>

Eriksen, M., & colaboradores. (2014). *Plastic Pollution in the World's Oceans: More than 5 Trillion Plastic Pieces Weighing over 250000 Tons Afloat Sea*. Recuperado el 31 de 05 de 2019, de <https://journals.plos.org/plosone/article/file?id=10.1371/journal.pone.0111913&type=printable>

Europalet. (1984). *Palet reciclado 1200x800*. Recuperado el 20 de 05 de 2019, de <http://www.europalet.com/palets-1200-x-800/europalet-homologado-reciclado-1-especial>

eVolo. (2014). *Seawer: The Garbage-Seascraper*. eVolo. Recuperado el 09 de 05 de 2019, de <http://www.evolo.us/seawer-the-garbage-seascraper/>

Frederic Gallo, C. F. (2018). Marina litter plastics and microplastics and their toxic chemicals components: the need for urgent preventive measures. *Environmental Sciences Europe*. Recuperado el 06 de 05 de 2019, de <https://enveurope.springeropen.com/articles/10.1186/s12302-018-0139-z>

García-Puchol, M. (2017). *Proyecto Final del Carrera*.

Generalitat de Catalunya. Departamento de Territorio y Sostenibilidad. (2014). *Contaminantes orgánicos persistentes (COPs)*. Recuperado el 06 de 05 de 2019, de http://mediambient.gencat.cat/es/05_ambits_dactuacio/empresa_i_produccio_sostenible/substancies_quimiques/contaminants_organics_persistents_cop/

Greenpeace. (2015). *¿Cómo llega el plástico a los océanos y que sucede entonces?* Recuperado el 02 de 05 de 2019, de <https://es.greenpeace.org/es/trabajamos-en/consumismo/plasticos/como-llega-el-plastico-a-los-océanos-y-que-sucede-entonces/>

Grupo Carvi. (2000). *Acero Inoxidable*. Recuperado el 10 de 06 de 2019, de <https://www.grupocarvi.com/es/noticias>

- Jambeck, J., & colaboradores. (2015). Plastic waste inputs from land into the ocean. *Science*. Recuperado el 15 de 04 de 2019, de <https://science.sciencemag.org/content/347/6223/768.full>
- Mateo, L. L. (2013). *Centro Español de Plásticos*. Recuperado el 21 de 06 de 2019, de <https://cep-plasticos.com/es/contenido/cronica-feria-k-2013-muchas-novedades-y-claras-tendencias-de-crecimiento>
- PlasticsEurope. (2019). *PlasticFacts*. Obtenido de <https://www.plasticseurope.org/es/resources/publications/1804-plastics-facts-2019>
- The Ocean Cleanup. (2013). Recuperado el 08 de 05 de 2019, de <https://www.theoceancleanup.com/about/>
- UNE. Normalización Española. (2015). *UNE-EN 10088-1. Aceros inoxidables. Parte 1: Relación de aceros inoxidables*. Recuperado el 10 de 06 de 2019, de <https://www.une.org/encuentra-tu-norma/busca-tu-norma/norma?c=N0054603>
- Zarca S.L. (2016). *Contenedor Marítimo 20 pies*. Recuperado el 20 de 05 de 2019, de <https://www.zarca.es/productos/contenedor-maritimo-de-20-pies/>

Comunicación alineada con los Objetivos de Desarrollo Sostenible



Objetivo 9: Construir infraestructuras resilientes, promover la industrialización y sostenible y fomentar la innovación.

Objetivo 14: Conservar y utilizar en forma sostenible los océanos, los mares y los recursos marinos para el desarrollo sostenible