Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura

ORGANIZACIÓN MARÍTIMA INTERNACIONAL

GloLitter partnerships

Tecnologías y prácticas de reciclaje de artes de pesca



Tecnologías y prácticas de reciclaje de artes de pesca

por **Antonello Sala**
y **Kelsey Richardson**

Publicado por
la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura
y
la Organización Marítima Internacional
Roma, 2024

Cita requerida:
Sala, A. y Richardson, K. 2024. *Tecnologías y prácticas de reciclaje de artes de pesca*. Roma, FAO y Londres, OMI.
https://doi.org/10.4060/cc8317es

Las denominaciones empleadas en este producto informativo y la forma en que aparecen presentados los datos que contiene no implican, por parte de la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO) ni de la Organización Marítima Internacional (OMI), juicio alguno sobre la condición jurídica o nivel de desarrollo de países, territorios, ciudades o zonas, ni sobre sus autoridades, ni respecto de la demarcación de sus fronteras o límites. La mención de empresas o productos de fabricantes en particular, estén o no patentados, no implica que la FAO o la OMI los aprueben o recomienden de preferencia a otros de naturaleza similar que no se mencionan.

Las opiniones expresadas en este producto informativo son las de su(s) autor(es), y no reflejan necesariamente los puntos de vista o políticas de la FAO ni de la OMI.

ISBN 978-92-5-139050-4 [FAO]
© FAO y OMI, 2024

Algunos derechos reservados. Esta obra se distribuye bajo licencia Creative Commons Atribución-NoComercial- CompartirIgual 3.0 Organizaciones intergubernamentales (CC BY-NC-SA 3.0 IGO; https://creativecommons.org/ licenses/by-nc-sa/3.0/igo/deed.es_ES).

De acuerdo con las condiciones de la licencia, se permite copiar, redistribuir y adaptar la obra para fines no comerciales, siempre que se cite correctamente, como se indica a continuación. En ningún uso que se haga de esta obra debe darse a entender que la FAO o la OMI refrendan una organización, productos o servicios específicos. No está permitido utilizar el logotipo de la FAO o de la OMI. En caso de adaptación, debe concederse a la obra resultante la misma licencia o una licencia equivalente de Creative Commons. Si la obra se traduce, debe añadirse el siguiente descargo de responsabilidad junto a la referencia requerida: “La presente traducción no es obra de la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO) o la Organización Marítima Internacional (OMI). Ni la FAO ni la OMI se hacen responsables del contenido ni de la exactitud de la traducción. La edición original en inglés será el texto autorizado”.

Todo litigio que surja en el marco de la licencia y no pueda resolverse de forma amistosa se resolverá a través de mediación y arbitraje según lo dispuesto en el artículo 8 de la licencia, a no ser que se disponga lo contrario en el presente documento. Las reglas de mediación vigentes serán el reglamento de mediación de la Organización Mundial de la Propiedad Intelectual http://www.wipo.int/amc/en/mediation/rules y todo arbitraje se llevará a cabo de manera conforme al reglamento de arbitraje de la Comisión de las Naciones Unidas para el Derecho Mercantil Internacional (CNUDMI).

Materiales de terceros. Si se desea reutilizar material contenido en esta obra que sea propiedad de terceros, por ejemplo, cuadros, gráficos o imágenes, corresponde al usuario determinar si se necesita autorización para tal reutilización y obtener la autorización del titular del derecho de autor. El riesgo de que se deriven reclamaciones de la infracción de los derechos de uso de un elemento que sea propiedad de terceros recae exclusivamente sobre el usuario.

Ventas, derechos y licencias. Los productos informativos de la FAO están disponibles en la página web de la Organización (http://www.fao.org/publications/es) y pueden adquirirse dirigiéndose a publications-sales@fao.org. Las solicitudes de uso comercial deben enviarse a través de la siguiente página web: www.fao.org/contact-us/licence-request. Las consultas sobre derechos y licencias deben remitirse a: copyright@fao.org.

Fotografía de la cubierta: © FAO/Bureo

Preparación de este documento

El presente estudio informativo sobre el reciclaje de artes de pesca fue preparado por el Equipo de Tecnología y Operaciones de Pesca de la División de Pesca y Acuicultura de la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO). El trabajo fue financiado por la fase I del Proyecto de asociaciones GloLitter (en adelante, GloLitter) (UNJP/GLO/051/IMO). La aplicación de GloLitter corre a cargo de la Organización Marítima Internacional (OMI) en colaboración con la FAO, con la financiación inicial del Gobierno de Noruega a través del Organismo Noruego de Cooperación para el Desarrollo (Norad). Este estudio es uno de los diferentes productos de conocimiento destinados a contribuir al Resultado 1 de GloLitter y tiene por objeto elaborar y divulgar productos de conocimiento y herramientas de desarrollo de la capacidad, así como determinar las mejores prácticas de gestión con respecto a las fuentes marinas de la basura plástica marina.

Este documento se basa en el trabajo realizado por Antonello Sala y Kelsey Richardson bajo la supervisión técnica y la coordinación de la Sra. Amparo Pérez Roda, Oficial técnico principal para los componentes de GloLitter de la FAO.

Resumen

El reciclaje de artes de pesca puede contribuir a una pesca más sostenible prestando apoyo a la gestión responsable de las artes de pesca, preservando y prolongando el uso de valiosos materiales y componentes de las artes, incentivando la recogida y la recuperación de las artes de pesca dañadas y al final de su vida útil, y los aparejos abandonados, perdidos o descartados, y proporcionado una alternativa valiosa a la descarga en vertederos. En el presente informe se examinan las actuales tecnologías y prácticas de reciclaje de artes de pesca y, además, se resumen las medidas técnicas y los instrumentos de política y reglamentarios que pueden apoyar el reciclaje de artes de pesca, así como consideraciones en materia de economía circular para las artes de pesca.

El reciclaje de artes de pesca puede llevarse a cabo a través de una variedad de tecnologías y procesos. Este informe abarca los procesos de reciclaje primario y secundario (mecánico), terciario (reciclaje químico, recuperación química y conversión térmica) y cuaternario (valorización energética). El método de reciclaje dependerá del tipo, el volumen y la calidad (incluido el nivel de contaminación y el grado de pureza de los polímeros) de las artes de pesca y sus componentes asociados disponibles para el reciclaje. Dependerá también de las capacidades locales y regionales en apoyo al reciclaje de artes de pesca, tanto en términos tecnológicos como mediante sistemas y marcos eficaces de gestión de residuos.

La gama y diversidad de tipos de artes de pesca utilizados a nivel mundial y local requieren en última instancia una combinación de medidas de reciclaje e intervenciones complementarias que se adapten a las necesidades de cada país, región y localidad y sus correspondientes técnicas de pesca. La inclusión de las diversas partes interesadas implicadas en el reciclaje de artes de pesca, y la comunicación entre ellas, es fundamental: responsables de la formulación de políticas, administradores y autoridades de reglamentación; productores, fabricantes, montadores, proveedores y compradores de artes de pesca; pescadores; autoridades portuarias; organismos de gestión de residuos; y empresas de reciclaje. Una sólida colaboración garantiza que las diferentes partes interesadas puedan apoyarse mutuamente en sus esfuerzos y funciones para asegurar que las artes de pesca se reciclan de manera responsable y eficaz de acuerdo con la mejor tecnología disponible y más adecuada. En el informe se destaca la necesidad de enfoques sistémicos que armonicen la gobernanza eficaz de la pesca y la gestión de residuos con medidas complementarias que apoyen el reciclaje de artes de pesca desde la etapa de diseño y fabricación hasta la gestión al final de su vida útil.

Índice

Preparación de este documento iii
Resumen iv
Agradecimientos ix
Abreviaturas x
Términos técnicos xii
Resumen ejecutivo xvi

Primera parte: Métodos de reciclaje de artes de pesca, medidas técnicas, instrumentos de política y consideraciones en materia de economía circular 1

1.1 Introducción 3

1.2 Reciclaje de artes de pesca 5

1.2.1 Diseño y fabricación de las artes de pesca 5
1.2.2 Materiales reciclables de las artes de pesca 7
1.2.3 Preparación de las artes de pesca para el reciclaje 9
1.2.4 Métodos de reciclaje de artes de pesca 12
1.2.4.1 Reciclaje primario y secundario (reciclaje mecánico) 13
1.2.4.2 Reciclaje terciario (reciclaje químico, recuperación química y conversion térmica) 16
1.2.4.3 Reciclaje cuaternario (valorización energética) 19
1.2.5 Oportunidades y retos que presentan los métodos de reciclaje de artes de pesca 22

1.3 Medidas técnicas e instrumentos de política y reglamentarios para apoyar el reciclaje de artes de pesca 27

1.3.1 Diseñar para el reciclaje 27
1.3.2 Marcado de las artes de pesca 29
1.3.2.1 Directrices voluntarias sobre el marcado de las artes de pesca (VGMFG) 30
1.3.3 Instalaciones portuarias de recepción 31
1.3.4 Infraestructura de gestión de residuos centralizada y descentralizada 33
1.3.5 Instrumentos basados en el mercado 36
1.3.6 Responsabilidad ampliada del productor (EPR) para las artes de pesca 39
1.3.7 Instrumentos de política internacionales relacionados con las artes de pesca no deseadas 43

1.4 Economía circular relacionada con las artes de pesca 46

1.4.1 Modelo de economía circular 47
1.4.2 Jerarquía de residuos y conceptos de economía circular basados en la letra R 50
1.4.3 Estrategias de diseño para mejorar la circularidad de los productos de las artes de pesca 53
1.4.4 Modelos de negocio circulares (CBM) para las artes de pesca 55

Segunda parte. Ejemplos prácticos de reciclaje de artes de pesca 61

2.1 Recuperación y recogida de artes de pesca para su reciclaje 61

2.1.1 Recogida de artes de pesca artesanal a pequeña escala para su reciclaje: Networks Cameroon 61
2.1.2 Recogida de artes de pesca para su reciclaje a nivel nacional: Suecia: Agencia Sueca para la Gestión Marina y del Agua y Centro de Simbiosis de Sotenäs (*Sotenäs Symbioscentrum*) 64
2.1.3 Recogida de artes de pesca para su reciclaje a nivel regional: Redes de América 65
2.1.4 Recogida de artes de pesca para su reciclaje a nivel regional: Fishing for Litter 66
2.1.5 Recogida de artes de pesca recreativa: Programa Reel In and Recycle (Fundación BoatUS) 67
2.1.6 Ejemplo de instrumento basado en el mercado (MBI) para la recuperación y la recogida de artes de pesca no deseadas: Programa de recompra de basura marina en la República de Corea 68

2.2 Readaptación de artes de pesca no deseadas: redes de voleibol "Good Net" y "Ghost Leash" 68

2.3 Ejemplos de reciclaje mecánico de artes de pesca: Plastix (Dinamarca) y Ko Win Yang Industrial Co. Ltd (Taiwán, provincia de China) 70

2.4 Ejemplos de reciclaje químico de artes de pesca: proyecto OCEANETS 71

2.5 Valorización energética de artes de pesca no deseadas: programas Fishing for Energy y Nets to Energy de Hawái 72

2.6 Otros productos innovadores fabricados a partir de artes de pesca recicladas 73

2.6.1 Los pescadores de la India convierten el plástico del océano en carreteras 73
2.6.2 Posibles aplicaciones de la impresión 3D para las artes de pesca recicladas 74
2.6.3 Kayaks, tablas de cuerpo (*bodyboards*) y tablas de mano (*handplanes*) de Odyssey Innovation 75
2.6.4 Upcycling the Oceans, ropa de moda a partir de artes de pesca no deseadas 76

2.7 Proyecto de Economía Circular Azul (BCE) 76

Conclusiones y recomendaciones 79

Bibliografía 85

Anexo 1. Descripción de los principales procesos de reciclaje terciario 97

Anexo 2. Seminarios web de la FAO sobre reciclaje de artes de pesca 103

CUADROS

1. Componentes y materiales de las artes de pesca por principales tipos de artes 8
2. Tipos de información que puede incluirse en las marcas de las artes de pesca 30
3. Factores que han de tenerse en cuenta antes de seleccionar un instrumento basado en el mercado (MBI) 39
4. Lista de verificación indicativa sobre diseño ecológico que podría aplicarse al diseño y desarrollo de artes de pesca 55
5. Modelos de negocio circulares (CBM) actuales y oportunidades adicionales 57
6. Oportunidades y amenazas para los nuevos modelos de negocio circulares (CBM) 58
A1. Resumen de las ventajas e inconvenientes de las tecnologías de reciclaje químico 101

FIGURAS

1. Categorías y causas de los aparejos de pesca abandonados, perdidos o descartados (ALDFG) y posibles medidas para abordarlos 4
2. Requisitos y procedimiento de pretratamiento de las artes de pesca no deseadas en preparación para la gestión de residuos y el reciclaje 12
3. Tecnologías actuales de reciclaje de residuos de material plástico 13
4. Esquema de los procedimientos de pretratamiento de artes de pesca no deseadas 14
5. Diagrama de flujo del proceso típico de reciclaje mecánico de artes y cuerdas de pesca de plástico al final de su vida útil en Noruega 17
6. Resumen de los principales procesos de reciclaje terciario 19
7. Comparación entre los plásticos y los combustibles convencionales en función de sus valores caloríficos 20
8. Tratamiento de residuos municipales en los 27 Estados miembros de la Unión Europea (más Noruega, Suiza y el Reino Unido de Gran Bretaña e Irlanda del Norte) clasificados por porcentaje de vertido en 2019 21
9. Reciclaje, recuperación y eliminación final de los residuos plásticos 25
10. Análisis del ciclo de vida (ACV) de las opciones de gestión de residuos para los aparejos de pesca abandonados 26
11. Instalaciones portuarias de recepción gratuitas para las artes de pesca no deseadas y otros residuos de plástico en el Reino Unido proporcionadas por el Net Regeneration Scheme de Odyssey Innovation y el proyecto INdIGO en este país 32
12. Enfoques de infraestructuras de gestión de residuos (a) centralizadas (es decir, centro de reciclaje) y (b) descentralizadas (es decir, tratamiento in situ) 34
13. Opciones de tratamiento centralizado y descentralizado para la gestión de residuos de ALDFG y EOLFG 36
14. Formas de responsabilidad en virtud de los sistemas de responsabilidad ampliada del productor (EPR) 40
15. Sistema de responsabilidad ampliada del productor para las artes de pesca 42
16. Diagrama conceptual de las etapas principales de un modelo de economía circular 48
17. Problemas identificados en las etapas del ciclo de vida de las artes de pesca 49
18. Estrategias de evaluación continua sugeridas para los recursos de artes de pesca en el sistema de etapas del ciclo de vida 50
19. Desarrollo de la jerarquía de residuos en Europa 51
20. Comparación de los conceptos de economía circular basados en la letra R (a) y el marco de la jerarquía de residuos (b) 53

21. Pilares funcionales de una economía circular 54
22. Pescadores participando en el programa Fishing for Litter 67
23. Contenedor de reciclaje de monofilamentos instalado en California a través del programa Reel In and Recycle 68
24. Niños locales jugando a voleibol de playa usando redes procedentes de ALDFG recuperados 69
25. Sección transversal de la ghost leash. Cada correa está fabricada con 81,5 m^2 de redes de pesca fantasmas retorcidas y envueltas con retales de tela y restos de hilos, tiene 1,5 m de largo y pesa 275 gramos 70
26. Plástico reciclado OceanIX® y operaciones de Plastix que convierten los residuos en materia prima. Las redes y artes de arrastre se reducen a OceanIX®, que puede utilizarse para fabricar nuevos productos de plástico 71
27. Resumen del programa Fishing for Energy en los Estados Unidos de América 72
28. Contenedor del programa Nets to Energy de Hawái, ubicado en el muelle 38 en Honolulu 73
29. Nilón reciclado de Fishy Filaments y filamento para impresoras 3D fabricado con nilón marino 100 % reciclado 75
30. Algunos de los materiales producidos por Odyssey Innovation a partir de artes de pesca no deseadas recicladas en el Reino Unido de Gran Bretaña e Irlanda del Norte 75
31. Ejemplos de las prendas de ropa de Upcycling the Oceans con mensajes relativos al medio ambiente que hacen referencia al origen de los materiales 76

Agradecimientos

La elaboración de este informe se ha beneficiado enormemente de los conocimientos, las aportaciones, el apoyo y la experiencia de un diverso grupo de partes interesadas en el reciclaje de artes de pesca y revisores externos. Los autores reconocen y comparten su agradecimiento por las revisiones proporcionadas por A. Stolte (WWF Deutschland), G. Haney (Hampiðjan Group), G. Molina (ALPESCAS), J. Baziuk (Iniciativa Global contra las Redes de Pesca Fantasmas), M. Manaart (KIMO International), M. Pettersson (*Sotenäs symbioscentrum*), P.C. Desphande (Universidad Noruega de Ciencia y Tecnología), y A.P. Roda, G. Carasci, J. Lansley, R. Thompson y R. van Anrooy (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura). Los autores también agradecen las aportaciones de los participantes en los seminarios web de la FAO sobre reciclaje de artes de pesca, organizados los días 10 y 11 de octubre de 2022, incluida la facilitación y las presentaciones a cargo de A. Ruzo (ECOALF), A. Stolte (WWF Deutschland), C. Barrett (BIM Ireland), C. Ramírez Artacho y J. Grau Forner (AIMPLAS), M. Charter (Centro para el Diseño Sostenible, Universidad para las Artes Creativas) y M. Manaart (KIMO International).

Abreviaturas

ABS	acrilonitrilo butadieno estireno
ALDFG	aparejos de pesca abandonados, perdidos o descartados
AMFE	análisis modal de fallos y efectos
B2B	de empresa a empresa
CBM	modelos de negocio circulares
CE	Comisión Europea
CEN	Comité Europeo de Normalización
CEWEP	Confederación de Plantas Europeas de Valorización Energética
CNUDM	Convención de las Naciones Unidas sobre el Derecho del Mar
DCP	dispositivo de concentración de peces
DFG	aparejos de pesca abandonados
EC	economía circular
EOLFG	artes de pesca al final de su vida útil
EPR	responsabilidad ampliada del productor
EVA	etilvinilacetato
FAO	Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura
FEMP	Fondo Europeo Marítimo y de Pesca
GESAMP	Grupo Mixto de Expertos sobre los Aspectos Científicos de la Protección del Medio Marino
GGGI	Iniciativa Global contra las Redes de Pesca Fantasmas
ISO	Organización Internacional de Normalización
KIMO	Kommunernes International Miljøorganisation (Organización internacional de autoridades locales para el medio ambiente)
MARPOL	Convenio internacional para prevenir la contaminación por los buques
MSFD	Directiva marco sobre la estrategia marina (2008/56/CE)
NIR	infrarrojo cercano
NOAA	Oficina Nacional de Administración Oceánica y Atmosférica
OMI	Organización Marítima Internacional
ONG	organización no gubernamental
OROP	organización regional de ordenación pesquera
OSPAR	Convenio sobre la protección del medio marino del Atlántico nororiental
P2P	entre pares
PA	poliamida, también conocido comúnmente como nilón
PE	polietileno
PEAD	polietileno de alta densidad
PEBD	polietileno de baja densidad

PES	poliéster
Pesca INDNR	pesca ilegal, no declarada y no reglamentada
PET	tereftalato de polietileno
PP	polipropileno
PPC	carbonato de polipropileno
PRF	instalación portuaria de recepción
PRFD	Directiva relativa a las instalaciones portuarias receptoras
PS	poliestireno
PSW	residuos sólidos de material plástico
PU	poliuretano
PVC	policloruro de vinilo
PYME	pequeñas y medianas empresas
RFID	identificación por radiofrecuencia
SBMPL	basura plástica marina en el mar
SUP	plásticos de un solo uso
SUPD	Directiva sobre los plásticos de un solo uso
UE	Unión Europea
UHF	frecuencia ultra-alta
UHMWPE	polietileno de peso molecular ultra-alto
VGMFG	Directrices voluntarias sobre el marcado de las artes de pesca
WFD	Directiva marco sobre los residuos (Directiva 2008/98/CE, 2008)

Términos técnicos

Aparejos de pesca abandonados, perdidos o descartados (ALDFG)	Por "aparejo de pesca abandonado" se entiende el arte de pesca sometido al control de un operador o propietario y que este podría recuperar, pero que se deja en el mar deliberadamente por causas de fuerza mayor u otras circunstancias imprevistas. Por "aparejo de pesca perdido" se entiende el arte de pesca cuyo control ha perdido accidentalmente el propietario u operador y que este no puede localizar o recuperar. Por "aparejo de pesca descartado" se entiende el arte de pesca que se libera en el mar sin que se realice ningún intento de control o recuperación posterior (FAO, 2019a).
Arte de pesca	Según el Anexo V del Convenio MARPOL (FAO, 2018b), cualquier dispositivo físico o parte del mismo o combinación de artículos que pueden colocarse en el agua o en el lecho marino con el propósito de capturar, o controlar para la captura o recolección posterior de organismos marinos o de agua dulce.
Artes de pesca al final de su vida útil	Artes de pesca y sus accesorios (p.ej., cuerdas, flotadores, plomadas y otros accesorios) que ya no son utilizados activamente por los pescadores. Estas artes pueden ser viejas, redundantes, retiradas, en desuso, dañadas o descartadas (Stolte *et al.*, 2019).
Artes de pesca fantasma	Los términos "artes fantasmas" o "artes de pesca fantasma" suelen utilizarse como sinónimos de los ALDFG. No obstante, estos términos tienen ciertos matices y se refieren a los impactos derivados de los ALDFG. Las artes fantasmas se definen como ALDFG que tienen la capacidad de seguir pescando después de que el pescador haya perdido todo el control de dichas artes (GESAMP, 2021).
Artes de pesca no deseadas	Artes de pesca que ya no se utilizan y cuyo uso ya no se desea, sin ningún plan o posibilidad de uso pesquero futuro (p. ej., reutilización por parte de un pescador diferente). Entre ellas se incluyen los aparejos de pesca abandonados, perdidos o descartados (ALDFG) y las artes de pesca al final de su vida útil (EOLFG).
Basura marina	Todo material sólido persistente, manufacturado o elaborado, que se desecha, elimina, abandona o pierde en el medio marino y costero (también conocido comúnmente como detritos marinos) (PNUMA, 2021a).
Circularidad	Grado en que los activos, componentes, subcomponentes y materiales se mantienen "dando vueltas" a través de las cadenas de valor, sin tener una conclusión definitiva (Foro Económico Mundial, 2017).
Clasificación parcial	Método de clasificación de los ALDFG recuperados y las EOLFG destinados al reciclaje que implica la retirada de objetos metálicos y de otro tipo en su mayoría de gran tamaño (Stolte *et al.*, 2018).

Clasificación precisa	Método de clasificación intensivo en mano de obra de los ALDFG recuperados y (a veces) las EOLFG destinados al reciclaje, que implica la separación manual de todas las fracciones de residuos (Schneider, 2020; Stolte *et al*., 2018).
Conversión térmica	Procesos alternativos a la incineración que no oxidan completamente el material de desecho para permitir la producción de productos distintos del calor y la electricidad (suelen denominarse procesos de valorización energética, según la descripción que figura más adelante); entre estos productos se incluyen normalmente los combustibles líquidos y gaseosos (AIE, 2022; Kunwar *et al.*, 2016). La conversión térmica comprende una variedad de procesos térmicos y los incluidos en este informe son la pirólisis (véase la descripción más adelante) y la gasificación (véase la descripción más adelante) (Goodship, 2007; AIE, 2022). Estos procesos se agrupan a veces con los procesos de valorización energética (es decir, valorización energética de residuos e incineración) (Awasthi *et al*., 2019). En este informe se incluyen los procesos de conversión térmica mediante pirólisis y gasificación en los procesos terciarios, dado que se trata de una clasificación más común en la bibliografía disponible (Manzuch *et al.*, 2021; Merrington, 2017). Algunos han defendido que estos procesos, cuando se clasifican dentro de los procesos avanzados/terciarios, deberían denominarse "recuperación química" o "recuperación térmica" (Koyuncu *et al*., 2021).
Desechos pescados de manera no intencionada	Desechos recogidos en las redes durante operaciones de pesca (Mannaart y Bentley, 2022).
Despolimerización	Proceso de transformación de un polímero en un monómero, una mezcla de monómeros o un polímero de menor masa molecular relativa (Jenkins *et al.*, 1996).
Escoria	La escoria se forma durante los procesos de quema (es decir, combustión) y puede contener metales pesados como aluminio, cobre, zinc y plomo. Las escorias procedentes de las instalaciones de incineración requieren un tratamiento adicional para recuperar componentes materiales valiosos y reducir los impactos ambientales negativos derivados de su almacenamiento (Kolodezhnaya *et al.*, 2019).
Extrusión	Proceso por el que un material sufre una deformación plástica mediante la aplicación de una fuerza que hace que dicho material fluya a través de un orificio (Maier y Calafut, 1998).
Gases de combustión	Gases que emanan de las instalaciones de combustión y que contienen los productos de reacción del combustible y el aire de combustión y sustancias residuales como partículas (polvo), óxidos de azufre, óxidos de nitrógeno y monóxido de carbono (a veces también denominados gases de escape) (Speight, 2019).

Gasificación	Proceso intermedio endotérmico y de dos fases entre la pirólisis y la combustión. Durante la primera fase, los componentes volátiles de la fuente de combustible se vaporizan a temperaturas inferiores a 600 °C mediante un conjunto de reacciones complejas sin oxígeno, con la generación de subproductos carbonizados (carbono fijo) y cenizas. En la segunda fase, el residuo carbonizado se gasifica mediante reacciones con oxígeno, vapor e hidrógeno. Parte del residuo carbonizado no quemado también se quema para liberar el calor necesario para las reacciones endotérmicas de gasificación (AIE, 2016).
Infrarreciclaje	Fenómeno de reducción de la calidad de los materiales reprocesados a partir de residuos, en relación con su calidad original (Helbig *et al.*, 2022).
Monómero	Molécula monomérica que puede sufrir polimerización, aportando así unidades constituyentes (p.ej., átomos o grupos de átomos) a la estructura esencial de una molécula polimérica (macromolécula) (Jenkins *et al.*, 1996).
Pirólisis	Tratamiento térmico que descompone química e irreversiblemente residuos orgánicos y polímeros en condensados líquidos (aceite de pirólisis) y gases sintéticos mediante el calentamiento de insumos de materiales secos a 400800 °C (Stolte *et al.*, 2019). La pirólisis también suele denominarse "craqueo térmico" por su uso del calor bajo condiciones anóxicas (es decir, sin oxígeno) para convertir los insumos de materiales plásticos en hidrocarburos básicos, que pueden convertirse en aceites, gases ligeros y cenizas (BPF, 2023; The Consumer Goods Forum, 2022).
Polímero	Molécula de alta masa molecular relativa, cuya estructura comprende esencialmente la repetición múltiple de unidades derivadas, real o conceptualmente, de moléculas de baja masa molecular relativa (Jenkins *et al.*, 1996).
Reciclaje	Transformación de recursos residuales en materiales que pueden utilizarse para sustituir a materiales vírgenes en nuevos productos, materiales o sustancias, para fines originales o de otro tipo (Manzuch *et al.*, 2021).
Reciclaje cuaternario	Energía recuperada de los residuos plásticos mediante incineración (Merrington, 2017).
Reciclaje mecánico	Transformación de residuos plásticos en materias primas secundarias sin alterar de manera significativa la composición química de la materia (ISO, 2008; Plastics Europe, 2023). Se trata de un proceso mecánico (físico) que suele incluir procesos como la clasificación, el lavado, el secado, la molienda, la fusión y la regranulación.
Reciclaje primario	Proceso de reintroducir mecánicamente plástico limpio de un solo polímero en el ciclo de extrusión con el fin de generar productos de un material similar con propiedades equivalentes al original (Al-Salem *et al.*, 2009).

Reciclaje químico	Proceso de transformación de cualquier polímero plástico en sus monómeros originales, o producción de materias primas, mediante la modificación de la estructura química de los residuos plásticos, que pueden utilizarse posteriormente en la fabricación de nuevos productos (Manzuch *et al.*, 2021).
Reciclaje secundario	Los residuos sólidos de material plástico se introducen mecánicamente en el ciclo de extrusión y se reducen de tamaño hasta obtener formas más aceptables, como pellets, copos o polvos, dependiendo de la calidad del material de entrada y la composición polimérica. Los materiales producidos son generalmente de menor calidad que los materiales originales introducidos en el proceso de reciclaje (Dorigato, 2021; Ragaert *et al.*, 2017).
Reciclaje terciario	Procesos para recuperar los componentes químicos de los residuos de polímeros (Sahajwalla y Gaikwad, 2018). La producción de combustibles a partir de los residuos de polímeros se incluye a veces, pero no siempre, en las definiciones de reciclaje terciario (Manzuch *et al.*, 2021; Merrington, 2017).
Reformado con vapor	Proceso térmico que convierte sustancias orgánicas o polímeros en gases sintéticos ricos en hidrógeno mediante evaporación, a temperaturas superiores a 1000 °C. Este método permite hasta un 30 % de humedad en el material que se vaya a utilizar en la conversión de productos de desecho en gases sintéticos (Stolte *et al.*, 2019).
Residuos	Toda sustancia, material u objeto que se descarta después de su uso primario, o que carece de valor, está defectuoso o ha dejado de ser útil (Manzuch *et al.*, 2021).
Suprarreciclaje	Proceso por el que los materiales se convierten en algo de valor o calidad superior en su segunda vida (Sung, 2015).
Valorización energética	Quema (es decir, combustión, incineración) de residuos para producir energía en forma de calor, vapor y electricidad (Al-Salem *et al.*, 2009). Estos procedimientos suelen denominarse procesos de "valorización energética de residuos" (Kothari *et al.*, 2011; Psomopoulos *et al.*, 2009). Las definiciones de valorización energética varían según la bibliografía (Mazzoni y Janajreh, 2017; Sharuddin *et al.*, 2018) y algunas de ellas incluyen los procesos de conversión térmica para la obtención de combustibles (véase "Conversión térmica" más arriba). En este informe se emplea el término "valorización energética" específicamente en el contexto de los procesos de reciclaje cuaternario (véase la descripción más arriba) a través de la combustión. Se distingue de los procesos de conversión térmica que no oxidan totalmente el material de desecho para producir combustibles.

Resumen ejecutivo

El reciclaje de las artes de pesca al final de su vida útil (EOLFG) y los aparejos de pesca abandonados, perdidos o descartados (ALDFG) recuperados puede contribuir a una pesca más sostenible. El reciclaje apoya la gestión responsable de las artes de pesca, preserva y prolonga el uso de sus valiosos materiales y componentes, proporciona una alternativa beneficiosa a la descarga en vertederos e incentiva la recogida de las EOLFG y la recuperación de los ALDFG. Además, ayuda a conservar las materias primas y los recursos energéticos al continuar el ciclo de vida de los materiales reciclados, reduciendo así la demanda de creación de nuevos materiales.

El presente informe tiene por objeto proporcionar información de referencia sobre el estado actual de los conocimientos con respecto al reciclaje de artes de pesca. En el informe se examinan las tecnologías y prácticas de reciclaje de artes de pesca, las medidas técnicas y los instrumentos de política y reglamentarios que pueden apoyar el reciclaje de artes de pesca, así como consideraciones en materia de economía circular para las artes de pesca. El reciclaje de artes de pesca es un campo en rápida evolución y, por ello, el presente informe presenta una visión de conjunto de las tecnologías actuales. Se dirige a un público muy variado, desde los que no están familiarizados con las posibilidades de reciclaje de artes de pesca, hasta los más comprometidos con la cuestión de los ALDFG y las EOLFG o que participan en el sector del reciclaje y trabajan para fomentar un enfoque de economía circular para la gestión de las artes de pesca. Esto puede incluir a responsables de la formulación de políticas, administradores, autoridades de reglamentación, autoridades portuarias, investigadores y organizaciones no gubernamentales, entre otros.

En la **primera parte** de este informe se proporciona una visión general de las **tecnologías y prácticas de reciclaje de artes de pesca** actuales y se analizan los retos y oportunidades de las diversas opciones de reciclaje de artes de pesca. El informe abarca los procesos de reciclaje primario y secundario (mecánico), terciario (reciclaje químico, recuperación química y conversión térmica) y cuaternario (valorización energética). Los diferentes procesos permiten la recuperación, el tratamiento y el reciclaje de una gran variedad de artes de pesca, incluidos sus materiales constituyentes y polímeros plásticos. La calidad y la diversidad de los materiales que componen las artes de pesca no deseadas (es decir, los ALDFG y las EOLFG) plantean una serie de retos para su reciclabilidad. Debido a que los ALDFG y, en menor medida, las EOLFG, incluyen a menudo cantidades considerables de contaminantes orgánicos e inorgánicos debido a su uso en el medio marino, los procesos de reciclaje dependen del nivel de contaminación, así como de los grados de pureza de los polímeros que componen las artes.

El **reciclaje mecánico (reciclaje primario y secundario)** suele adoptarse como método principal de reciclaje de artes de pesca debido a su capacidad para transformar materiales plásticos en componentes de menor tamaño como pellets y granulados, que pueden ser reciclados en distintos productos plásticos. Se trata de una tecnología bien conocida y ampliamente disponible para procesar residuos plásticos, como los plásticos utilizados para el empaquetado. El reciclaje mecánico es generalmente la opción de reciclaje de artes de pesca más económica, ya que consume la menor cantidad de energía. No obstante, el reciclaje mecánico de artes de pesca suele presentar algunos inconvenientes, entre los que cabe citar los requisitos de pretratamiento de las artes de pesca en varias etapas, que requieren muchos recursos y mano de obra. A esto se suman las limitaciones

con respecto al reciclaje de artes contaminadas y de polímeros mixtos. Los procesos de reciclaje secundario también son a veces objeto de críticas por no ser realmente circulares en virtud de la degradación de la calidad del material producido.

Los métodos de **reciclaje terciario (reciclaje químico, recuperación química y conversión térmica)** pueden complementar el reciclaje mecánico a través de su capacidad para reciclar artes de pesca y materiales constituyentes que no pueden ser reciclados a través de procesos mecánicos, o para producir un producto final de mayor calidad (p. ej., a través de la despolimerización, que también requiere insumos de un solo polímero, en gran medida limpio). Los procesos de reciclaje químico cambian la estructura química de los objetos de residuos plásticos para recuperar los monómeros y polímeros constituyentes, que pueden utilizarse después para crear nuevos productos. Los procesos de reciclaje químico y conversión térmica son a menudo objeto de críticas ya que pueden ser costosos, requerir mucha energía y producir subproductos peligrosos y tóxicos que requieren estrictos controles de contaminación. Los procesos de conversión térmica, que a veces, pero no siempre, se incluyen en los métodos de reciclaje terciario, producen combustibles líquidos y gaseosos. Las definiciones de reciclaje para los procesos de conversión térmica varían; por ejemplo, en Europa la producción de combustible a partir de los procesos terciarios se excluye de las definiciones de reciclaje químico, y el reciclaje se restringe a la producción de sustancias que se utilizan como productos o materias primas para la fabricación de nuevos productos. En otras regiones como América del Norte, la producción de combustible se incluye en las definiciones de reciclaje avanzado o mejorado.

En el caso de las artes de pesca que sean demasiado complicadas de reciclar o que no puedan ser recicladas mediante los procesos de reciclaje primario, secundario o terciario, se pueden utilizar las tecnologías de **reciclaje cuaternario**, a menudo denominado "**valorización energética**". Estas tecnologías utilizan la incineración para transformar las artes de pesca no deseadas en calor y vapor que pueden recuperarse para su uso como energía. Debido a las altas demandas de energía, los costosos requisitos de infraestructura y el potencial de generación de contaminación en los procesos de incineración, que por tanto requieren estrictos controles de contaminación, la valorización energética sólo debería contemplarse como una opción de reciclaje de artes de pesca si no es posible utilizar los procesos de reciclaje primario, secundario y terciario.

Existe una variedad de **medidas técnicas** para apoyar el reciclaje de artes de pesca. Las consideraciones clave en la etapa de **diseño de las artes de pesca** pueden contribuir a mejorar su reciclabilidad, como, por ejemplo: reducir al mínimo el número de polímeros mixtos en las artes; utilizar polímeros individuales claramente etiquetados; diseñar artes que puedan desmontarse fácilmente; y evitar materiales peligrosos y tóxicos que inhiban su capacidad de reciclaje y planteen problemas ambientales y sanitarios en el proceso de reciclaje. Las artes de pesca pueden marcarse para identificar la propiedad y la posición, lo que facilita su recuperación y devolución. **Marcar** las artes de esta manera contribuye a mejorar su gestión de modo que puedan ser recogidas y estar disponibles para el reciclaje al final de su vida útil. Las artes pueden marcarse también para identificar su composición material, incluida la composición polimérica, lo que facilita el desmontaje y los procedimientos de pretratamiento para el reciclaje, como la clasificación. También es necesario disponer de **instalaciones de recepción en los puertos pesqueros** especializadas para las EOLFG y los ALDFG recuperados que proporcionen a los pescadores lugares donde puedan depositar sus artes de pesca no deseadas y componentes y la chatarra procedente de las reparaciones de artes para su reciclaje. Tras la recogida de las artes de pesca no deseadas en las instalaciones portuarias de recepción, las artes pueden ser preparadas para su reciclaje en instalaciones de tratamiento de residuos centralizadas o descentralizadas, dependiendo del volumen de artes no deseadas y la ubicación de los puertos e instalaciones de reciclaje locales.

Aunque el análisis sobre la viabilidad económica de las distintas opciones de reciclaje presentadas quedaba fuera del ámbito de este informe, en él sí se analiza cómo los **instrumentos basados en el mercado (MBI)** pueden apoyar el reciclaje de artes de pesca, especialmente teniendo en cuenta los retos que encuentran los productos de plástico reciclado para competir con los nuevos productos de plástico. Los instrumentos basados en el mercado en forma de herramientas y medidas técnicas, e incluyendo políticas de gestión y medidas reglamentarias, pueden utilizarse para influir en el costo o el precio de mercado de las artes de pesca y proporcionar mecanismos para apoyar financieramente los servicios de reciclaje. Un instrumento basado en el mercado puede emplearse para incentivar y recompensar los diseños de artes de pesca reciclables y la devolución y recogida de artes de pesca no deseadas para su reciclaje, así como generar los ingresos necesarios para apoyar la infraestructura de reciclaje de artes de pesca. Entre los instrumentos basados en el mercado que pueden utilizarse para apoyar el reciclaje de artes de pesca, y que se analizan en este informe, cabe citar programas de 'recompra' de artes de pesca, planes de reembolso de depósitos, sistemas de registro y depósito, impuestos y tarifas de residuos portuarios indirectas. Los sistemas de responsabilidad ampliada del productor (EPR) también pueden desarrollarse y aplicarse para financiar y organizar la recogida y el reciclaje sistemáticos de artes de pesca y potenciar la innovación en el diseño de artes de pesca reciclables y la gestión al final de su vida útil. Estos sistemas hacen que los productores de artes de pesca: incluidos los fabricantes, montadores, importadores, distribuidores y comerciantes de artes de pesca, sean responsables del ciclo de vida completo de las artes que introducen en el mercado, así como de su recogida y transporte al final de su vida útil para la eliminación y reciclaje.

En este informe también se analizan los **instrumentos de política mundiales y regionales** relacionados con los ALDFG recuperados y las EOLFG que incluyen consideraciones en materia de reciclaje de artes de pesca, ya sea directa o indirectamente. Entre los principales instrumentos de política mundiales que se resumen figura, entre otros, una variedad de convenios, protocolos y acuerdos voluntarios de las Naciones Unidas, incluidos los de la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO), la Organización Marítima Internacional (OMI) y el Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA). A nivel regional, entre los instrumentos de política relevantes para las artes de pesca que influyen directa o indirectamente en su reciclaje cabe citar las decisiones reglamentarias y de gestión relativas a las EOLFG y los ALDFG adoptadas por las organizaciones y órganos regionales de ordenación y políticas, incluidas las organizaciones regionales de ordenación pesquera (OROP), los órganos regionales de pesca (ORP) y los programas y organizaciones de mares regionales.

La primera parte del informe concluye con un debate sobre la aplicación de los **principios de economía circular (EC) a las artes de pesca**, incluido su reciclaje. El término EC se refiere a los modelos de producción y consumo que tienen por objeto evitar los residuos y la contaminación desde el principio y a lo largo del ciclo de vida de un producto. Este planteamiento permite que los recursos y los materiales se reutilicen y reciclen en las cadenas de valor de los productos, en la medida de lo posible, permitiendo que conserven su valor y utilidad el mayor tiempo posible. Un modelo de economía circular para las artes de pesca incluye su reciclaje como una opción dentro de un conjunto más amplio de etapas en el ciclo de vida de las artes de pesca. Además, se analizan la jerarquía de residuos y los modelos y conceptos de economía circular basados en la letra R (p. ej., las tres R) para las etapas de gestión de las artes de pesca al final de su vida útil. En la jerarquía de residuos para las artes de pesca, se otorga prioridad a la prevención y la reducción de residuos, seguido de la reutilización, el reciclaje, la recuperación alternativa (incluida la valorización energética) y la eliminación. Este orden de prioridades tiene por objeto optimizar el uso de los recursos y descartar la necesidad de eliminación final (p. ej., vertederos).

Tras los debates sobre las tecnologías y procesos de reciclaje de artes de pesca, las medidas normativas y técnicas y los principios de economía circular, en la segunda parte del informe se presentan **ejemplos prácticos de reciclaje de artes de pesca** en todo el mundo. Se incluyen ejemplos de iniciativas de reciclaje de artes de pesca a escala local, nacional y regional, así como ejemplos de readaptación de artes de pesca no deseadas, reciclaje mecánico y químico y valorización energética. Además, en la segunda parte también se destacan productos innovadores fabricados a partir de artes de pesca recicladas. Se finaliza con un ejemplo de una iniciativa regional que tiene por objeto apoyar el desarrollo de la economía circular para las artes de pesca.

Los principios de economía circular y jerarquía de residuos destacados en este informe pueden fundamentar mejor el ciclo de vida completo de las artes de pesca desde la etapa de diseño hasta la gestión al final de su vida útil. Las distintas tecnologías de reciclaje de artes de pesca, junto con las medidas técnicas y los instrumentos de política resumidos, proporcionan información sobre la variedad de opciones de reciclaje de artes de pesca en todo el mundo. La gama y diversidad de tipos de artes utilizados a nivel mundial y local exigen diferentes capacidades nacionales y regionales para apoyar el reciclaje de artes de pesca. Tanto en términos tecnológicos como mediante sistemas y marcos eficaces de gestión de residuos, las distintas artes requieren en última instancia una combinación de medidas de reciclaje e intervenciones complementarias que se adapten a las necesidades y capacidades de cada país, región y localidad y sus correspondientes técnicas de pesca.



© FAO/Bureo

Primera parte: Métodos de reciclaje de artes de pesca, medidas técnicas, instrumentos de política y consideraciones en materia de economía circular


© FAO/Correo

1. Métodos de reciclaje de artes de pesca, medidas técnicas, instrumentos de política y consideraciones en materia de economía circular

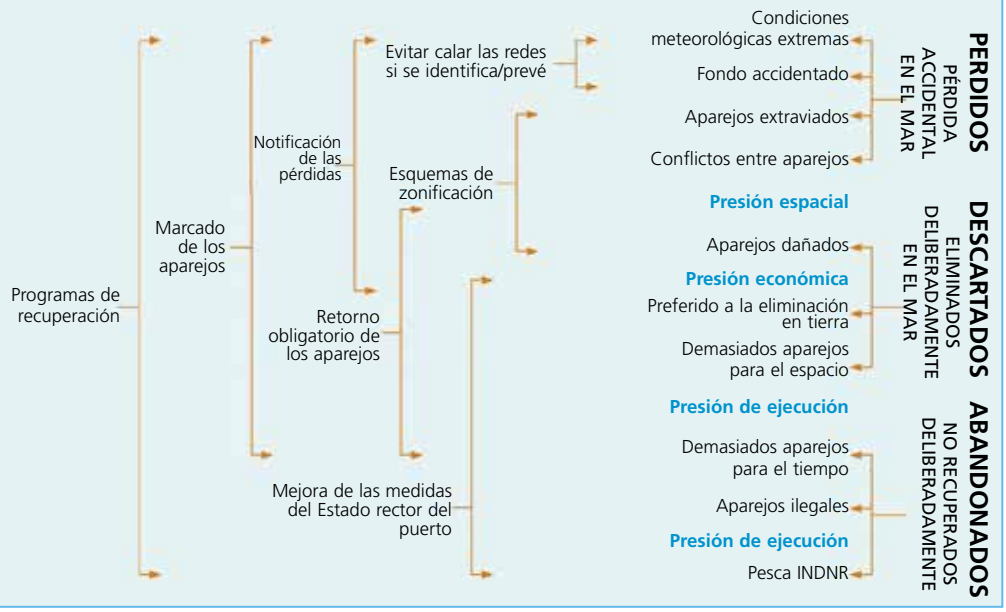
1.1 INTRODUCCIÓN

El aumento de la basura plástica marina durante el último medio siglo ha agravado las presiones derivadas de una creciente lista de factores de estrés ambiental, incluido el cambio climático y la pesca excesiva (FAO, 2020; Lebreton *et al.*, 2018). Si bien se reconoce ampliamente que la mayoría de la basura plástica marina mundial tiene su origen en fuentes terrestres, las fuentes marinas incluida la pesca, el transporte marítimo, las operaciones de dragado y las actividades de extracción de petróleo y gas en alta mar, entre otros, introducen cantidades considerables de basura en los océanos del mundo. La FAO (2021) señaló un uso anual de 2,1 millones de toneladas de productos plásticos en los sectores de la pesca y la acuicultura. Aunque no se conoce qué proporción de esta cantidad total termina siendo basura marina, la categoría de residuos plásticos problemáticos más ampliamente reconocida producida por el sector pesquero son las artes de pesca no deseadas, las cuales suelen denominarse y clasificarse generalmente como artes de pesca al final de su vida útil (EOLFG) o aparejos de pesca abandonados, perdidos o descartados (ALDFG).

Según las *Directrices voluntarias sobre el marcado de las artes de pesca* (VGMFG) de la FAO (FAO, 2019a), por "aparejo de pesca abandonado" se entiende el arte de pesca sometido al control de un operador o propietario y que este podría recuperar, pero que se deja en el mar deliberadamente por causas de fuerza mayor u otras razones imprevistas; por "aparejo de pesca perdido" se entiende el arte de pesca cuyo control ha perdido accidentalmente el propietario u operador y que este no puede localizar o recuperar; mientras que por "aparejo de pesca descartado" se entiende el arte de pesca que se libera en el mar sin que se realice ningún intento de control o recuperación posterior (FAO, 2019a).

Los aparejos de pesca abandonados, perdidos o descartados (ALDFG), que también suelen denominarse "artes fantasmas", son por consiguiente una fuente importante de basura marina, con graves repercusiones ambientales y socioeconómicas negativas para los hábitats marinos y costeros, las poblaciones de peces y otras especies marinas. También entrañan riesgos para la navegación y la seguridad en el mar (Macfadyen *et al.*, 2009). Según Richardson *et al.* (2022), casi el 2 % de todas las artes de pesca entran en los océanos del mundo cada año, lo que significa más de 25 millones de nasas y trampas, 75 049 km^2 de redes de cerco con jareta, 218 km^2 de redes de arrastre y 739 583 km de líneas de palangre. Las estimaciones de la cantidad de ALDFG que entran en los océanos cada año, así como sus causas, son útiles para elaborar y aplicar intervenciones y soluciones de gestión encaminadas a reducir las pérdidas de artes (Richardson *et al.*,

FIGURA 1. CATEGORÍAS Y CAUSAS DE LOS APAREJOS DE PESCA ABANDONADOS, PERDIDOS O DESCARTADOS (ALDFG) Y POSIBLES MEDIDAS PARA ABORDARLOS



Fuente: Modificado y adaptado de WWF (2020). *Ghost Gear Legislation analysis.* Informe de Ocean Outcomes, la Iniciativa Global contra las Redes de Pesca Fantasmas (GGGI) y el Fondo Mundial para la Naturaleza (WWF)..

2021; Stöfen-O'Brien *et al.*, 2022). En la Figura 1 se resumen las causas principales de los ALDFG, junto con las medidas de prevención, mitigación y recuperación relacionadas.

Si bien los aparejos de pesca pueden abandonarse, perderse o descartarse en el océano provocando una gran variedad de repercusiones ambientales y socioeconómicas negativas, también se entregan a menudo en los puertos cuando el desgaste, el envejecimiento o los daños los hace inservibles. En general, estas artes se denominan "artes de pesca al final de su vida útil" (EOLFG) y suelen ser recogidas por pescadores, empresas pesqueras o cooperativas y eliminadas en los sistemas ordinarios de gestión de residuos. Por ejemplo, pueden ser eliminadas en un cubo de reciclaje o contenedor de residuos, y llevadas después a un vertedero o una instalación de incineración junto con otros residuos domésticos o comerciales; en algunos casos, pueden descargarse en contenedores especializados para EOLFG. Si existe una infraestructura de eliminación de residuos, la eliminación responsable de EOLFG en los puertos puede evitar que las artes de pesca no deseadas acaben abandonadas, perdidas o descartadas en el mar. No obstante, los puertos y los municipios no suelen disponer de sistemas de eliminación especializados para las artes de pesca, lo que puede actuar como un elemento disuasorio para que los pescadores encuentren medios responsables y alternativos para la eliminación de sus artes de pesca no deseadas fuera de los vertederos (Bertling y Nühlen, 2019).

La eliminación de ALDFG y EOLFG en vertederos o mediante quema a cielo abierto o incineración de residuos sin la recuperación de energía da lugar a la pérdida de recursos valiosos que podrían recuperarse de otro modo, así como a peligros para la salud y el medio ambiente como los gases tóxicos producidos en la quema a cielo abierto (PNUMA, 2021b). El reciclaje de estas artes recuperadas puede reducir y mitigar las numerosas repercusiones ambientales y socioeconómicas que provocan. No obstante, según Stolte *et al.* (2019), el reciclaje extensivo de ALDFG es actualmente casi imposible. Hay dos factores especialmente importantes: 1) la calidad inadecuada de los

materiales que se van a reciclar debido a la contaminación y 2) la falta de pureza de un solo polímero debido a las combinaciones de múltiples materiales. Además, los ALDFG requieren la eliminación manual de basura, contaminantes orgánicos, sedimentos y otros materiales enredados en ellos antes de que puedan ser procesados para su reciclaje, lo que consume mucho tiempo y es a menudo costoso. Un desconocimiento general de la composición material y polimérica de las artes de pesca y sus propiedades da lugar a retos adicionales con respecto al reciclaje eficaz de ALDFG y, en menor medida, el reciclaje de EOLFG.

En comparación con los ALDFG, las EOLFG son más fáciles de reciclar debido a unos niveles de contaminación inferiores en términos generales y unas proporciones menores de artes y componentes mezclados y enredados, con requisitos de preparación y tratamiento más sencillos (Stolte *et al.*, 2019). Debido a esto, la gran mayoría de las empresas de reciclaje de artes de pesca reciclan casi exclusivamente EOLFG. En la Sección 1.2.5 se analizan las oportunidades y los retos con respecto al reciclaje de EOLFG y ALDFG, incluidas consideraciones sobre el diseño de artes, los materiales y las tecnologías disponibles.

1.2 RECICLAJE DE ARTES DE PESCA

Uno de los principales objetivos de este informe es investigar métodos prácticos para el reciclaje de artes de pesca. En esta sección se sintetiza información acerca de una variedad de tecnologías y procesos disponibles para reciclar las artes de pesca. Se incluyen consideraciones en materia de reciclabilidad de los materiales de las artes de pesca desde las etapas de diseño y fabricación hasta la recogida y la preparación para el reciclaje al final de su vida útil. Teniendo esto en cuenta, se examinan las características físicas y químicas de las artes de pesca no deseadas, junto con el debate sobre cómo afectan estas características a su potencial de reciclaje. También se analizan los requisitos de preparación de las artes de pesca no deseadas para los procesos de reciclaje, incluida la recogida, clasificación, desmontaje, limpieza y corte/triturado/molienda. Esta sección termina con un debate sobre las oportunidades y los retos que presentan estas tecnologías y procesos, así como las circunstancias en las que un método de reciclaje puede ser más adecuado que otros.

1.2.1 Diseño y fabricación de las artes de pesca

Las artes de pesca se diseñan y fabrican con materiales de alta resistencia que contienen valiosas propiedades mecánicas y físicas necesarias para capturar y atrapar especies objetivo. En la construcción de artes de pesca se puede utilizar una gran variedad de materiales diferentes, y a menudo una combinación de ellos, incluidos diversos polímeros plásticos, metales (principalmente plomo y acero), madera e hilos y fibras naturales (véase la Sección 1.2.2).

Según Charter *et al.* (2020), entre las consideraciones importantes para el diseño y desarrollo de productos de artes de pesca cabe citar:

- Aspectos funcionales: las artes deberán incluir diseños específicos para cada especie que sean apropiados para las condiciones del medio acuático; los métodos de pesca empleados también deberán tenerse en cuenta cuando se diseñan equipos.
- Personalización: las artes deberán diseñarse para adaptarse a la técnica pesquera y la actividad del operador. Véase el Cuadro 1. Componentes y materiales de las artes de pesca por principales tipos de artes y la Clasificación y definición ilustrada de los artes de pesca (He *et al.*, 2021) para obtener información más detallada sobre la clasificación de las artes de pesca, incluidos los tipos, componentes, materiales y estructura comunes.
- Elección de materiales y durabilidad: los equipos de pesca deben soportar duras condiciones marinas y acuáticas. Por consiguiente, los polímeros de nilón, polipropileno y polietileno se suelen trenzar o retorcer para incrementar

la resistencia del material en la construcción de redes y cuerdas de pesca. Los materiales plásticos más modernos, como los que emplean polietileno de peso molecular ultra-alto (UHMWPE) (p. ej., Dyneema®), pueden prolongar la longevidad de las redes y cuerdas de pesca y se utilizan a menudo en las artes para potenciar la productividad y la eficiencia pesqueras; entre otras cosas, reducen el consumo de combustible y los costos energéticos de los buques pesqueros gracias a una menor resistencia y una mayor durabilidad en el medio marino. Al final de su vida útil, estos sofisticados materiales tecnológicos pueden presentar retos en cuanto a su reciclaje, especialmente debido a la fibra del UHMWPE. La estructura polimérica de este polietileno cambia a bajas temperaturas, lo que da lugar a productos extruidos inservibles (es decir, reciclaje mecánico, véase la Sección 1.2.4.1) y requiere procesos de reciclaje químico (véase la Sección 1.2.4.2).

- Mecanismos de fallos: los fallos de las artes pueden deberse a la deformación y el cizallamiento de las artes. Si bien es importante diseñar para la durabilidad, las artes de pesca también deberían diseñarse para prevenir, en la medida de lo posible, los fallos conocidos derivados de circunstancias controlables y a veces externas, como la sobrecarga, el esfuerzo y los daños. En el caso de que las artes de pesca se abandonen, pierdan o descarten, también pueden diseñarse con mecanismos para prevenir, reducir y minimizar los impactos derivados de la pesca fantasma: la capacidad de las artes de continuar capturando y atrapando especies objetivo y no objetivo tras convertirse en ALDFG, como la incorporación de componentes de artes biodegradables en los mecanismos de escape de las nasas o trampas.
- Inclusión de materiales y componentes especializados: algunos ejemplos son los metales que pueden incorporarse en los diseños de artes de pesca cuando sea necesaria una construcción rígida y especialmente fuerte, como en el caso de trampas, anzuelos y plomadas. Las artes de pesca también pueden incluir componentes adicionales como dispositivos acústicos de disuasión que emiten sonidos para ahuyentar a peces no objetivo más grandes o mamíferos marinos que pueden quedar enredados y ocasionar daños en ellas. Los recubrimientos a base de cobre y otros recubrimientos antiincrustantes de biotoxina se añaden a veces a las redes y cuerdas, especialmente en las operaciones de acuicultura (Basurko *et al.*, 2023).

Las conversaciones con los fabricantes de artes de pesca revelaron que la formación, las herramientas y las metodologías formales de diseño y desarrollo de productos se utilizan con menos frecuencia en el sector de las artes de pesca en comparación con otros sectores de fabricación (Charter *et al.*, 2020). Los productores de artes de pesca tampoco suelen formalizar o hacer públicos sus procesos de diseño y desarrollo de productos, ya que a menudo se basan en conocimientos y experiencias de expertos individuales e incluyen un nivel importante de protección de la propiedad intelectual. Esto da lugar a grandes lagunas de conocimiento sobre la composición material de las artes de pesca, incluida la selección y la mezcla de diferentes polímeros y aditivos, lo que complica la capacidad de reciclarlas de manera eficaz al final de su vida útil.

Las mezclas a menudo complejas de materiales y polímeros en las artes de pesca que se requieren teniendo en cuenta las consideraciones en materia de diseño expuestas anteriormente, así como la falta de información pública sobre la composición material y polimérica de las artes por parte de los diseñadores y fabricantes, pueden complicar la eventual reciclabilidad de las artes de pesca al final de su vida útil. En la Sección 1.2.2 se analiza la variedad de materiales reciclables presentes en las artes de pesca no deseadas, incluidos los retos y los obstáculos para el reciclaje derivados de estas complejas mezclas de materiales y polímeros. En la Sección 1.3.1 se examinan las oportunidades y estrategias de diseño para superar estos retos y obstáculos a fin de mejorar la reciclabilidad de las artes de pesca.

1.2.2 Materiales reciclables de las artes de pesca

Hasta la década de 1960, los equipos de pesca se fabricaban principalmente con metales, madera y fibras naturales (p. ej., lino, cáñamo, algodón), que se degradan en medios acuáticos (Andrady, 2015). Inventado hace poco más de un siglo, el plástico es actualmente el material más ampliamente utilizado en operaciones pesqueras debido a la evidente ventaja en términos de versatilidad, resistencia y vida útil, además de un cambio en todo el sector hacia las artes de pesca de plástico (Feary *et al.*, 2020).

En los equipos de pesca se utiliza una variedad de polímeros plásticos. Entre los principales tipos de polímeros utilizados para fabricar la mayoría de las redes de pesca cabe citar el nilón o la poliamida (PA) (incluida la poliamida aromática o aramida), el polietileno de baja densidad y de alta densidad (PEBD y PEAD), el tereftalato de polietileno (PET) (a menudo en forma de poliéster (PES)) y el polipropileno (PP). No obstante, la mayoría de las redes de pesca modernas pueden estar compuestas de cientos de diferentes combinaciones de estos polímeros y otros materiales. La cuerdas suelen estar compuestas de PP o PES, mientras que los flotadores y boyas, las cajas de cebo y el equipo de alimentación suelen fabricarse con poliestireno (PS) y a veces poliuretano (PU), y muchos flotadores y boyas también se fabrican a menudo con PET (Feary *et al.*, 2020). También se emplean otros polímeros más duros en artes y accesorios, como PEAD, que se utiliza en rastras, jaulas de acuicultura y algunas redes de pesca. Algunas artes de pesca también pueden incluir materiales naturales no sintéticos incluida la madera, las fibras naturales y los algodones orgánicos (p. ej., trampas para langosta de madera, fibras naturales en dispositivos de concentración de peces (DCP), hilos de algodón utilizados en mecanismos de escape biodegradables en algunas pesquerías con nasas o trampas). En ciertos casos, los componentes importantes de las artes de pesca, como las redes y cuerdas, pueden tratarse con recubrimientos a base de cobre y otros recubrimientos antiincrustantes de biotoxina (Basurko *et al.*, 2023), lo que complica y a veces prohíbe el reciclaje y otros métodos de readaptación o eliminación respetuosos con el medio ambiente. En el Cuadro 1. Componentes y materiales de las artes de pesca por principales tipos de artes se exponen los componentes y la composición material de las artes de pesca comunes por principales tipos de artes.

Muchos de los polímeros sintéticos, como el polipropileno (PP), el polietileno (PE) y la poliamida (PA), encontrados en las artes de pesca representan polímeros de alto valor en el mercado del reciclaje. Las EOLFG y los ALDFG recuperados pueden ser reintroducidos en el ciclo de fabricación como materias primas valiosas cuando se emplean procedimientos de separación y limpieza eficaces (véase la Sección 1.2.3). Por ejemplo, el nilón (PA) puede ser reciclado en fibras textiles y materiales para alfombras y el PP/PE puede ser reciclado en palés y otros objetos domésticos como cubos y bandejas (Wong, 2022).

No obstante, la variedad de materiales y mezclas de polímeros presentes en las artes de pesca complica a menudo los esfuerzos de reciclaje debido a la necesidad de separar distintos tipos de materiales, especialmente los diferentes polímeros plásticos que forman un solo componente de las artes. Esto ocurre en el reciclaje mecánico y algunos procesos de reciclaje químico y puede generar la necesidad de procesos más complejos y costosos, como la recuperación química, la conversión térmica y la incineración.

CUADRO 1. COMPONENTES Y MATERIALES DE LAS ARTES DE PESCA POR PRINCIPALES TIPOS DE ARTES

Tipo de arte	Estructura del arte	Composición material del arte
Redes de cerco - Redes de cerco - Alrededores	Red en forma de bolsa o jareta con un copo o sección de "recolección"; bordes definidos por una línea de jareta con cabo de jareta; línea de flotación con flotadores; línea de plomos; líneas de tiro	Red: fibras de polímero tejidas, p. ej., PA/nilón, PES Líneas: fibras de polímero, p. ej., PP, PE, UHMWPE, PA Flotadores: PVC, EVA Plomada: plomo Anillas de jareta: hierro o latón
Redes de tiro - Chinchorros de playa (SB) - Redes de tiro desde embarcaciones (SV)	Redes de paredes largas con líneas de flotación y de plomos, pueden tener o no copo	Red: PE, PA Líneas de flotación: PP/PE/PA con flotadores de PVC/ABS Líneas de plomos: igual que el anterior con plomos u otros pesos
Redes de arrastre - Redes de arrastre de varas - Redes de arrastre de fondo - Redes de arrastre pelágico	Paneles de red superiores, inferiores y laterales y un copo, con línea de flotación (relinga superior) y línea de plomos (relinga inferior), cabos de anillas/barrido y cabo de remolque, +/- puertas de arrastre	Red: fibras de polímero tejidas de PA/nilón, PE, ocasionalmente de UHMWPE Líneas: PP/PA/UHMWPE Líneas de plomos: igual que el anterior con caucho, ABS o bloques de metal Puertas de arrastre: acero, vigas de madera: metal, madera, bambú
Rastras - Rastras para embarcación *(Rastras mecanizadas, rastras de mano)*	Marco de metal con "barra de corte" en el borde inferior y bolsa de malla o cadena sujeta; las rastras mecanizadas incluyen una bomba hidráulica de alta presión; las rastras de mano (artesanales) emplean normalmente un palo que termina en un marco de metal con una bolsa de malla con púas en su borde inferior	Red: PE o cadena metálica Marco y barra de corte: hierro
Redes izadas - Redes izadas *(portátiles, estacionarias, para embarcación, de playa)*	Red, líneas de izado y líneas de plomos, palos laterales	Red: fibra de PE/PA Líneas de izado: fibra de PA/PP Líneas de plomos: igual que las líneas de izado con bloques de plomo Postes: natural, PVC/ABS o metal
Redes de caída - Redes de caída *(esparaveles, nasas cubiertas)*	Red sujeta a líneas de mano o de salabardo y línea de plomos	Red: fibras de PA/PES Líneas de plomos: PVC/ABS con bloques de plomo
Redes de enmalle y de enredo - Redes de enmalle *(caladas, de deriva, de cerco)* - Redes de enredo *(redes de trasmallo)*	Red de pared simple o de tres paredes; líneas de flotación (relingas superiores) y líneas de plomos (relingas inferiores), boyas, +/- anclajes (para redes de enmalle caladas)	Red: nilón monofilamento (PA) o fibras tejidas compuestas de PES, nilón o PE Relinga superior: PP/PE con flotadores de PVC/EVA/ABS/PS expandido Líneas de plomos: PP o PES con bloques de plomo o núcleo de plomo Boyas: vinilo/PVC/PUR
Trampas - Grandes redes estacionarias o presas	Red; línea de flotación (relinga superior) y línea de plomos (relinga inferior); varas o marcos en forma de T para extender la red; anclajes y boyas	Red: fibras de polímero tejidas, normalmente PE Líneas de flotación y de plomos: PP/PA con flotadores de PVC/EVA y plomada de plomo Estructuras en forma de T o varas: tubos de "plástico" o acero, o materiales naturales (p. ej., madera, bambú) Boyas: PVC /PUR/vinilo Fondeo: hierro
Nasas	Las nasas son normalmente estructuras de metal o madera con malla sintética o de alambre	Nasa: alambre recubierto de PVC, madera, red de PE Cuerda: PP Fondeo: hierro
Anzuelos y líneas - Líneas de mano y cañas *(manuales, mecanizadas, curricanes y líneas verticales)* - Palangre *(palangres calados y a la deriva)*	Línea madre, ramales, anzuelos, señuelos, flotadores y plomada	Línea madre y ramales: multifilamento de PP/PA, monofilamento de PA Anzuelos: acero Señuelos: metal, PVC, caucho Flotadores: PVC Plomada: plomo

Notas: Los principales tipos de artes de pesca se clasifican según la *Clasificación estadística internacional uniforme de las artes de pesca* de la FAO (FAOISSCFG) (FAO, 2010, 2016a; He *et al.*, 2021; Nédelec y Prado, 1990).
Fuente: Modificado y adaptado de GESAMP (2021). *Sea-based sources of marine litter*. En: Gilardi, K., ed. Grupo Mixto de Expertos OMI/FAO/UNESCO-COI/OMM/OMS/OIEA/Naciones Unidas/PNUMA/ISA sobre los Aspectos Científicos de la Protección del Medio Marino, GESAMP Grupo de trabajo 43, 2021. Informe y estudios No 108 (http://www.gesamp.org/publications/sea-based-sources-of-marine-litter).

1.2.3 Preparación de las artes de pesca para el reciclaje

Tanto los ALDFG como las EOLFG requieren operaciones de clasificación y tratamiento manual e instalaciones para prepararlos para el reciclaje (Stolte *et al.*, 2019); esto es especialmente cierto en el caso de las redes, cuerdas y trampas, que a menudo tienen muchas piezas y componentes. Además, los niveles de contaminación generalmente muy altos de los ALDFG recuperados (en comparación con las EOLFG) afectan de manera significativa al proceso de tratamiento anterior al reciclaje. Las mezclas de sal, arena, piedras, madera, tejidos, biota marina y otros contaminantes y desechos absorbidos pueden contaminar las artes de pesca después de largos periodos en agua salada (Van Meel, 2022). Si se anima a los pescadores a recuperar los ALDFG encontrados en el mar, se debe establecer un procedimiento de gestión de residuos para los materiales recuperados que sea capaz de gestionar la presencia de polímeros mixtos, sustancias biológicas, basura marina, objetos metálicos y contaminación por rocas y plomo. El procedimiento de gestión de residuos también deberá poder gestionar la separación de porciones nocivas y tóxicas de las artes recuperadas y triturar grandes lotes de materiales mezclados sin causar daños en el equipo disponible. Por ello, el reciclaje de ALDFG requiere un proceso de múltiples etapas y alto costo que incluye la clasificación manual y la limpieza de contaminantes, así como la separación de los diferentes plásticos. Debido a esta variedad de retos relacionados con el procedimiento de pretratamiento, los ALDFG recuperados suelen adaptarse mejor a algunos procesos de reciclaje terciario, como el reformado con vapor (véase el Anexo 1.2), así como otros procesos de valorización energética (véase la Sección 1.2.4.3), en lugar de los procesos de reciclaje mecánico (véase la Sección 1.2.4.1).

Por el contrario, las EOLFG están mucho más disponibles para el reciclaje y requieren menos pretratamiento en comparación con los ALDFG. Por ejemplo, Bertling y Nühlen (2019) estimaron una proporción de reciclaje anual de 1:3 entre los ALDFG y las EOLFG en la región del mar Báltico en sus exámenes sobre el reciclaje de estas artes no deseadas. Ya que las EOLFG se utilizan normalmente hasta el día en que se eliminan, suelen contener menores cantidades de contaminantes, incluidos sal, sedimentos y materia orgánica, en comparación con los ALDFG. Aunque la limpieza sigue siendo necesaria, normalmente necesitan menos mano de obra que los ALDFG.

La decisión de recoger EOLFG y ALDFG con otros residuos se basa no solo en la cantidad de materiales sino también en la técnica de reciclaje seleccionada. Se recomienda la recogida por separado para el reciclaje mecánico (primario y secundario) y químico (terciario), a fin de reducir al mínimo la contaminación y los enredos y evitar que el tratamiento futuro sea excesivamente oneroso. En algunos casos, no obstante, si los volúmenes totales comparativos de ALDFG y EOLFG son lo suficientemente pequeños y los materiales de ALDFG están tratados previamente para permitir su posterior reciclaje, entonces estas artes pueden procesarse a veces mecánicamente de manera conjunta. Por ejemplo, se estimó que los ALDFG representaron menos de un 1 % del total de las artes de pesca recogidas anualmente en un municipio de Suecia, y el resto de ellas fueron EOLFG (Stolte *et al.*, 2019). Debido a que el volumen de "material bueno" procedente de las EOLFG (es decir, material disponible de forma inmediata para el reciclaje, como polímeros compatibles o sin mezclar y materiales no contaminados) fue mucho mayor que los volúmenes de materiales mezclados procedentes de los ALDFG, se determinó que estos podrían procesarse junto con las EOLFG. Además, las EOLFG o los ALDFG pueden recogerse por lo general junto con la basura residual en el caso de valorización energética en instalaciones de incineración, ya que este proceso no requiere grados de pureza de los polímeros ni ausencia de contaminación (Bertling y Nühlen, 2019).

Los procedimientos de pretratamiento para el reciclaje pueden variar con arreglo al tipo de arte de pesca y el método de reciclaje, los recursos disponibles (personal, herramientas e infraestructura) y el estado de las artes de pesca. Los procedimientos de

pretratamiento consisten principalmente en: la clasificación, el desmontaje y la limpieza de los componentes de las artes (especialmente donde pueda haber sedimentos, bioincrustación y otro tipo de contaminación); la separación por tipo de polímero (p. ej., PA, PP, PE y PET siempre deben estar diferenciados); la eliminación de las líneas de plomos, cuando existan, para evitar una contaminación nociva; y el corte o triturado de los materiales de la red en tamaños aceptables para el tratamiento posterior (Stolte *et al.*, 2019).[1] En la Sección 1.2.4.1 se examinan con mayor detalle cada uno de estos procedimientos de pretratamiento.

Dado que los ALDFG y las EOLFG han estado expuestos al agua salada durante largos periodos de tiempo, también es necesario lavarlos para reducir el contenido de sal y cualquier sedimento residual o acumulado antes de las etapas de tratamiento necesarias para el reciclaje. Se pueden utilizar limpiadoras a presión o procesos de compostaje para limpiar los ALDFG y las EOLFG más contaminadas (Stolte *et al.*, 2019). Antes de continuar con el tratamiento, los pescadores pueden dejar que los ALDFG se fertilicen con compost en barriles para eliminar las impurezas orgánicas como algas, hierbas marinas y biota marina (Stolte *et al.*, 2019). El compostaje es una manera sencilla y económica de eliminar las materias orgánicas antes de seguir procesando las artes de pesca para su reciclaje. No obstante, se debe facilitar el acceso a los barriles y su entorno en secciones del puerto donde las emisiones del compostaje no molesten a los usuarios del puerto. En el caso de las EOLFG y algunos objetos de ALDFG recuperados, también pueden limpiarse en el mar antes de traerlos a tierra. El almacenamiento adecuado y un envío puntual a la empresa de reciclaje apropiada son importantes en el caso de las EOLFG devueltas, a fin de evitar la contaminación por arena y suciedad que pueda penetrar en las fibras de las artes de pesca mientras estén en tierra, así como la radiación ultravioleta que pueda provocar su degradación.

El tipo de arte de pesca que se prepara para el reciclaje también influirá en el método de reciclaje empleado y los correspondientes procedimientos de pretratamiento requeridos por la infraestructura de reciclaje. Por ejemplo, las redes de enmalle pueden ser un tipo de arte especialmente complicado de reciclar de manera mecánica debido a la necesidad de retirar las líneas de plomo y las plomadas y de separar los diferentes tipos de materiales manualmente, así como de separar polímeros de alta y baja densidad (Stolte *et al.*, 2018). Durante el proceso de limpieza, las fibras finas de poliamida utilizadas en la malla tejida de la red de enmalle tienden a ahuecarse y formar conglomerados con otras sustancias como fragmentos de polipropileno (PP) y polietileno (PE), así como materiales residuales orgánicos que no se eliminaron durante la etapa de limpieza. Estos materiales son difíciles de homogeneizar y sólo algunos ajustes de la máquina extrusora de reciclaje mecánico permiten que estas esponjosas "bolas de fibra" se utilicen como material de entrada (Stolte *et al.*, 2019).[2] En estas circunstancias, a menudo se considera que las redes de enmalle son mejores candidatas para el tratamiento térmico debido a los menores requisitos de pretratamiento y las tecnologías que pueden tratar más eficazmente los polímeros mixtos que se encuentran en muchas redes de enmalle. Otros polímeros que componen las artes y sus componentes pueden ser relativamente más sencillos de preparar para el reciclaje. Un ejemplo es la poliamida, especialmente las cuerdas de poliamida 6 (PA6) que se trituran fácilmente tras la preclasificación; las fibras lavables de estas cuerdas producen un tejido extremadamente limpio que se asemeja a la lana cruda por su aspecto y tacto (Bertling y Nühlen, 2019). No sólo los distintos requisitos de cada tipo de artes de pesca, sino también la composición

[1] Según estudios anteriores, muchas empresas de reciclaje requieren que las redes y cuerdas se corten en trozos de 50 cm o se trituren en fibras de 24 cm de longitud (Stolte *et al.*, 2019).

[2] En el análisis sobre la fase de corte y triturado de la etapa de pretratamiento de las artes de pesca no deseadas que se recoge en la Sección 1.2.4.1, se menciona cómo las cortadoras de guillotina pueden dar lugar a un menor esponjamiento de las fibras de las artes de enmalle en comparación con las trituradoras industriales.

polimérica y el nivel de contaminación determinarán qué método de reciclaje deberá utilizarse y qué grado de preparación será necesario (en la Sección 1.2.4 se incluyen más detalles al respecto).

Basándose en Stolte *et al.* (2019), a continuación se resumen algunos ejemplos de los pasos a seguir para preparar diferentes artes para su reciclaje:

- Trampas: para reducir el volumen de tránsito, las trampas pueden aplastarse con una prensa hidráulica. Las mallas de plástico utilizadas en las trampas pueden fundirse para recuperar el metal para su reciclaje. En los casos en que las instalaciones de reciclaje no puedan separar los materiales compactados, la segregación también puede realizarse antes de la compactación para facilitar el reciclaje de los diferentes materiales de las artes.
- Redes de enmalle: pueden cortarse en porciones de 12 m (para facilitar su transporte y tratamiento), eliminando las líneas de plomos. Las redes de enmalle limpias pueden transportarse a empresas especializadas para su reciclaje, incluido el reciclaje mecánico y la despolimerización para obtener hilados.[3]
- Redes de arrastre: se fabrican con una variedad de materiales que pueden separarse durante el desmontaje. La malla deberá cortarse en secciones o trozos para facilitar su transporte y tratamiento.
- Los materiales de los accesorios y componentes, como flotadores, cables, cuerdas, líneas de plomos y plomadas, a menudo pueden ser retirados y reutilizados. En comparación, debido a que las aberturas de malla y la solidez de la fibra en las redes de pesca disminuyen con el tiempo y la exposición al medio marino, los materiales de las redes no se pueden volver a utilizar por lo general.

La educación y la formación del personal pertinente implicado en la preparación de las artes de pesca para su reciclaje pueden ayudar a garantizar una clasificación más eficaz de las distintas artes de pesca para las adecuadas etapas de pretratamiento para el reciclaje, mediante la identificación de las características de los materiales de un arte, incluidos los tipos básicos de polímeros presentes. La participación de los pescadores, así como de los productores y proveedores de las artes, en estas iniciativas de educación y formación puede mejorar la calidad de la clasificación, dado su conocimiento y experiencia de los materiales.

También existen tecnologías que ayudan a identificar los polímeros presentes en las artes de pesca. Por ejemplo, existen innovaciones que utilizan la técnica de espectroscopía Raman para identificar las distintas composiciones poliméricas de las artes de pesca (Horiba Scientific, 2023a). La espectroscopía Raman es un tipo de análisis químico que utiliza técnicas de dispersión de luz del láser para interactuar con los enlaces químicos de los materiales y proporcionar información sobre la estructura química y la composición de los diferentes materiales (Horiba Scientific, 2023b). Esta tecnología puede distinguir entre diferentes clases de polímeros (p. ej., polietileno y nilón), así como los polímeros dentro de una clase de polímero (p. ej., nilón 6 y nilón 6,6) (Horiba Scientific, 2023a), que no pueden ser reciclados mecánicamente en el mismo flujo de residuos debido a sus diferentes propiedades físicas. La espectroscopía de infrarrojo cercano (NIR) puede utilizarse también para analizar materiales a nivel molecular e identificar así los diferentes tipos de polímeros. Por ejemplo, los espectrómetros de infrarrojo cercano de la compañía trinamiX pueden detectar una amplia gama de tipos de polímeros y compartir los resultados en una aplicación de móvil cuyos datos se almacenan en la nube; estas tecnologías se han utilizado en Alaska

[3] Por ejemplo, la iniciativa Net Positiva de Bureo recicla redes de enmalle de manera mecánica para obtener granulados para aplicaciones de plástico duro, como monopatines y gafas de sol. A la fecha de este informe, Aquafil es la única empresa conocida que utiliza la despolimerización para redes de enmalle a escala industrial. Un ejemplo de una iniciativa a menor escala es la empresa Popsicase en Barcelona, España, que somete las redes de enmalle a despolimerización para producir fundas para móviles.

y el golfo de Carpentaria para identificar los tipos de polímeros en ALDFG (Hardman, 2021; trinamiX GmBH, 2023).

Stolte *et al.* (2019) también han documentado los tipos de asistencia necesaria en apoyo a la preparación de artes de pesca no deseadas para su reciclaje. Entre ellos cabe citar:

a) **educación sobre las características de los materiales de las artes de pesca no deseadas,** incluido el reconocimiento de los tipos básicos de polímeros y la identificación de las artes de pesca que pueden ser pretratadas para el reciclaje mecánico (reciclaje primario y secundario), en comparación con las que están demasiado contaminadas y requieren procesos de reciclaje más avanzados (incluidos los reciclajes terciario y cuaternario);

b) **apoyo financiero para el equipo de pretratamiento** de artes de pesca no deseadas. Esto incluye, por ejemplo, herramientas de corte e instalaciones de triturado a pequeña escala, así como instalaciones de almacenamiento cubiertas en los puntos de recogida para evitar que las artes recogidas absorban agua de lluvia o humedad. Entre otros apoyos financieros para los procedimientos de pretratamiento para el reciclaje se incluyen los costos de personal, incluida la carga de materiales para el transporte, y los costos de transporte para trasladar los materiales de artes de pesca desde los puntos de recogida hasta las instalaciones de reciclaje;

c) **punto de recogida específico para metales**, con medidas de seguridad especialmente para el plomo; y

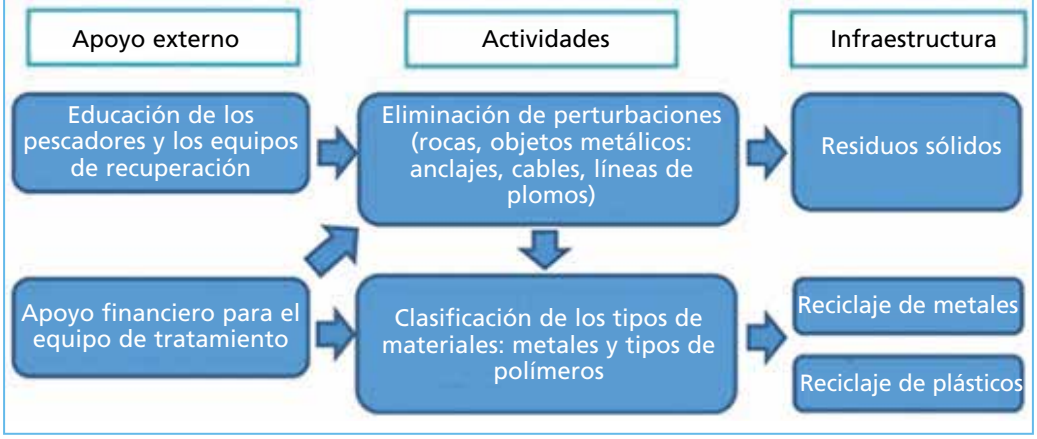
d) **herramientas de limpieza que puedan apoyar el reciclaje de fracciones de materiales más grandes,** como lavadoras a presión y plantas de compostaje.

En la Figura 2 se resumen los requisitos de pretratamiento para el reciclaje de artes de pesca no deseadas.

1.2.4 Métodos de reciclaje de artes de pesca

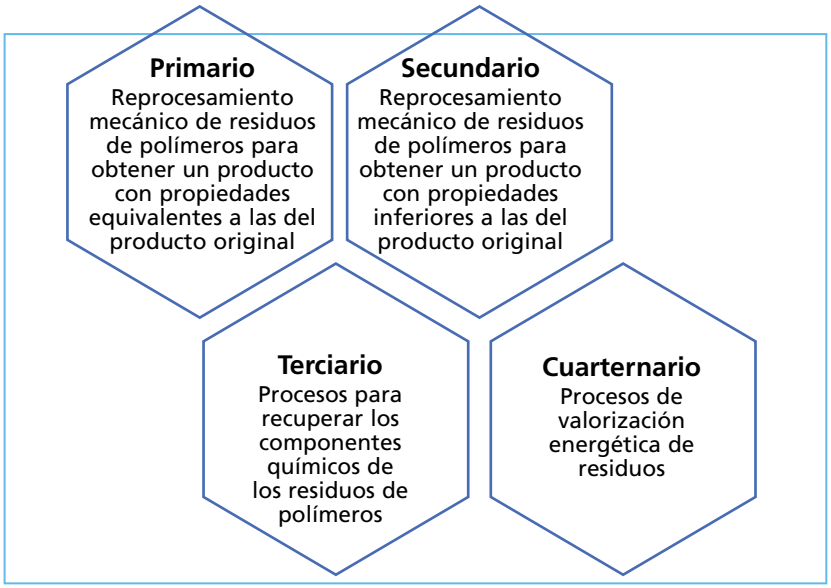
La producción y el consumo de residuos sólidos de material plástico (PSW), así como la basura que generan, han aumentado de forma dramática desde la primera síntesis de polímeros sintéticos (plásticos) a escala industrial en la década de 1940 (Zia *et al.*, 2007). Décadas de investigación, análisis y ensayos sobre los residuos sólidos de material plástico han producido una gama de opciones eficaces desde el punto de vista económico y ambiental para los procesos de tratamiento, reciclaje y recuperación de estos residuos (Al-Salem *et al.*, 2009).

FIGURA 2. REQUISITOS Y PROCEDIMIENTO DE PRETRATAMIENTO DE LAS ARTES DE PESCA NO DESEADAS EN PREPARACIÓN PARA LA GESTIÓN DE RESIDUOS Y EL RECICLAJE



Fuente: Modificado y adaptado de Stolte *et al.* (2019). *A treatment scheme for derelict fishing gear*. Programa Interreg para la región del mar Báltico 2014-2020, Informe del proyecto MARELITT Baltic (https://marelittbaltic.eu/documents).

FIGURA 3. TECNOLOGÍAS ACTUALES DE RECICLAJE DE RESIDUOS DE MATERIAL PLÁSTICO



Fuente: Modificado y adaptado de Sahajwalla y Gaikwad (2018). *The present and future of e-waste plastics recycling.* Current Opinion in Green and Sustainable Chemistry, 13, 102-107 (https://doi.org/10.1016/j.cogsc.2018.06.006).

En esta sección del informe se resume la viabilidad técnica de las cuatro opciones principales de tratamiento para el reciclaje de residuos sólidos, otorgándole un énfasis especial a los residuos de material plástico procedentes de las artes de pesca no deseadas. Los cuatros procesos de reciclaje principales que se resumen incluyen sistemas y tecnologías de reciclaje primario y secundario (mecánico), terciario (químico) y cuaternario (valorización energética) (Figura 3). Siempre que sea posible, estos procesos se analizan en el contexto de las artes de pesca no deseadas, dado que la mayoría de los componentes de las artes de pesca como productos compuestos de múltiples materiales, incluidos metales y otros materiales no plásticos, pueden ser reciclados utilizando la adecuada tecnología disponible.

1.2.4.1 Reciclaje primario y secundario (reciclaje mecánico)

Los procedimientos de reciclaje mecánico se organizan en procesos de reciclaje primario y secundario. El **reciclaje primario** es el proceso de reintroducir mecánicamente plástico limpio de un solo polímero en el ciclo de extrusión para generar productos de material similar con propiedades equivalentes a las del producto original. Esto suele denominarse "reciclaje de circuito cerrado" (Al-Salem *et al.*, 2009). Debido a los requisitos de insumos de materiales limpios (no contaminados) de un solo polímero, el reciclaje primario se emplea a menudo para los materiales de desecho producidos en el proceso de fabricación (Hillier *et al.*, 2022). Los restos no utilizados producidos en el proceso de fabricación pueden triturarse y reintroducirse en la máquina extrusora, en un proceso conocido como reextrusión. Los restos de artes de pesca que se producen en el proceso de fabricación podrían ser una fuente útil de estos materiales, siempre que estén limpios y hechos de un solo polímero. La malla extraída de redes de enmalle de PA6 pura que haya sido lavada suficientemente es otro ejemplo de un tipo de arte de pesca no deseado que puede ser sometido a reextrusión. Una combinación de reciclaje primario y secundario también podría ser adecuada en el caso de las reparaciones de redes de pesca. Por ejemplo, los trozos de materiales nuevos no deseados utilizados en la reparación de redes podrían ser adecuados para el reciclaje primario, mientras que

los recortes recuperados de las redes en proceso de reparación podrían ser apropiados para el reciclaje secundario.

En el **reciclaje secundario**, los residuos sólidos de material plástico (PSW) se introducen mecánicamente en el ciclo de extrusión y se reducen de tamaño hasta obtener formas más aceptables como pellets, copos o polvos, dependiendo de la calidad del material de entrada y la composición polimérica. Los materiales producidos son generalmente de menor calidad que los introducidos en el proceso de reciclaje, por lo que esto se denomina a veces proceso de "degradación" o "infrarreciclaje" (Dorigato, 2021; Ragaert *et al.*, 2017).

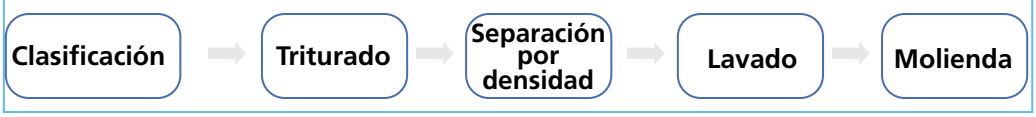
En el reciclaje primario y secundario, el proceso mecánico de reciclaje de plásticos comienza con la fusión (plastificación) de los componentes plásticos, que se procesan después para obtener materias primas secundarias conformadas, denominadas (re) granulados o pellets de plástico. El polímero fundido debe tener una pureza lo suficientemente alta para producir materia prima secundaria de calidad próxima a la del plástico virgen para permitir su posterior transformación en el producto final. Una masa fundida contaminada o combinaciones de polímeros con diferentes temperaturas de fusión y características pueden ocasionar inestabilidad y fracturas de los materiales en el material reciclado final producido. Cuando se mezclan varios tipos de polímeros plásticos en los insumos de materiales, el reciclaje secundario sólo puede llevarse a cabo a través de un proceso de degradación de los materiales que da lugar a productos plásticos de menor calidad. Por ello, la identificación y la separación apropiada de los polímeros de las artes de pesca pueden facilitar y mejorar enormemente la calidad de los productos reciclados producidos.

El éxito del reciclaje mecánico es más probable si los polímeros que se reciclan son polímeros individuales aislados, o mezclas conocidas de polímeros compatibles, en lugar de mezclas desconocidas o de polímeros incompatibles. Por ejemplo, mientras que la poliamida (PA) se limita por lo general a la compatibilidad con mezclas de poliestireno (PS), también es compatible con el tereftalato de polietileno (PET) en pequeñas cantidades para su posterior procesamiento en el proceso de fusión. No obstante, la poliamida (PA) es incompatible con el polietileno (PE) y el polipropileno (PP) porque estos se funden a temperaturas mucho más bajas (Bertling y Nühlen, 2019). En vista de estos requisitos de insumos de polímeros a menudo de alta calidad y a veces puros, las empresas de reciclaje de plásticos utilizan tecnologías de filtración de masa fundida integradas o separadas para eliminar los contaminantes de los polímeros (Bertling y Nühlen, 2019).

Procedimientos específicos de pretratamiento de las artes de pesca no deseadas anteriores al reciclaje mecánico.

El reciclaje de artes de pesca no deseadas requiere una etapa de pretratamiento que permita su posterior procesamiento automatizado mediante procesos de reciclaje mecánico. Esta etapa normalmente implica la clasificación, limpieza, corte/triturado/granulación, separación por densidad (sobre todo para los ALDFG), lavado y molienda (Figura 4).

FIGURA 4. ESQUEMA DE LOS PROCEDIMIENTOS DE PRETRATAMIENTO DE ARTES DE PESCA NO DESEADAS



Fuente: Modificado y adaptado de Stolte *et al.* (2018). *Recycling options for derelict fishing gear*. Programa Interreg para la región del mar Báltico 2014-2020, Informe del proyecto (https://marelittbaltic.eu/documents).

El objetivo del proceso inicial de **clasificación** es conocer la composición material de las artes de pesca y retirar las piezas metálicas grandes y otros componentes de gran tamaño de las artes, así como los sedimentos y la materia orgánica que, de otro modo, dañarían las máquinas de triturado y contaminarían el material que se recicla. La clasificación puede llevarse a cabo con diferentes niveles de esfuerzo manual. El método de clasificación que requiere la mayor cantidad de mano de obra es la "clasificación precisa", ya que implica la separación manual de todas las fracciones de residuos. La gran cantidad de mano de obra necesaria para la clasificación precisa: incluidos el tiempo, la disponibilidad y los costos, asociados hace que por lo general se considere inadecuada para operaciones a gran escala (Stolte *et al.*, 2018). Por el contrario, la "clasificación parcial" se centra sobre todo en la retirada de metales de gran tamaño y otros objetos y es el método de clasificación que requiere menor cantidad de mano de obra. Los ensayos realizados durante el proyecto MARELITT Baltic European INTERREG determinaron que la clasificación precisa necesitó aproximadamente una persona por hora para clasificar 2030 kg de materiales de ALDFG recuperados compuestos de metal, cuerdas, redes, cables, madera y tejidos (Stolte *et al.*, 2018).[4] El proceso de clasificación parcial fue mucho más rápido, ya que solo necesitó una persona por hora para procesar 260550 kg de materiales de ALDFG recuperados (Stolte *et al.*, 2018). No obstante, el proceso de clasificación parcial resultó en un aumento de impurezas en los materiales de redes y cuerdas destinados al reciclaje, ya que no se eliminaron finalmente mejillones, maderas y otros contaminantes más finos, y se necesitaron otras etapas de tratamiento posteriores para hacer frente a los mayores niveles de contaminación de los materiales. La gran cantidad de residuos metálicos y otros contaminantes procedentes de la clasificación parcial pueden causar problemas durante la fase de triturado, provocando un rápido desgaste de los filos de corte. La evaluación preliminar de los ALDFG y las actividades de limpieza en los puertos por parte de los pescadores pueden facilitar el proceso de clasificación y contribuir a reducir o eliminar los procesos de limpieza de las artes: por ejemplo, echando las redes al agua varias veces antes de subir el material a bordo o estirando las redes y limpiándolas previamente al volver al puerto.

En la etapa de **corte** o **triturado** se obtienen trozos homogéneos y de menor tamaño de materiales reciclables, lo que facilita su manipulación y permite la separación por densidad de los materiales. Los componentes de artes de pesca no deseadas que se introducen en las máquinas automatizadas de corte y triturado deben estar limpios de objetos potencialmente nocivos desde la etapa de clasificación. En efecto, el corte o triturado es esencial para evitar daños en las máquinas durante el proceso de reciclaje y obtener un producto final con un volumen considerablemente reducido comparado con el del material inicial. El triturado de residuos es un proceso especialmente complejo que implica una serie de fases para triturar los materiales que se van a reciclar. Se considera que las cortadoras de guillotina son más apropiadas que las trituradoras industriales en algunos casos, ya que no ahuecan tanto las fibras de las mallas de las redes de enmalle; esto significa que, en comparación con las trituradoras, quedan atrapados menos sedimentos residuales y contaminantes.

Las artes de pesca no deseadas que estén muy mezcladas y contaminadas necesitan una etapa de **separación por densidad** adicional. En esta etapa se separan los materiales de alta densidad (p. ej., cualquier fragmento restante de artes enredadas, mejillones y sedimentos) de las fibras poliméricas de baja densidad para el reciclaje y se eliminan los contaminantes nocivos que influyen en la extrusión y en la calidad del material

[4] El proceso de clasificación fue realizado por personas especializadas, en particular trabajadores de una instalación de reciclaje industrial. No obstante, estos trabajadores no recibieron la formación específica para trabajar con artes de pesca. La participación de los pescadores en el proceso de clasificación, así como la educación y la formación del personal encargado de ello, garantizará una clasificación más eficaz de los ALDFG recuperados y las EOLFG en la etapa de pretratamiento.

reciclado. A diferencia de las EOLFG generalmente más limpias y clasificadas previamente, los ALDFG se enfrentan a otros obstáculos más en el procedimiento de pretratamiento para el reciclaje y la etapa de separación por densidad es particularmente necesaria para estos objetos de ALDFG más contaminados y mezclados (Stolte *et al.*, 2018). Las líneas y cuerdas de red retorcidas, como las de las redes de arrastre, pueden contener a menudo altos niveles de sedimentos que también se eliminan en esta etapa. Serranti y Bonifazi (2019) describen otras técnicas de separación de plásticos, además de la separación por densidad, que están disponibles para los plásticos en general (es decir, no específicas para las artes de pesca no deseadas). Las tecnologías de identificación de polímeros se analizan además en la Sección 1.2.3.

Tras la etapa de corte/triturado (y la etapa de separación por densidad, si fuera necesaria), las fibras poliméricas de las artes de pesca no deseadas se **lavan** para seguir eliminando impurezas. Esta etapa puede requerir muchos recursos: algunos experimentos estiman que son necesarios 100 kWh por tonelada de material de artes de pesca que se lava y 13 m^3 de agua (Schneider, 2020; Schneider *et al.*, 2023; Stolte *et al.,* 2018). A veces se requiere otra etapa de secado para eliminar la humedad restante antes de proceder a la etapa de regranulación de los polímeros.

Tras el lavado, el proceso de **molienda** utiliza máquinas especializadas equipadas con cuchillas giratorias que cortan el material reciclable en fibras más pequeñas. El proceso de molienda tiene por objeto mejorar la capacidad de vertido del material resultante para los procesos de regranulación y moldeo por inyección: si se desea una extrusión del material. No obstante, el proceso de molienda no siempre es necesario. Por ejemplo, si se corta material de EOLFG de nilón limpio en fragmentos de nilón pequeños sin triturar, este material tiene suficiente capacidad de vertido para la extrusión inmediata y el proceso de molienda no es necesario. Stolte *et al.* (2018) cuantificaron que la máquina de molienda empleada en sus experimentos de reciclaje de ALDFG molió aproximadamente 20 kg de material lavado en 10 minutos.

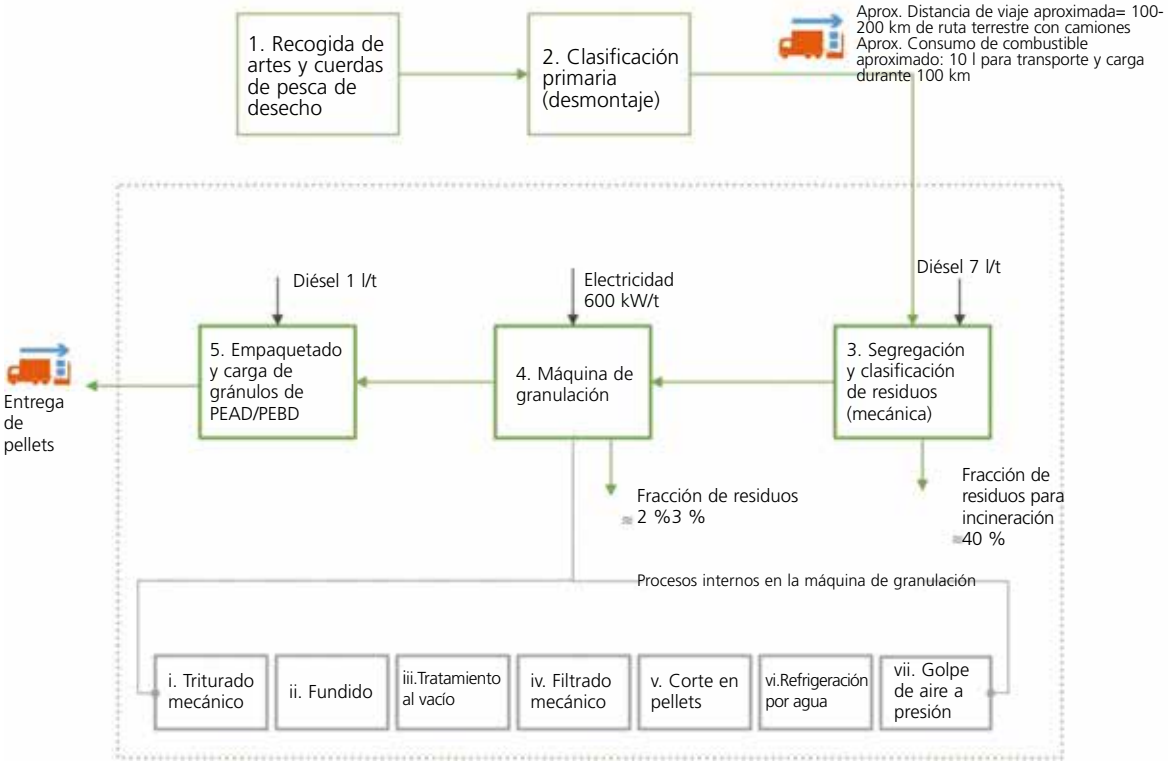
En la Figura 5 se muestra un ejemplo del proceso de reciclaje mecánico.

1.2.4.2 Reciclaje terciario (reciclaje químico, recuperación química y conversión térmica)

La recuperación química, o reciclaje químico **(reciclaje terciario)**, puede emplearse para aquellas fracciones de artes de pesca que no pueden ser recicladas mecánicamente en los procesos primario y secundario, o para producir un producto final de mayor calidad si se desea (p. ej., despolimerización, véase más adelante). Este proceso puede actuar como alternativa a la incineración o la descarga en vertederos de artes de pesca no deseadas y sus componentes que no puedan ser reciclados utilizando métodos mecánicos. Los procesos de recuperación o reciclaje químicos utilizan sustancias químicas y calor para descomponer los polímeros plásticos en sus polímeros constituyentes o monómeros y convertirlos en materias primas secundarias. El término "químico" se emplea para estas tecnologías ya que la estructura química de los polímeros cambia a través de estos procesos.

Los procesos de reciclaje químico emplean una variedad de tecnologías con una variedad de terminología incluso más amplia que se utiliza a veces indistintamente, lo que puede complicar y confundir los debates acerca de este método de reciclaje terciario (Manzuch *et al.*, 2021). Las tecnologías de reciclaje químico se clasifican normalmente como procesos de **despolimerización** o de **conversión térmica**. Debido al uso de calor en los procesos de despolimerización y conversión térmica, a veces también se denominan reciclaje termoquímico. La disolución/purificación con disolventes también se incluye a veces en las tecnologías de reciclaje terciario como forma avanzada de reciclaje, a pesar de ser un proceso físico y no químico. Aunque en el presente informe no se han encontrado aplicaciones de este último proceso para las artes de pesca no deseadas, se incluye dada su relevancia como método de reciclaje de residuos

FIGURA 5. DIAGRAMA DE FLUJO DEL PROCESO TÍPICO DE RECICLAJE MECÁNICO DE ARTES Y CUERDAS DE PESCA DE PLÁSTICO AL FINAL DE SU VIDA ÚTIL EN NORUEGA



Fuente: Modificado y adaptado de Deshpande *et al.* (2020a). *Multi-criteria decision analysis (MCDA) method for assessing the sustainability of end-of-life alternatives for waste plastics: A case study of Norway*. Science of The Total Environment, 719, 137353. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.137353.

plásticos y debido a que puede tener posibles aplicaciones para recuperar polímeros plásticos en artes de pesca no deseadas en el futuro.

La despolimerización consiste en descomponer los polímeros de residuos plásticos de un solo polímero preclasificados en monómeros que pueden utilizarse como materias primas secundarias en la producción de plásticos (CEFIC, 2023a). Dado que los monómeros producidos actúan como componentes básicos en la producción de plásticos, los productos de plástico creados a partir de la despolimerización son casi idénticos a los plásticos vírgenes en cuanto a sus cualidades químicas y físicas. No obstante, esta tecnología de reciclaje químico está limitada a artes de pesca de un solo polímero preclasificadas y compuestas de "policondensados"[5] y no está disponible para otras artes compuestas de polímeros mixtos o "de adición"[6] (analizado con más detalle en el Anexo 1.1). A la fecha de este informe, la despolimerización es el único proceso que emplea el reciclaje químico para reciclar artes de pesca a gran escala y utiliza el flujo de materiales secundarios para la producción de fibras nuevas de alta calidad.

La conversión térmica utiliza procesos térmicos para transformar polímeros plásticos mixtos en moléculas más simples; estas suelen ser líquidos/aceites (pirólisis) o gases (gasificación, incluido el reformado con vapor), con el potencial de ser utilizadas como materias primas en procesos petroquímicos (Al-Salem *et al.*, 2009).

[5] Proceso de despolimerización de monómeros que se unen con una molécula pequeña, como agua o metanol, que se pierde como subproducto (Clark, 2021). Entre estos se incluyen poliésteres (PET), poliamidas (PA, como el nilón) y poliuretanos (PU).

[6] Polímeros de doble enlace formados por reacciones de enlace/cadena con otros monómeros, sin que se produzca ningún subproducto (Bishop, 2013). Entre estos se incluyen el polietileno (PE), el polipropileno (PP) y el policloruro de vinilo (PVC).

La conversión térmica también puede emplearse para clasificar y procesar material sobrante y subproductos procedentes de los procesos de reciclaje mecánico para generar combustible, cuya viabilidad técnica depende de la mezcla de polímeros y subproductos (Anexo 1.2). El plomo y otros componentes metálicos de las artes de pesca no deseadas pueden separarse utilizando estos procesos térmicos a la vez que se preserva el valor energético de las moléculas poliméricas. El alto valor de mercado del plomo y otros metales puede incentivar el reciclaje de estos materiales en lugar de pagar por la eliminación de residuos peligrosos o la descarga en vertederos.

No obstante, estas tecnologías de conversión térmica son objeto de críticas en cuanto a que no constituyen un enfoque de economía circular (véase la Sección 1.4 para obtener más información), dado que los combustibles líquidos y gaseosos producidos representan productos de menor calidad o valor en general que las artes de pesca originales recicladas. Por tanto, algunos argumentan que estos procesos de conversión térmica deberían clasificarse como procesos cuaternarios en el ámbito de la valorización energética y no deberían incluirse en la definición de reciclaje. Otros sugieren que deberían clasificarse en términos generales como métodos de "valorización para otros fines", junto con la pirólisis y la gasificación (Anexo 1.2) y agruparse con los procesos de valorización energética. En Europa, por ejemplo, la definición de reciclaje químico sólo incluye la producción de sustancias que puedan utilizarse en la fabricación de productos (es decir, productos o materias primas) y no incluye la producción de combustible. En otras regiones como América del Norte, el reciclaje químico sí incluye el combustible en la definición de productos "reciclados" (*Chemical Recycling Europe*, 2019).

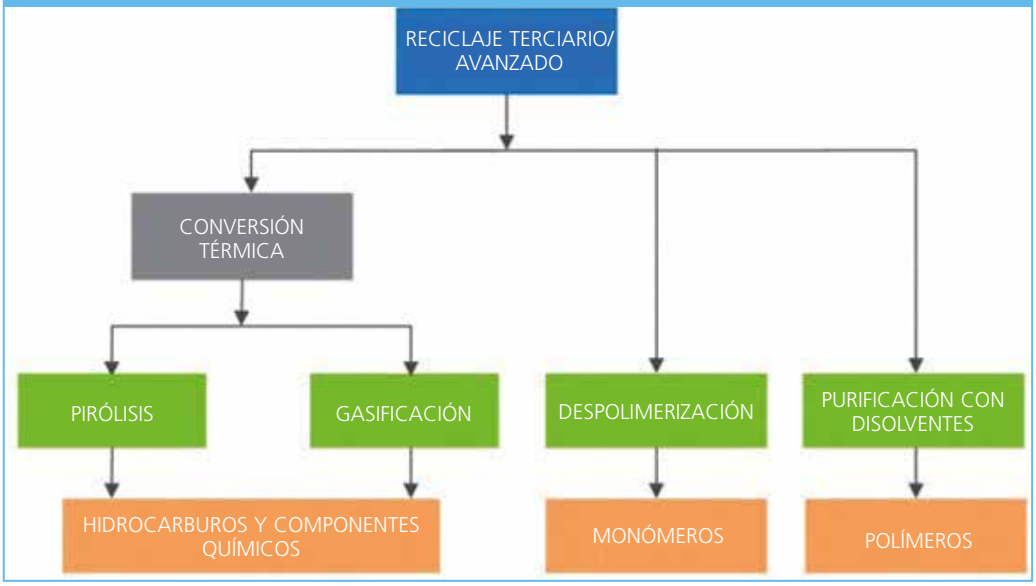
El proceso de reciclaje avanzado de disolución/purificación con disolventes utiliza disolventes para disolver los residuos plásticos clasificados y separar los aditivos plásticos de los polímeros constituyentes recuperados, que pueden utilizarse en la producción de nuevos materiales plásticos reciclados (CEFIC, 2023b; CIEM, 2022). La disolución/purificación con disolventes se incluye en este informe debido a su amplia inclusión y las frecuentes referencias en la bibliografía técnica y la literatura gris y en los debates sobre reciclaje químico, a pesar de ser un proceso físico y no químico, dado que no se producen cambios químicos con los polímeros recuperados (Dolan, 2022; Hann y Connock, 2020; Manzuch *et al.*, 2021; The *Consumer Goods Forum*, 2022). Por lo tanto, algunos han propuesto que sería mejor clasificar este tipo de reciclaje como un proceso de "reciclaje físico", que incluiría procesos mecánicos y de disolución como procesos de reciclaje secundario, y clasificar los procesos de "reciclaje químico" (es decir, la despolimerización y, en algunas definiciones, la conversión térmica) como reciclaje terciario.

Las tecnologías de disolución/purificación con disolventes son todavía relativamente nuevas y se encuentran en gran medida en fases piloto y de desarrollo, con materias primas objetivo como el policloruro de vinilo (PVC), el poliestireno (PS), el polietileno (PE) y el polipropileno (PP) (Dolan, 2022; CIEM, 2022). Según el conocimiento de los autores y en base a la investigación disponible, a la fecha de este informe la disolución no se había probado para el reciclaje de artes de pesca. Se incluye en virtud de su aplicabilidad en el reciclaje de plásticos y la posibilidad de que estas aplicaciones puedan probarse o ampliarse a las artes de pesca en el futuro.

Los procesos de reciclaje terciario/avanzado descritos anteriormente se resumen en la Figura 6 y se analizan con mayor detalle en el Anexo 1.

La composición polimérica de las artes de pesca no deseadas, incluida la presencia de polímeros mixtos frente a polímeros individuales y el nivel de contaminación, determinarán en gran medida qué tecnología de reciclaje terciario es la más apropiada para el reciclaje de artes de pesca, junto con cualquier requisito de pretratamiento como la clasificación, la limpieza y el corte/triturado.

FIGURA 6. RESUMEN DE LOS PRINCIPALES PROCESOS DE RECICLAJE TERCIARIO



Fuente: Dolan (2022). *Solvent-based purification - A good fit between mechanical and chemical recycling.* NexantECA, disponible en https://www.nexanteca.com/blog/202207/solvent-based-purification-%E2%80%93-good-fit-between-mechanical-and-chemical-recycling.

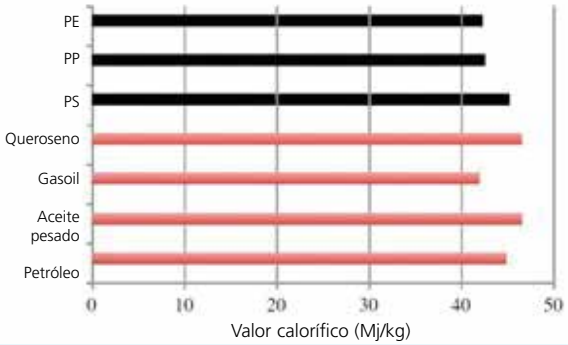
Los métodos de reciclaje terciario/avanzado, incluido específicamente el reciclaje químico, pueden dar lugar a productos de alta calidad que sean adecuados para la circulación múltiple y recurrente de los materiales (p. ej., producción de monómeros a partir de la despolimerización que pueden utilizarse como materiales secundarios para la producción posterior de plásticos). Por lo general, también requieren menos trabajo de pretratamiento (principalmente preclasificación y corte/triturado básicos, dependiendo del tipo de arte y el proceso), en comparación con los procesos de reciclaje mecánico. No obstante, las tecnologías de reciclaje químico a menudo conllevan altos costos operativos y requisitos de energía considerables y requieren grandes volúmenes de insumos de residuos; exceptuando la despolimerización, algunas se encuentran todavía en las fases piloto y de desarrollo (Comisión Europea, 2020a). También se ha criticado la necesidad de aplicar otros aditivos químicos o minerales a los monómeros y polímeros recuperados de estos procesos, a fin de conseguir la calidad de rendimiento necesaria como materias primas secundarias. La gran cantidad de energía necesaria constituye otra fuente de preocupación, así como los residuos y los contaminantes tóxicos peligrosos generados (en particular en los procesos de conversión térmica), especialmente si no se gestionan de manera responsable (NRDC, 2022; Ocean Conservancy, 2022).

1.2.4.3 Reciclaje cuaternario (valorización energética)

En el caso de las fracciones de residuos de artes de pesca no deseadas que sean ricas en plásticos y no puedan ser recicladas mediante procesos primarios, secundarios o terciarios, las tecnologías cuaternarias ofrecen una alternativa para transformar estos materiales restantes en fuentes de energía. La **valorización energética** consiste en la quema (es decir, combustión, incineración) de residuos para producir energía en forma de calor, vapor y electricidad (Al-Salem *et al.*, 2009). La valorización energética puede reducir la cantidad de artes de pesca no deseadas y sus componentes que no son reciclables y se envían a los vertederos, a la vez que se recuperan valiosas fuentes de energía en el proceso.

Como se analiza en la Sección 1.2.4.2 en relación con los procesos de conversión térmica que generan combustibles, la valorización energética no siempre se incluye en las definiciones de reciclaje, ya que la energía se produce en forma de calor, vapor

FIGURA 7.COMPARACIÓN ENTRE LOS PLÁSTICOS Y LOS COMBUSTIBLES CONVENCIONALES EN FUNCIÓN DE SUS VALORES CALORÍFICOS



Artículo	Valor calorífico (Mj/kg)
Polietileno	43.3–46.5
Polipropileno	46.50
Poliestireno	41.90
Queroseno	46.50
Gasoil	45.20
Aceite pesado	42.50
Petróleo	42.3
Mezcla doméstica de PSW	31.8

Fuente: Modificado y adaptado de Andrady (2015). *Plastics and environmental sustainability*. John Wiley & Sons, Inc (https://onlinelibrary.wiley.com/doi/book/10.1002/9781119009405) y Al-Salem *et al.* (2009). *Recycling and recovery routes of plastic solid waste (PSW): A review*. Waste Management, 29(10), 2625-2643 (https://doi.org/10.1016/j.wasman.2009.06.004).

y electricidad en lugar de sustancias que pueden utilizarse en la fabricación de nuevos productos (es decir, productos o materias primas). Por tanto, algunos sugieren que debería clasificarse de forma más amplia en los métodos de "valorización para otros fines", que incluirían la pirólisis y la gasificación (véase la Sección 1.2.4.2 y el Anexo 1.2). Se incluye en este informe debido a su amplia inclusión en la bibliografía sobre reciclaje y la oportunidad de recuperar energía de las artes de pesca y sus componentes que no pueden ser reciclados mediante procesos primarios, secundarios o terciarios.

La alta energía incorporada de los residuos sólidos de material plástico (PSW) y la energía térmica que puede extraerse de ellos como combustible sólido son los principales argumentos para considerarlos como un recurso. En la Figura 7 se ilustran los valores caloríficos comparables de los plásticos (en forma de polietileno [PE], polipropileno [PP] y poliestireno [PS]) en comparación con los combustibles tradicionales basados en el petróleo (queroseno, gasoil, aceite pesado y petróleo).

La quema de los residuos sólidos de material plástico con otros residuos municipales (a menudo denominada coincineración) en incineradores sofisticados puede proporcionar calor y vapor para mover álabes de turbina y producir energía para las redes eléctricas locales. No obstante, la coincineración de artes de pesca no deseadas genera diversas inquietudes de carácter ambiental, que conciernen principalmente a la emisión de contaminantes atmosféricos como CO_2, NOx, y SOx, y la contaminación derivada de las altas concentraciones de cloro en algunos materiales de desecho de artes de pesca, como el policloruro de vinilo (PVC) (Frosch y Gallopoulos, 1989). Como respuesta a estas inquietudes relacionadas con la contaminación, la mayoría de las instalaciones de incineración modernas disponen de sistemas de limpieza de los gases de combustión sofisticados (Speight, 2019); (Bertling y Nühlen, 2019).

Además de la emisión de contaminantes atmosféricos procedentes de la incineración que se expone anteriormente, la incineración genera principalmente residuos minerales (p. ej., cenizas y escorias),[7] que contienen partículas oxidadas y contaminantes orgánicos e inorgánicos (Bertling y Nühlen, 2019; Stolte *et al.*, 2018)2018. Debido a su peso ligero, las cenizas pueden salir de la instalación de incineración a través del conducto de gases de combustión. Dado que las cenizas pueden ser altamente tóxicas, se recogen regularmente y se transportan a lugares de eliminación seguros, como vertederos y minas, para su almacenamiento final seguro (Bertling y Nühlen, 2019).

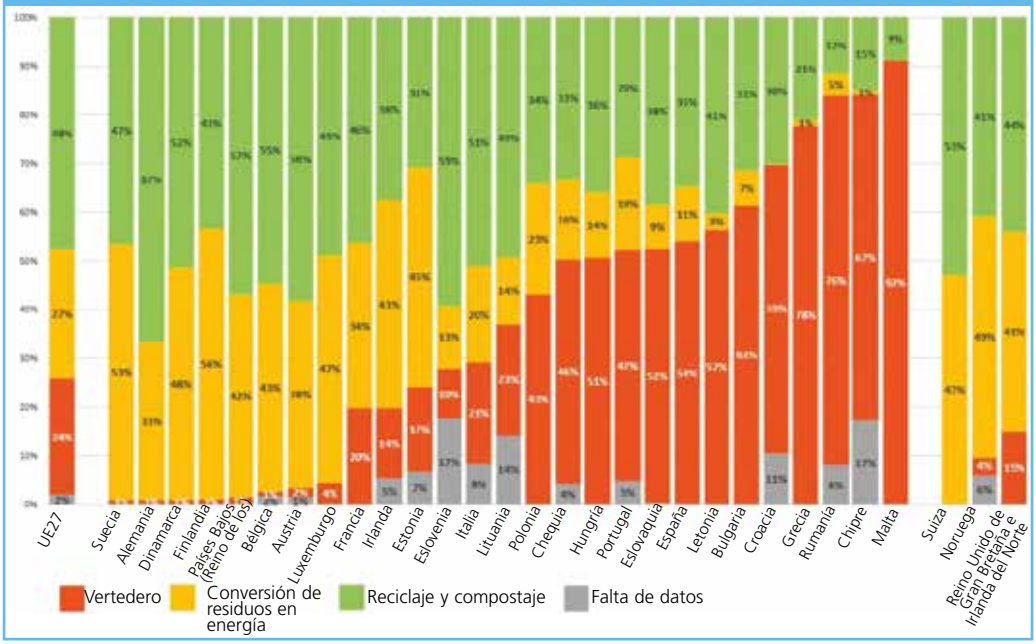
[7] Las escorias se forman durante la quema de basuras y contienen metales pesados, incluidos aluminio, cobre, zinc y plomo. Las escorias procedentes de las plantas de incineración deben someterse a un tratamiento adicional para recuperar componentes valiosos de los residuos y reducir los impactos ambientales negativos de este material en la etapa de almacenamiento (Kolodezhnaya *et al.*, 2019).

Al-Salem *et al.* (2009) y Yassin *et al.* (2005) proporcionan extensa información sobre los sistemas de tratamiento térmico para la valorización energética a partir de residuos sólidos y la recogida y eliminación de los gases de combustión.

En muchos países y regiones, como Japón y en toda Europa, las tecnologías de transformación de residuos en energía se gestionan con arreglo a normas establecidas en marcos reglamentarios bien desarrollados. En la Figura 8 se proporciona un ejemplo de la prevalencia regional de la incineración de residuos en Europa. Si bien la conversión de residuos en energía/valorización energética se clasifica normalmente como reciclaje cuaternario, en el caso de la Figura 8 se ha definido de manera separada de los métodos de reciclaje debido a la naturaleza no circular de este tratamiento de residuos al final de la vida útil.

Si se carece de un nivel adecuado de inversión financiera, educación y desarrollo de la capacidad, existe el riesgo de que el uso de incineradores para generar energía pueda dar lugar a impactos perjudiciales para la salud y el medio ambiente (véanse los subproductos contaminantes examinados anteriormente). Entre las inquietudes que suscitan los procesos de reciclaje cuaternario cabe citar: los altos costos de las instalaciones, incluidos los de construcción, mantenimiento y cumplimiento con las normas sobre emisiones actuales; las largas distancias y los requisitos financieros y de combustibles fósiles asociados al transporte de los materiales; la falta de transparencia y supervisión en algunos países para garantizar que se cumplen las normas de prevención de la contaminación; y la reducción del apoyo a estrategias alternativas que reduzcan al mínimo la producción y el uso de plásticos de un solo uso, y la consiguiente generación de residuos, y promuevan la filosofía de rediseñar-reducir-reutilizar-reciclar (PNUMA, 2016). Teniendo en cuenta estas inquietudes, los procesos de reciclaje cuaternario sólo se consideran un método sensato para el tratamiento de los residuos cuando los procesos de reciclaje primario a terciario fallan debido a limitaciones de carácter económico o tecnológico.

FIGURA 8. TRATAMIENTO DE RESIDUOS MUNICIPALES EN LOS 27 ESTADOS MIEMBROS DE LA UNIÓN EUROPEA (MÁS NORUEGA, SUIZA Y EL REINO UNIDO DE GRAN BRETAÑA E IRLANDA DEL NORTE) CLASIFICADOS POR PORCENTAJE DE VERTIDO EN 2019



Fuente: Adaptado de CEWEP (2021). *Latest Eurostat Figures: Municipal Waste Treatment 2019* (datos de Eurostat, marzo de 2021), Confederación de Plantas Europeas de Valorización Energética (CEWEP), disponible en https://www.cewep.eu/municipal-waste-treatment-2019.

1.2.5 Oportunidades y retos que presentan los métodos de reciclaje de artes de pesca

La elección del método de reciclaje de artes de pesca se determinará por el tipo de polímeros plásticos presentes en las artes y sus componentes, la pureza (grado) del material, el nivel de contaminación, la disponibilidad y la madurez de las tecnologías de reciclaje y su viabilidad en diferentes medios socioeconómicos (Singh *et al.*, 2017). Por ejemplo, Schwarz *et al.* (2021) demuestran que la tecnología óptima de reciclaje de plásticos varía con arreglo a la composición polimérica de los materiales y que se pueden aplicar múltiples tecnologías complementarias a diferentes flujos de residuos plásticos. Schwarz *et al.* (2021) subrayan que sólo puede obtenerse un comportamiento ambiental óptimo en el reciclaje cuando se mejora la etapa de pretratamiento. Si los materiales plásticos de las EOLFG o los ALDFG recuperados son de mala calidad como resultado de altos niveles de contaminación o polímeros con impurezas, cabe esperar que las artes se sometan a un tratamiento prolongado, que requerirá varios procedimientos técnicos de tratamiento.

El tipo de artes de pesca no deseadas que se recicla también influirá en el método de reciclaje empleado, incluidos los requisitos de pretratamiento asociados. Por ejemplo, las redes de enmalle que hayan sido abandonadas, perdidas o descartadas pueden presentar retos en cuanto a su reciclaje mediante procesos mecánicos, ya que los materiales de fibra contienen generalmente una mezcla de polímeros que puede incluir poliamida (PA), tereftalato de polietileno (PET), polipropileno (PP) y polietileno (PE), así como una variedad de contaminantes (p. ej., plomo, sal) y contaminantes orgánicos que a menudo no pueden ser eliminados completamente durante los procedimientos de pretratamiento. Existen procedimientos para tratar una variedad de artes de pesca que son a veces complicadas de reciclar, pero estos variarán dependiendo de varios factores, a saber: el tipo específico de arte y sus componentes (p. ej., líneas de flotación y de hundimiento, plomo y otros metales); el nivel de contaminación; y la mezcla específica de polímeros (o composición de un solo polímero como en redes de arrastre de PE puro o cuerdas de PET puro). Ciertos materiales de las artes no podrán ser reciclados con algunas tecnologías, pero sí con otras. *Dyneema*, por ejemplo, no suele ser apropiado para los procesos de reciclaje mecánico, ya que este material no se funde, sino que se quema; por ello, se considera más adecuado para los procesos de reciclaje terciario.

El **reciclaje mecánico (reciclaje primario y secundario)** de artes de pesca requiere un procedimiento de pretratamiento más complicado que cualquiera de los métodos de conversión térmica (reciclaje terciario) o valorización energética (reciclaje cuaternario). En el reciclaje mecánico, los plásticos de las artes de pesca deben clasificarse, eliminando cualquier contaminante grueso, seguido de triturado, separación por densidad (sobre todo para los ALDFG más contaminados), lavado y molienda (Figura 4). Los procesos de despolimerización (véase más adelante el reciclaje terciario) también requieren insumos de materiales limpios de un solo polímero, no contaminados y preclasificados. Por comparación, los procesos de conversión térmica requieren una preclasificación y triturado más básicos, con requisitos de pretratamiento mínimos o nulos para la incineración de artes de pesca no deseadas en los procesos de valorización energética.

La participación de las partes interesadas, el desarrollo de la capacidad y el apoyo a los avances tecnológicos y la innovación[8] pueden hacer que el reciclaje mecánico (y los procesos de despolimerización) sean más eficaces en comparación con otras opciones de reciclaje terciario y cuaternario que son normalmente más costosas y consumen más energía. Si se involucra a los productores y proveedores de artes de pesca y a los pescadores en las etapas de recogida y clasificación se puede mejorar la calidad de las fracciones de artes de pesca clasificadas para su reciclaje, debido a su conocimiento y

[8] Como la mejora de los sistemas de recogida, clasificación (incluida la identificación de polímeros) y reprocesamiento de plásticos reciclables.

experiencia en cuanto a las propiedades de los materiales. Las innovaciones pueden incluir tecnologías que mejoren los métodos actuales de identificación de polímeros plásticos y cualquier sustancia preocupante contenida en las diferentes artes de pesca. También pueden consistir en mejores mecanismos de clasificación automatizados que diferencien entre tipos y colores de plásticos.

El rediseño de productos plásticos que integren en los materiales consideraciones en materia de reciclabilidad durante las etapas de diseño y fabricación (p. ej., productos de un solo polímero frente a productos de varios polímeros), puede potenciar la eficacia del reciclaje mecánico al final de la vida útil de un producto. Unos mercados secundarios fuertes para los materiales reciclados son también fundamentales para apoyar y estimular los índices de reciclaje: con el proceso de reciclaje impulsado por la demanda específica del mercado, estos facilitan los procesos de reciclaje mecánico y químico. Estos mercados secundarios pueden recibir apoyo de medidas reglamentarias que animen la demanda de productos reciclados, como el requisito de incluir porcentajes mínimos de plástico reciclado en nuevos productos.

Los **procesos de reciclaje terciario (reciclaje químico, recuperación química y conversión térmica)** pueden actuar como alternativas complementarias al reciclaje mecánico de las artes de pesca no deseadas y sus componentes que sean demasiado difíciles de reciclar mediante los procesos de reciclaje primario y secundario, especialmente los ALDFG. Los procesos de despolimerización también pueden emplearse para algunos materiales de artes de pesca que pueden ser reciclados mediante procesos mecánicos, debido al potencial de generar polímeros vírgenes a partir de los insumos de materiales que pueden utilizarse para producir productos de mayor valor (p. ej., hilos usados en prendas de ropa). Los plásticos producidos a partir de los procesos de despolimerización se valoran por sus propiedades físicas y químicas que se comportan como materiales vírgenes; no obstante, también son a veces objeto de críticas en cuanto a la necesidad de aplicar nuevos aditivos y sustancias químicas para producirlos. A la fecha de este informe, la despolimerización es el único proceso que emplea procesos químicos para el reciclaje de artes de pesca a gran escala y utiliza el flujo de materiales secundarios para la producción de nuevas fibras de alta calidad.

En comparación con los procesos de reciclaje cuaternario, el reciclaje terciario también ofrece una gama más amplia de resultados, incluida la recuperación de monómeros plásticos constituyentes (despolimerización) y polímeros (disolución/purificación con disolventes, despolimerización para fragmentos más cortos de polímeros). Estos pueden utilizarse como materias primas en la producción de nuevos materiales de plástico, así como retornos energéticos flexibles en forma de combustibles líquidos o gases sintéticos (conversión térmica). Los procesos de conversión térmica pueden aceptar generalmente polímeros más mezclados y contaminados y de menor grado de pureza (p. ej., ALDFG recuperados que están contaminados y mezclados), en comparación con el reciclaje mecánico. Los procedimientos de conversión térmica mantienen además la ventaja de la extracción de plomo y otros componentes metálicos de las artes, como las relingas inferiores en las redes de arrastre y las líneas de plomos en las redes de enmalle y trasmallo (Bertling y Nühlen, 2019).[9]

Los procesos de reciclaje terciario también han recibido críticas con respecto a, entre otros, la falta de datos y de transparencia en relación con los procesos técnicos y la viabilidad comercial y financiera; la escalabilidad; la capacidad de estas tecnologías de aceptar materias primas de polímeros mixtos y altamente contaminados; y los requisitos de postratamiento, incluida la descontaminación y los controles de contaminación.

[9] Observando que el "valor orientativo aceptable" para el contenido de plomo no debe superar 3,3 g de plomo producido por estos procedimientos por kg de combustible (Bertling y Nühlen, 2019).

Existe también gran inquietud en relación con los impactos sobre la salud humana y el medio ambiente derivados de los procesos de conversión térmica, como consecuencia de las emisiones y los residuos peligrosos resultantes (NRDC, 2022; Ocean Conservancy, 2022). Entre las inquietudes principales al respecto cabe citar la generación de grandes cantidades de residuos peligrosos; el almacenamiento o la emisión de sustancias químicas peligrosas en el lugar; las instalaciones de conversión térmica ubicadas en gran parte en comunidades de bajos ingresos; la dificultad con respecto a la escalabilidad; la producción de productos finales contaminados; y una gran huella de carbono (NRDC, 2022). Manzuch *et al.* (2021) proporcionan una revisión bibliográfica relativamente completa sobre las tecnologías de reciclaje químico, donde se incluye información más detallada sobre los contaminantes, incluidas las sustancias que son motivo de preocupación, los controles de contaminación, las mejores técnicas disponibles y consideraciones reglamentarias para abordar estas cuestiones.

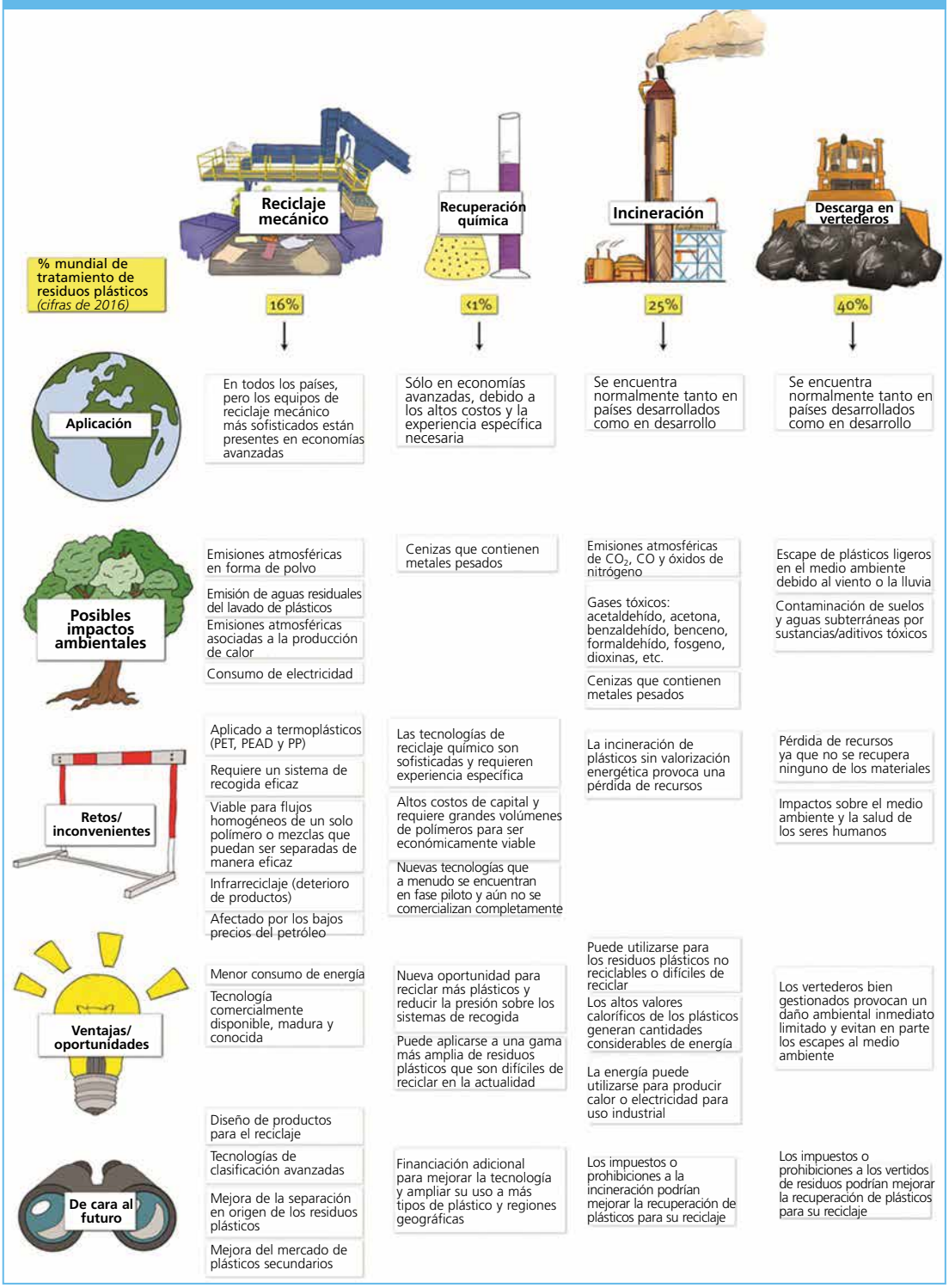
Preocupa también la definición de las tecnologías de conversión térmica como procesos de reciclaje, dado que muchas de estas tecnologías existentes se utilizan para producir combustible en lugar de transformar estos materiales en monómeros y polímeros que pueden reintroducirse en el proceso de producción de plásticos. Como se observa en la Sección 1.2.4.2 sobre los procesos de reciclaje terciario, la Unión Europea no incluye la producción de combustible a partir de los procesos de recuperación química en la definición de los métodos de reciclaje terciario (Chemical Recycling Europe, 2019). Muchas plantas de conversión térmica suelen ser también instalaciones experimentales con procesos que a menudo sólo se llevan a cabo como estudios piloto (Bertling y Nühlen, 2019; Stolte *et al.*, 2019).

Se necesita una mayor transparencia y más información para probar la viabilidad comercial a mayor escala de algunas tecnologías de reciclaje terciario para las artes de pesca no deseadas, especialmente los procesos de conversión térmica y de disolución/purificación con disolventes. Es necesario seguir investigando para continuar mejorando los métodos de reciclaje terciario a fin de incorporar una mayor cantidad de residuos plásticos mezclados, incluidos los polímeros tradicionalmente no reciclables (en el caso de los procesos de conversión térmica). Es necesario un mayor desarrollo del reciclaje repetido de polímeros recuperados (en particular en el caso de la despolimerización y la disolución/purificación con disolventes), así como reproducir y ampliar las tecnologías probadas (p. ej., tecnologías de despolimerización para artes de pesca no deseadas) (Solis y Silveira, 2020; Zhu *et al.*, 2018). En el Anexo 1.4 se analizan con más detalle las ventajas e inconvenientes de las principales tecnologías de reciclaje químico resumidas en este informe.

Cuando las tecnologías de reciclaje primario, secundario y terciario no están disponibles para las artes de pesca no deseadas, los **procesos de reciclaje cuaternario** pueden servir como alternativa a la descarga en vertederos a través de la **valorización energética** a partir de la incineración. Estos costosos sistemas de valorización energética deben estar equipados con sistemas de limpieza de gases de combustión apropiados para filtrar las emisiones atmosféricas peligrosas y manipular y gestionar de manera responsable las cenizas producidas en los procesos de incineración. Dado que las tecnologías de valorización energética no eliminan por lo general la necesidad minimizar los residuos y requieren cantidades relativamente grandes de insumos de residuos consistentes para generar energía, algunos argumentan que, en última instancia, pueden ir en contra de los principios de minimización de residuos que los enfoques de reciclaje, reutilización y reducción se esfuerzan por apoyar.

Si bien las tecnologías de incineración están ampliamente disponibles en todo el mundo (Figura 9), los sistemas de valorización energética más avanzados son menos comunes debido a los altos costos relacionados con la infraestructura y las tecnologías. De hecho, requieren grandes volúmenes de insumos de residuos y controles de contaminación estrictos, incluidos los sistemas de limpieza posteriores a la incineración

FIGURA 9. RECICLAJE, RECUPERACIÓN Y ELIMINACIÓN FINAL DE LOS RESIDUOS PLÁSTICOS



Fuente: Ilustración modificada y adaptada de PNUMA (2021). *Drowning in Plastics - Marine Litter and Plastic Waste Vital Graphics*. Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA), Job No DEP/2386/NA (https://www.unep.org/resources/report/drowning-plastics-marine-litter-and-plastic-waste-vital-graphics).

para eliminar los contaminantes y toxinas residuales. A pesar de su rápido desarrollo, el reciclaje químico tampoco es un procedimiento de reciclaje común a nivel mundial debido a las elevadas necesidades de recursos en general (capital, experiencia y energía). Esto limita su uso y adopción, especialmente en las zonas en desarrollo del mundo y los núcleos de población más pequeños en zonas más remotas (Figura 9). Por el contrario,

el reciclaje mecánico es más común a nivel mundial dado que es menos costoso de aplicar, consume menos energía y está más disponible para operaciones de reciclaje a pequeña escala: incluso en las zonas remotas y en desarrollo del mundo y los núcleos de población más pequeños (Figura 9). A fin de establecer a nivel mundial sistemas responsables de gestión de residuos para las artes de pesca y otros flujos de residuos plásticos, será fundamental mejorar la capacidad tecnológica de los países de bajos ingresos, especialmente los que dependen en gran medida del sector pesquero.

En la Figura 9 se resumen las principales ventajas e inconvenientes de las diferentes técnicas de reciclaje (y descarga en vertederos).

Las siguientes consideraciones adicionales se emplean en los análisis del ciclo de vida (ACV) de las distintas opciones de reciclaje: 1) el uso de energía requerido por los diferentes procesos, incluidos los requisitos de pretratamiento, transporte y postratamiento; 2) la calidad de los flujos de materiales de entrada y salida, incluido el rendimiento de los productos deseados a partir de los materiales de salida; 3) las cargas medioambientales, incluida la generación de contaminantes; y 4) la trazabilidad de los materiales y las evaluaciones del impacto social y económico (Hann y Connock, 2020; Schneider *et al.*, 2023). También se pueden llevar a cabo evaluaciones técnicas y económicas de los diferentes procesos de reciclaje de artes de pesca no deseadas a fin de proporcionar consideraciones cuantitativas más sólidas y mejores con respecto a lo que podría estar disponible para las distintas artes y sus flujos de residuos asociados; como ejemplo, véase el Cuadro 56 en Manzuch *et al.* (2021).

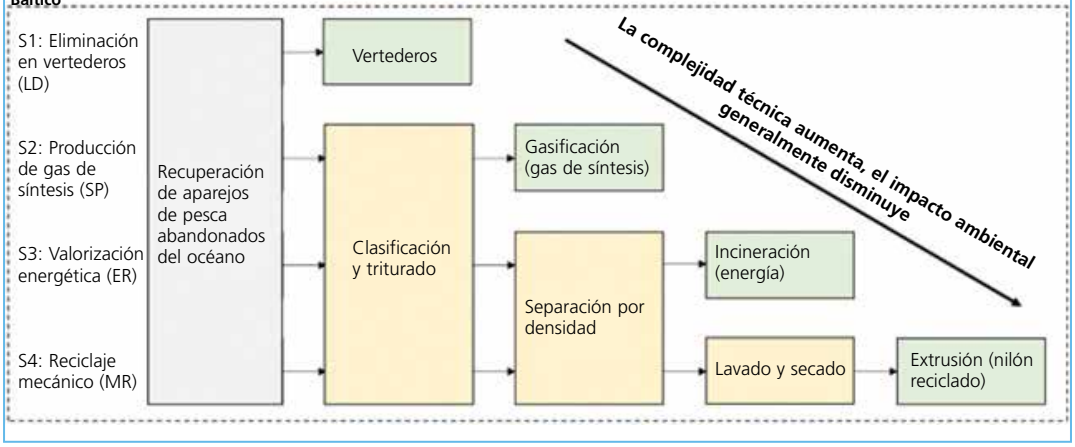
Los primeros análisis del ciclo de vida realizados para comparar los impactos ambientales de los diferentes escenarios de tratamiento de residuos de los ALDFG en Europa llegaron a la conclusión de que el reciclaje mecánico, seguido de la valorización energética, tuvo el impacto ambiental más bajo en general (Schneider *et al.*, 2023). Por otro lado, la gasificación para producir gas de síntesis (es decir, gas sintético en un proceso de conversión térmica, véase el Anexo 1.2) y la descarga en vertederos tuvieron los impactos ambientales más altos en general (Figura 10). Los cuatro escenarios de tratamiento de residuos examinados se enumeran de S1 a S4 en la Figura 10.

FIGURA 10. ANÁLISIS DEL CICLO DE VIDA (ACV) DE LAS OPCIONES DE GESTIÓN DE RESIDUOS PARA LOS APAREJOS DE PESCA ABANDONADOS



Aparejos de pesca abandonados (DFG) procedentes del mar Báltico

Objetivo: Determinar el tratamiento de residuos más sostenible desde el punto de vista medioambiental para los aparejos de pesca abandonados
Métodos: Análisis atributivo del ciclo de vida
Resultados: El reciclaje mecánico y la valorización energética superan a la eliminación en vertederos y la producción de gas de síntesis



Fuente: Adaptado de Schneider *et al.* (2023). *Life cycle assessment (LCA) on waste management options for derelict fishing gear*. The International Journal of Life Cycle Assessment, 28(3), 274-290 (10.1007/s11367-022-02132-y).

Los altos impactos ambientales de la producción de gas de síntesis se deben al elevado consumo eléctrico de esta opción de tratamiento de residuos. En general, el estudio reveló que, en todos los sistemas de tratamiento, los mayores impactos se derivaron de la recuperación de ALDFG, el reciclaje de metales y los procesos de tratamiento de residuos, mientras que, en comparación, los impactos ambientales del transporte y el pretratamiento de las artes de pesca contribuyeron menos (Schneider *et al.*, 2023).

La primera evaluación de la sostenibilidad de las opciones habituales de tratamiento al final de la vida útil de los ALDFG recuperados y las EOLFG en Noruega utilizó la toma de decisiones con arreglo a múltiples criterios, junto con el examen de los análisis del ciclo de vida, para concluir que la ubicación de las instalaciones de reciclaje mecánico es un factor clave a considerar en el reciclaje de artes de pesca (Deshpande *et al.,* 2020a); véase la Sección 1.3.4 sobre la infraestructura de gestión de residuos centralizada y descentralizada. En cuanto a la ubicación del reciclaje, el "reciclaje (en el interior)": es decir, reciclaje no exportado/reciclaje en Noruega, fue la opción preferida de tratamiento al final de la vida útil, seguida de la incineración, la descarga en vertederos y el reciclaje para exportación, fuera de Noruega (Deshpande *et al.*, 2020a).

No obstante, otros estudios han revelado una serie de resultados diferentes con respecto a los impactos ambientales, tras la comparación de las distintas tecnologías de reciclaje y dependiendo de las tecnologías específicas investigadas; véase como ejemplo el Cuadro 55 en Manzuch *et al.* (2021). Por ello, Schneider *et al.* (2023) han señalado la importancia de realizar análisis del ciclo de vida específicos para cada caso con respecto a los distintos tratamientos de residuos y tecnologías que se examinan (Schneider *et al.*, 2023). Otras herramientas de evaluación, como los análisis de los flujos de materiales[10] (Deshpande *et al.*, 2020b), también pueden servir de base para los análisis del ciclo de vida, al igual que una consideración de las oportunidades y los retos presentados por las distintas tecnologías de reciclaje de artes de pesca para contextos específicos de cada caso y a escalas relevantes a nivel local y regional.

1.3 MEDIDAS TÉCNICAS E INSTRUMENTOS DE POLÍTICA Y REGLAMENTARIOS PARA APOYAR EL RECICLAJE DE ARTES DE PESCA

En esta sección se resumen una variedad de medidas técnicas e instrumentos de política y reglamentarios que pueden apoyar el reciclaje de artes de pesca. Estas medidas e instrumentos pueden apoyarse a escala local, regional y mundial mediante medidas de gestión, políticas y legislativas, así como por los sectores público y privado. Respaldan los esfuerzos de gestión responsable de las artes de pesca no deseadas, incluida la gestión de residuos de EOLFG y ALDFG recuperados, y pueden actuar además como medidas preventivas de los ALDFG.

1.3.1 Diseñar para el reciclaje

Diseñar las artes de pesca para el reciclaje al final de su vida útil es una medida técnica que puede mejorar las oportunidades y la calidad de su reciclaje. Las artes de pesca se fabrican a menudo a partir de una variedad de polímeros y se personalizan para cumplir los criterios funcionales de cada arte (véase la Sección 1.2.1 sobre Diseño y fabricación de las artes de pesca). Los diseños de artes de pesca muy especializados con múltiples polímeros y aditivos pueden hacer que el reciclaje sea más difícil y costoso y dar lugar a la producción de artículos de plástico reciclado de menor calidad.

En la Sección 1.4 se analizan con mayor detalle las estrategias de diseño de artes de pesca que mejoran la circularidad de los productos. Entre las estrategias clave de diseño para incrementar la reciclabilidad de las artes de pesca específicamente cabe destacar:

[10] Los análisis de los flujos de materiales siguen el principio básico de conservación de la materia y la energía en sistemas aislados y el principio de balance de masas, y pueden utilizarse como herramientas de apoyo a la toma de decisiones para la gestión de los recursos (Deshpande *et al.*, 2020b).

reducir al mínimo la cantidad de polímeros mixtos y utilizar preferiblemente polímeros individuales claramente etiquetados que puedan ser identificados fácilmente al final de su vida útil. Los diseñadores y los fabricantes de artes de pesca también pueden tener como objetivo excluir, siempre que sea posible, materiales no reciclables y materiales y componentes que sean propensos a perderse de forma regular en el medio marino. En otros ámbitos, pueden reducir el uso de pigmentos oscuros que suelen ser más difíciles de reciclar, así como el uso de ciertos polímeros y otros materiales peligrosos que presenten obstáculos o inhiban la capacidad de reciclaje de las artes al final de su vida útil, o que generen preocupaciones en materia de medio ambiente y salud durante el proceso de reciclaje (Comisión Europea, 2020b; PNUMA, 2016). Asimismo, las artes pueden diseñarse, fabricarse y montarse con el objetivo de hacer que el proceso de desmontaje final sea más sencillo, incluso simplificando algunos componentes de las artes. Un estudio de 2020 producido por el Convenio sobre la protección del medio marino del Atlántico nororiental (Convenio OSPAR) proporciona más información sobre las mejores prácticas regionales en cuanto al diseño y la reciclabilidad de las artes de pesca (Comisión OSPAR, 2020).

Las tecnologías de identificación de las artes y los polímeros también pueden ayudar en el diseño de artes para el reciclaje. Las tecnologías de identificación de las artes pueden incluir una amplia variedad de tecnologías de marcado de artes (véase la Sección 1.3.2 sobre Marcado de las artes de pesca). Entre las posibilidades se incluye el marcado de agua digital de las artes de pesca y sus componentes de plástico en la etapa de diseño,[11] el cual contiene información sobre la composición polimérica para facilitar el procedimiento de pretratamiento para el reciclaje, especialmente las etapas de clasificación y separación por densidad de los materiales. También se podría incluir información con respecto a la vida útil recomendada de las artes de pesca (es decir, la fecha de "caducidad"), con datos como la fecha de fabricación y la vida útil prevista. Esta información ayudaría a los pescadores y las autoridades de reglamentación a garantizar que las artes se reparan y reemplazan eficazmente, se eliminan de forma responsable y no se utilizan más allá de su vida útil segura. Existen tecnologías que pueden escanear materiales de plástico e identificar el tipo o tipos de polímeros plásticos que componen un material, como el polietileno (PE) o la poliamida (PA) (véase el análisis sobre las tecnologías que mejoran los métodos actuales de identificación de los distintos polímeros plásticos en la Sección 1.2.3).

Las políticas y los marcos reglamentarios nacionales y regionales también pueden apoyar y acelerar la mejora de los diseños de artes de pesca para el reciclaje. Por ejemplo, se han analizado los requisitos relativos a la inclusión de materiales reciclables en las artes de pesca en las etapas de diseño y fabricación en el contexto regional europeo (Comisión Europea, 2020a). Si se desea incorporar materiales reciclados a las propias artes de pesca, la resistencia y la deformación de los materiales de desecho reciclados,[12] así como su costo, deberán ser comparables con los de los materiales vírgenes, a fin de facilitar la acogida por el sector pesquero. Es necesario aumentar la investigación y la innovación para mejorar el desarrollo y la fabricación de materiales reciclables para su aplicación en el medio marino con las propiedades físicas y mecánicas de los materiales vírgenes (p. ej., resistencia a la rotura, flexibilidad, resistencia a la abrasión y deformación), así como una resistencia comparable para garantizar mejor su aceptación por parte del sector pesquero.

[11] El marcado de agua digital es el proceso de insertar un código/marca de agua/datos digitales en un contenido multimedia digital: p. ej., imágenes, audio o vídeo.

[12] La deformación es la relación entre el cambio de longitud y la longitud original, expresada a veces como porcentaje. Los ensayos de resistencia a la tracción utilizan diagramas de esfuerzo en función de la deformación para mostrar los resultados (Sala *et al.*, 2004). La deformación es un parámetro importante en las artes de pesca, ya que la anchura de malla de las redes está restringida legalmente a ciertos tamaños en muchas pesquerías con redes, que no pueden modificarse durante su uso en el medio marino.

1.3.2 Marcado de las artes de pesca

El marcado de las artes de pesca es una herramienta importante para apoyar una mejor gestión de las artes durante su uso y al final de su vida útil, disuadir a los pescadores de descartar las artes en el mar y reducir los ALDFG (FAO, 2019b, 2019c, 2022; Comisión OSPAR, 2020). Mediante la creación de un vínculo entre los ALDFG recuperados y el pescador o buque responsables, el arte perdido accidentalmente puede devolverse al propietario para su reutilización, **reciclaje** u otra forma segura de eliminación (Brodbeck, 2016; FAO, 2015). Las artes marcadas también ayudan a las autoridades pesqueras a aplicar sanciones por vertido intencionado de artes de pesca en el medio marino. No obstante, si los requisitos de marcado de artes de pesca son especialmente onerosos o resultan en sanciones por lo que de otro modo se consideraría una pérdida normal de artes como resultado de las operaciones normales, los pescadores pueden verse disuadidos de marcar sus artes de pesca.

Macfadyen *et al.* (2009) recomiendan que la tecnología de marcado de artes de pesca sea una característica intrínseca del arte que pueda incorporarse durante las operaciones de fabricación y montaje. El marcado de las artes para identificar a los productores/fabricantes en la etapa de producción/montaje facilita los sistemas de responsabilidad ampliada del productor (EPR) para las artes de pesca (véase la Sección 1.3.6 sobre la EPR para las artes de pesca) y los esfuerzos de rastreabilidad de las artes. La mejora de la rastreabilidad, el seguimiento y la recuperación de las artes de pesca permite la gestión responsable de estas durante su uso y al final de su vida útil. Esto último incluye el apoyo a los sistemas de recogida y devolución de artes de pesca no deseadas, a partir de los cuales pueden ser recicladas (Comisión OSPAR, 2020). El marcado de las artes de pesca también puede apoyar los esfuerzos encaminados a prevenir, identificar y hacer cumplir la reglamentación contra las actividades de pesca ilegal, que es un factor causante de los ALDFG en algunas zonas del mundo (p. ej., los pescadores que operan ilegalmente descartarán a veces sus artes tras el uso o las abandonarán antes de las inspecciones de buques) (Richardson *et al.*, 2018). El marcado establece claramente la propiedad de las artes de pesca y contribuye a los esfuerzos de control y gestión de estas artes dentro de sus pesquerías asociadas (FAO, 2019a).

Se puede utilizar una variedad de métodos para marcar las artes de pesca, con diversos fines. Las artes pueden marcarse: para **identificar la propiedad, incluido la de un pescador o un buque; confirmar la legalidad de un arte de pesca; e indicar su posición en el agua**. El marcado también puede incluir la **identificación del material y la composición polimérica de las artes de pesca.** Esto facilita el desmontaje al final de su vida útil, a fin de separar los materiales reciclables de los no reciclables, los requisitos de clasificación y separación por densidad de la etapa de pretratamiento para el reciclaje, así como la decisión sobre la mejor opción de reciclaje disponible para los polímeros que componen las artes de pesca no deseadas.

En el *Manual for the Marking of Fishing Gear (*Manual para el marcado de las artes de pesca) de la FAO se detallan los métodos de marcado de artes de pesca destinados específicamente a **identificar la propiedad y confirmar la legalidad de las artes de pesca** (Einarsson *et al.*, 2023). Las artes suelen marcarse con fines de identificación con el número de la licencia de pesca o de matrícula, un número de la Organización Marítima Internacional (OMI) u otra forma de identificación individual (Cuadro 2) (Langedal *et al.*, 2020).

CUADRO 2. TIPOS DE INFORMACIÓN QUE PUEDE INCLUIRSE EN LAS MARCAS DE LAS ARTES DE PESCA

Información	Descripción
Código de país	• Tres caracteres alfabéticos (ISO3) que detallan el Estado del pabellón del buque: es decir, el Estado bajo cuya legislación está registrado el buque pesquero.
Identificadores de la propiedad: identificador único del buque (IUB)	• Identificadores mundiales: número de la OMI (cuando esté disponible), indicativo internacional de llamada de radio (IRCS) y número de identidad del servicio móvil marítimo (ISMM). • Identificadores regionales: cuando sea pertinente, el nombre de una organización regional de ordenación pesquera (OROP) con la que el buque esté registrado y autorizado a operar (p. ej., la IOTC) y, si procede, la matrícula de la OROP asignada al buque. • Identificadores nacionales como el número de matrícula o de licencia del buque. De manera adicional o alternativa, puede ser apropiado utilizar el nombre de la empresa, el número de licencia/permiso de pesca, el nombre del pescador o los datos de contacto del operador (especialmente para las artes de pesca que no se manejan desde un buque).
Fecha	• Control de la antigüedad del arte de pesca o de su primer año de uso. • Indicación de su uso legal durante un año determinado.
Código del arte	• Código del arte: si se encuentra una vez perdido, esto proporciona información sobre el tipo de arte de pesca, incluso si sólo se encuentra una parte de este. • El código del arte también garantiza que los marcadores emitidos para un tipo de arte se fijan al tipo de arte correcto. • Número secuencial único del arte para que los pescadores lo comprueben si utilizan muchas unidades de arte o, alternativamente, cuando la licencia exija que las unidades del arte estén numeradas secuencialmente.
Datos de contacto	• Información de contacto (correo electrónico, página web o número de teléfono) de un representante del propietario u operador del buque.

Fuente: Modificado y adaptado de Einarsson *et al.* (2023). *Voluntary Guidelines on the Marking of Fishing Gear: Manual for the marking of fishing gear.* Suppl. 2. FAO, Roma, Italia. Disponible en https://doi.org/10.4060/cc4251en

1.3.2.1 Directrices voluntarias sobre el marcado de las artes de pesca (VGMFG)

Las *Directrices voluntarias sobre el marcado de las artes de pesca* (VGMFG) de la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO) es el principal instrumento internacional disponible para abordar la cuestión de los aparejos de pesca abandonados, perdidos o descartados (ALDFG) a nivel mundial. Estas directrices proporcionan **orientaciones sobre la identificación de la propiedad y la posición de las artes de pesca, así como la legalidad de su uso, mediante disposiciones relacionadas con los sistemas de marcado de las artes, que incluyen la recuperación y la notificación de las artes perdidas y la eliminación responsable al final de su vida útil** (Clarke *et al.*, 2014; FAO, 2018a). En ellas se esbozan las medidas para prevenir los ALDFG y la pesca fantasma, facilitar la identificación y la recuperación de los ALDFG y combatir la pesca ilegal, no declarada y no reglamentada (pesca INDNR). Las VGMFG complementan el *Código de Conducta para la Pesca Responsable* de la FAO (véase la Sección 1.3.7 sobre los instrumentos de política internacionales relacionados con las artes de pesca no deseadas). Las directrices también incluyen un marco para realizar evaluaciones de riesgos con el fin de determinar la conveniencia de implantar un sistema de marcado de artes de pesca, que fue desarrollado posteriormente por He y Lansley (2023). Estas directrices se han diseñado para que sean sencillas, pragmáticas, asequibles y verificables; compatibles con los sistemas pesqueros de rastreabilidad y certificación conexos; y que reconozcan las necesidades especiales de los Estados en desarrollo y las pesquerías a pequeña escala. Asimismo, en ellas se resumen las oportunidades para apoyar las medidas de seguimiento, control y vigilancia (SCV) de las artes de pesca, la investigación y el desarrollo y los esfuerzos de concienciación, comunicación y desarrollo de la capacidad.

Al ser de carácter voluntario, las directrices no son directamente aplicables, por lo que cada país determina en qué medida aplica sus recomendaciones.[13] De esta manera, estas medidas voluntarias se benefician por ser más fáciles y rápidas de establecer por lo general, ya que no imponen compromisos vinculantes a los países, lo que significa que pueden tener un amplio alcance e incluir objetivos ambiciosos.

Aunque no sea su objetivo, las VGMFG apoyan las medidas de reciclaje de artes de pesca proporcionando recomendaciones para la notificación y la recuperación de los ALDFG y la eliminación racional de las artes de pesca no deseadas. Las secciones 43-45 se refieren específicamente al apoyo al reciclaje de artes de pesca.[14]

> 43. La autoridad competente debería alentar a los propietarios de las artes de pesca a disponer de los equipos y la capacitación adecuados para facilitar la recuperación de los aparejos de pesca abandonados, perdidos o descartados. Siempre que sea posible, el propietario u operador y la autoridad competente deberían colaborar para mejorar las actividades de recuperación. Los **propietarios (nacionales o extranjeros) deberían ser informados de los aparejos recuperados (en caso de que estuvieran debidamente marcados) de manera que puedan facilitar su recolección para reciclarlos, volver a utilizarlos o eliminarlos de forma segura**.
>
> 44. Los **aparejos de pesca abandonados, perdidos o descartados y las artes de pesca que ya no estén en uso deberían reciclarse** o desecharse de manera responsable en tierra. Los Estados deberían velar por que haya instalaciones portuarias de recepción adecuadas para la eliminación de aparejos de pesca de conformidad con el Anexo V del Convenio MARPOL.
>
> 45. **Se alienta a los Estados y a otras partes interesadas a que apoyen la creación de infraestructuras que posibiliten el reciclaje de los aparejos de pesca abandonados, perdidos o descartados que hayan sido recuperados, y de las artes de pesca que ya no estén en uso** (FAO, 2019a).

1.3.3 Instalaciones portuarias de recepción

Las instalaciones portuarias de recepción (PRF) son instalaciones especializadas en los puertos destinadas a recibir los residuos de los buques que los visitan. Cuentan con un amplio apoyo en el marco del Convenio internacional para prevenir la contaminación por los buques (MARPOL), con el Anexo V donde se subraya específicamente la necesidad de proporcionar instalaciones adecuadas para la recepción de basuras en los puertos (OMI, 2016). En el caso de las artes de pesca no deseadas, las instalaciones portuarias de recepción constituyen una importante infraestructura que permite la recogida específica de las EOLFG y los ALDFG recuperados, que pueden ser preparados posteriormente para su reciclaje. En el párrafo 44 de las *Directrices voluntarias sobre el marcado de las artes de pesca* se establece que:

> Los aparejos de pesca abandonados, perdidos o descartados y las artes de pesca que ya no estén en uso deberían **reciclarse** o desecharse de manera responsable en tierra. **Los Estados deberían velar por que haya instalaciones portuarias de recepción adecuadas para la eliminación de aparejos de pesca** de conformidad con el Anexo V del Convenio MARPOL (FAO, 2019a; sin negrita en el original).

[13] A diferencia del enfoque voluntario previsto por el VGMFG, el Fondo de Protección del Medio Marino El Comité de la Organización Marítima Internacional (OMI) acordó en 2022 que un sistema basado en objetivos. El requisito para el marcado obligatorio de los artes de pesca debería desarrollarse en el marco del Convenio Internacional. Convenio para la prevención de la contaminación por los buques (MARPOL), Anexo V, que establece normas para la prevención de la contaminación por basura procedente de los buques, y encargó al Subcomité de Prevención y respuesta a la contaminación para desarrollar proyectos de enmiendas al Anexo V del MARPOL y sus asociados directrices en consecuencia (OMI, 2022). Este trabajo está en curso y requerirá propuestas y aportes de Partes del Anexo V de MARPOL y una estrecha cooperación con la FAO para avanzar.

[14] Partes en negrita y subrayadas añadidas por los autores para aclarar los lugares donde aparece el reciclaje en las VGMFG.

Las instalaciones portuarias de recepción deberán adaptarse a las necesidades de cada puerto. En los puertos pequeños, por ejemplo, un contenedor en la instalación de recepción de pescado más cercana, o una recogida de artes de pesca programada y anunciada con regularidad, podría ser una solución viable (Langedal *et al.*, 2020).

Los puertos más grandes con altos volúmenes de tráfico de buques pesqueros deberán planear por lo general la recogida de artes de pesca durante todo el año e incluir instalaciones básicas, como contenedores de residuos especializados para las EOLFG y los ALDFG recuperados. Dependiendo de la ubicación de los contenedores de residuos y las cantidades y tipos de residuos recibidos, puede ser necesario clasificar y establecer flujos de materiales diferenciados, incluidos contenedores especializados para las artes de pesca no deseadas (PNUMA, 2016). Mantener esquemas de color específicos en los contenedores y otros receptáculos que sean consistentes para los distintos flujos de materiales, además de usar imágenes y textos claros, ayuda a los usuarios a tomar una decisión rápida sobre dónde descartar sus residuos. En la Figura 11 se muestra un ejemplo de instalaciones de recepción especializadas para las artes de pesca al final de su vida útil en el Reino Unido de Gran Bretaña e Irlanda del Norte.

También es importante garantizar que se proporcionan herramientas de comunicación eficaces e iniciativas de educación, de modo que los pescadores puedan utilizar las instalaciones portuarias de recepción de manera eficaz, incluidos procedimientos de eliminación claros para las artes de pesca no deseadas. Prędki *et al.* (2019) indican que a

FIGURA 11. INSTALACIONES PORTUARIAS DE RECEPCIÓN GRATUITAS PARA LAS ARTES DE PESCA NO DESEADAS Y OTROS RESIDUOS DE PLÁSTICO EN EL REINO UNIDO DE GRAN BRETAÑA E IRLANDA DEL NORTEPROPORCIONADAS POR EL NET REGENERATION SCHEME DE ODYSSEY INNOVATION Y EL PROYECTO INDIGO EN ESTE PAÍS



Fuente: Adaptado de Odyssey Innovation (2023a). *Free port reception facilities for unwanted fishing gear and other plastic waste in the UK*. Disponible en https://www.odysseyinnovation.com.

veces existen deficiencias en el suministro de información a los usuarios de los puertos y los pescadores no siempre saben dónde, cuándo o cómo se deben o se pueden eliminar y recoger de manera responsable las artes de pesca no deseadas. Por ejemplo, en la mitad de los puertos pesqueros de Europa aproximadamente, las artes de pesca no deseadas se suelen eliminar en los mismos contenedores que otros residuos municipales (Prędki *et al.*, 2019). En muchos casos, el personal del puerto desconoce lo que ocurre con las artes de pesca recogidas de forma separada, o si las empresas de gestión de residuos a las que se transfieren las EOLFG y los ALDFG recuperados tienen la experiencia y las instalaciones técnicas necesarias para reprocesar y recuperar los materiales. Es necesario mejorar la concienciación y la comunicación entre los pescadores, los administradores de los puertos y las empresas de gestión de residuos empleadas para tratar los residuos recibidos de las instalaciones portuarias de recepción, a fin de facilitar la recogida, la segregación, la eliminación responsable y el reciclaje de las artes de pesca no deseadas.

La decisión sobre las opciones de gestión de residuos para los desechos recogidos en las instalaciones portuarias de recepción depende de los volúmenes recogidos de artes de pesca no deseadas, los gastos e ingresos asociados y la infraestructura de residuos que esté accesible a nivel local (Van Meel, 2022). Se puede facilitar una variedad de instrumentos basados en el mercado e incentivos para apoyar la recogida especializada de artes de pesca no deseadas en las instalaciones portuarias de recepción y brindar apoyo a la necesaria infraestructura para su reciclaje. En la Sección 1.3.5 se exponen los instrumentos basados en el mercado que pueden apoyar al reciclaje de artes de pesca, incluso mediante la provisión de instalaciones portuarias de recepción.

Las políticas y los mecanismos reglamentarios nacionales y regionales también pueden brindar apoyo a la recogida de artes de pesca no deseadas en instalaciones portuarias de recepción especializadas. En Europa, por ejemplo, la Directiva relativa a las instalaciones portuarias receptoras (PRFD) revisada (Comunicación COM(2018) 33, 2018) regula la descarga de desechos de los buques en el mar, incluidos los buques pesqueros y las embarcaciones de recreo. Exige que los Estados miembros de la Unión Europea establezcan instalaciones portuarias receptoras adecuadas y que los buques transfieran sus desechos a estas instalaciones antes de salir del puerto. También exige que las instalaciones portuarias receptoras incluyan puntos de recogida separada para las artes de pesca y los "desechos pescados de manera no intencionada" (es decir, los desechos recogidos por las artes durante las operaciones de pesca). Esta directiva incluye además los costos indirectos de transporte de los desechos a los puertos,[15] incluidos los de las artes de pesca no deseadas y los desechos operacionales.

1.3.4 Infraestructura de gestión de residuos centralizada y descentralizada

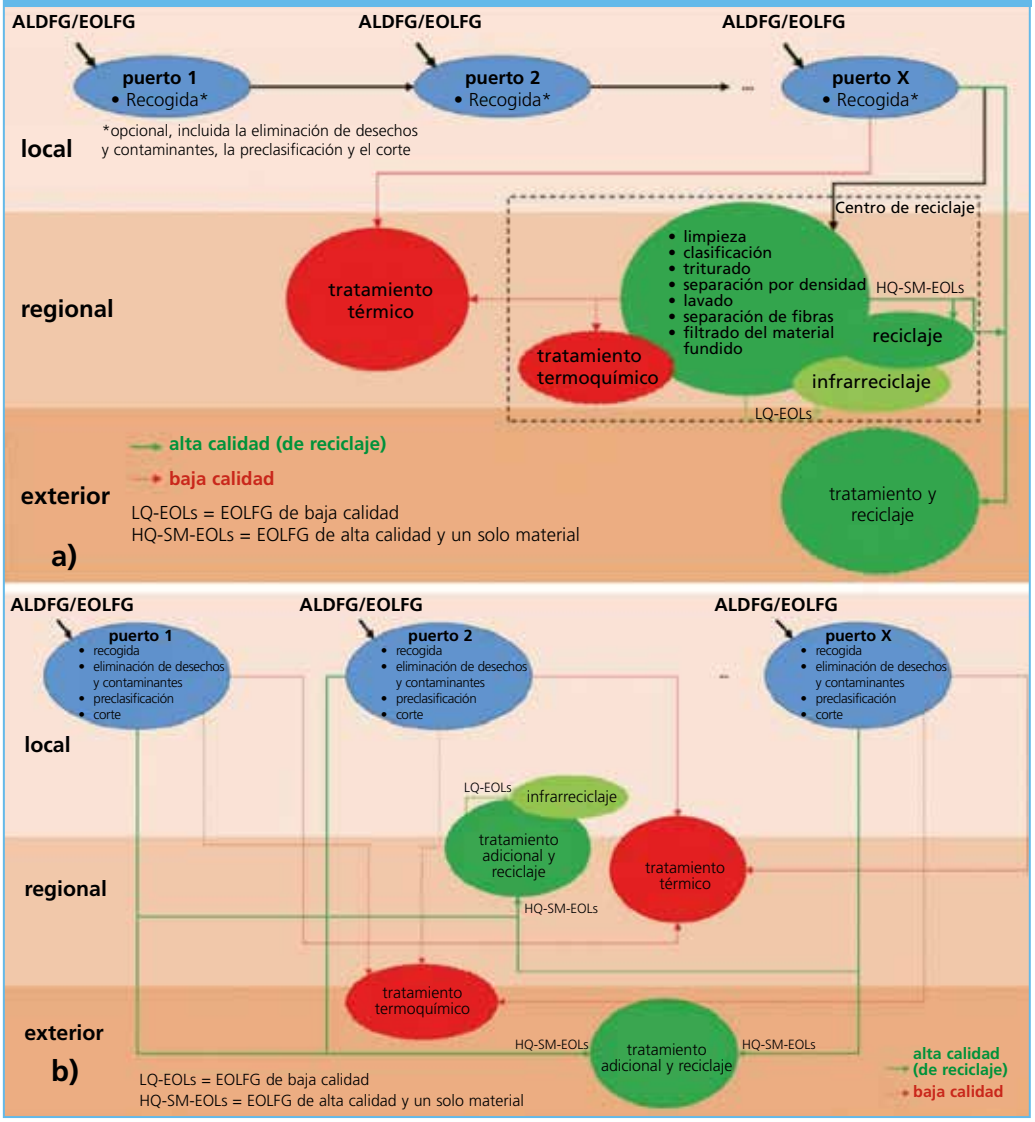
Tras la recogida de las artes de pesca para su reciclaje, a menudo mediante la provisión de instalaciones portuarias de recepción (PRF) si están disponibles y son adecuadas, es necesario tratar previamente las artes de pesca no deseadas y transportarlas a la instalación de reciclaje más cercana y mejor disponible. La ubicación de esta infraestructura de gestión de residuos es una consideración técnica importante en el reciclaje de artes de pesca, ya que ésta influye en la logística, los recursos y los costos necesarios para la entrega de las artes de pesca no deseadas a la instalación de reciclaje.

La ubicación de la infraestructura de gestión de residuos suele calificarse de "centralizada" o "descentralizada" (Bertling y Nühlen, 2019). En un enfoque de infraestructura **centralizada**, una vez que se ha recogido una cantidad suficiente de artes de pesca no deseadas de una serie de puertos disponibles que asegure un suministro

[15] Las tarifas de residuos indirectas se explican con mayor detalle en la Sección 2.1.6: Instrumentos basados en el mercado. En los sistemas de tarifas de residuos indirectas, los costes relacionados con las instalaciones portuarias de eliminación de residuos se incluyen en tarifas más amplias establecidas previamente que los buques pagan para utilizar los puertos. Por consiguiente, los pescadores no pagan directamente por descargar sus residuos, sino que estos costes están incluidos indirectamente a través de otras tarifas portuarias más generales.

mínimo para el reciclaje, dichas artes se recogen de los puertos mediante un "recorrido de recogida" y se transportan a una instalación de tratamiento regional centralizada (denominada a menudo "centro de reciclaje"). En este lugar, se pueden llevar a cabo todas las etapas de pretratamiento, incluido el triturado (para los procesos primarios a terciarios), el filtrado por densidad y el fundido (para los procesos primarios y secundarios) (Figura 12a) (Bertling y Nühlen, 2019). Como se indica con un asterisco en la Figura 12a, algunas etapas iniciales básicas de pretratamiento para el reciclaje pueden llevarse a cabo también en los puertos donde se recogen las artes, como la eliminación de desechos y contaminantes, la preclasificación y el corte. No obstante, la mayoría de los procedimientos de pretratamiento tienen lugar en la instalación de tratamiento centralizada/centro de reciclaje. Las etapas finales del reciclaje pueden tener lugar en la misma instalación central o, si se necesitan tecnologías especializadas (p. ej., regranulación, despolimerización y algunos tratamientos térmicos), los materiales totalmente pretratados pueden ser transportados a una instalación especializada ("exterior" en la Figura 12a) para su tratamiento y reciclaje.

FIGURA 12. ENFOQUES DE INFRAESTRUCTURAS DE GESTIÓN DE RESIDUOS (A) CENTRALIZADAS (ES DECIR, CENTRO DE RECICLAJE) Y (B) DESCENTRALIZADAS (ES DECIR, TRATAMIENTO *IN SITU*)



Fuente: Modificado y adaptado de Bertling y Nühlen (2019). *Study on logistics and infrastructure required for DFG treatment*. Programa Interreg para la región del mar Báltico 2014-2020, Informe del proyecto MARELITT Baltic (https://marelittbaltic.eu/documents).

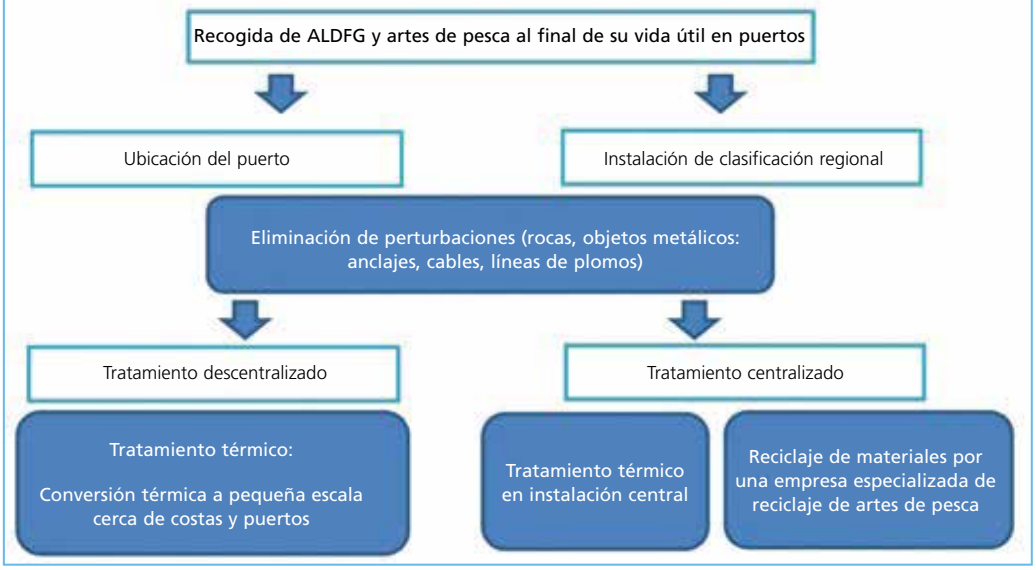
La infraestructura de gestión de residuos **descentralizada** difiere de la centralizada en que en lugar de tener una instalación de tratamiento central/centro de reciclaje donde se lleva a cabo la mayoría de los procedimientos de pretratamiento, las fases iniciales del procedimiento de pretratamiento de las artes de pesca no deseadas se realizan en los puertos donde se recogen, antes de ser transportadas a las instalaciones de reciclaje locales o regionales para su necesario tratamiento posterior y reciclaje (Figura 12b; Bertling y Nühlen (2019)). Como ocurre para la infraestructura centralizada, si se necesitan tecnologías especializadas, las artes casi totalmente tratadas pueden transportarse a una instalación especializada para su tratamiento final/reciclaje (Figura 12b). En definitiva, las instalaciones de tratamiento de residuos centralizadas se denominan así principalmente debido a su ubicación centralizada en la instalación de tratamiento regional/centro de reciclaje, mientras que la infraestructura descentralizada puede existir tanto a nivel local como regional, con la oportunidad de disponer de múltiples instalaciones de tratamiento y reciclaje más pequeñas cerca de los puertos donde se recogen las artes de pesca.

Se ha abogado por una combinación de infraestructuras y logística de gestión de residuos centralizadas y descentralizadas para las artes de pesca no deseadas, a fin de permitir un tratamiento óptimo y eficaz en función de los costos (Stolte *et al.* (2019). Con objeto de reducir los costos, la recogida de los materiales y el transporte a las instalaciones de eliminación o reciclaje deben organizarse con el mínimo nivel de transporte posible. Tanto las EOLFG como los ALDFG reciclables de un solo polímero y limpios deberán recogerse en contenedores separados y transportarse de manera separada de los ALDFG mezclados y de baja calidad, que probablemente necesiten un tratamiento adicional para su reciclaje y posiblemente técnicas diferentes (p. ej., procesos terciarios o cuaternarios). Las etapas iniciales de pretratamiento, como la eliminación de objetos metálicos voluminosos y rocas de las EOLFG y los ALDFG, deberán llevarse a cabo en los puertos receptores, o cerca de ellos, para reducir los costos de transporte. La separación de los materiales limpios de un solo polímero de los ALDFG mezclados de baja calidad también puede tener lugar en las primeras etapas del proceso de reciclaje, preferiblemente en el puerto pesquero.

Se puede designar un punto de recogida específico para las artes de pesca no deseadas en un puerto regional para recoger estos materiales en toda la región antes de enviarlos a las instalaciones de tratamiento mecánico (reciclaje primario y secundario), químico (reciclaje terciario) o térmico (reciclaje terciario y cuaternario). Es fundamental centralizar y ampliar la clasificación de los materiales y el desmontaje de las artes de pesca siempre que sea posible, así como determinar y proporcionar cantidades/volúmenes considerables de EOLFG y ALDFG recuperados. Un lugar de clasificación especializado puede ser más eficaz y producir fracciones de material más consistentes disponibles para el reciclaje, en comparación con el tiempo y los recursos económicos que necesitan los pescadores locales para separar materiales de alta y baja calidad en cada puerto.

Tras la clasificación, las EOLFG de un solo polímero y alta calidad y los ALDFG de un solo material y extremadamente limpios pueden entregarse a una instalación de reciclaje mecánico o químico. Debido a que la limpieza y la separación de sedimentos residuales y sales, así como el mezclado o la extrusión para obtener materiales reciclados o hilados, requieren tecnología especializada e instalaciones de tratamiento de fibras, se adopta generalmente un enfoque de infraestructura centralizada (Figura 13). Las instalaciones de tratamiento térmico pueden estar centralizadas (si requieren tecnologías más especializadas) o descentralizadas (Figura 13). Las instalaciones de tratamiento térmico centralizadas y otras instalaciones regionales de clasificación de materiales deberían situarse estratégicamente cerca de los puertos y requerir distancias de transporte relativamente mínimas. Las instalaciones de tratamiento térmico descentralizadas son prácticas por lo general si sólo se procesan unas pocas toneladas

FIGURA 13. OPCIONES DE TRATAMIENTO CENTRALIZADO Y DESCENTRALIZADO PARA LA GESTIÓN DE RESIDUOS DE ALDFG Y EOLFG



Fuente: Adaptado de Stolte *et al.* (2019). *A treatment scheme for derelict fishing gear*. Programa Interreg para la región del mar Báltico 20142020, Informe del proyecto MARELITT Baltic (https://marelittbaltic.eu/documents).

de artes de pesca no deseadas al año. Si se construyen instalaciones de pirólisis o de reformado con vapor de tipo contenedor a pequeña escala (véase el Anexo 1.2 para obtener más información sobre estas tecnologías de conversión térmica), estas instalaciones podrían ubicarse entre varios puertos pesqueros próximos para reducir al mínimo los costos de transporte y mejorar la eficacia general de estos procesos de reciclaje, dependiendo de la cantidad total de los materiales recibidos para el reciclaje.

Cada región tendrá que evaluar sus necesidades de reciclaje y la logística asociada para la infraestructura centralizada o descentralizada requerida. La evaluación puede llevarse a cabo a través de varias partes interesadas en la pesca y la gestión de residuos, los gobiernos locales o una organización de responsabilidad del productor (PRO) en el marco de un sistema de responsabilidad ampliada del productor (EPR) (véase la Sección 1.3.6 para obtener más información sobre la responsabilidad ampliada del productor para las artes de pesca). En definitiva, la logística de recogida y reciclaje de las artes de pesca debe ser sostenible desde el punto de vista económico y se deberán evaluar los costos de transporte de los materiales a estas instalaciones, incluidas las emisiones de carbono derivadas de las actividades de recogida, transporte, preparación y reciclaje.

1.3.5 Instrumentos basados en el mercado

Los instrumentos basados en el mercado (MBI) son herramientas y medidas técnicas, incluidas las políticas de gestión y las medidas reglamentarias, que influyen en el costo o el precio de mercado de un producto o servicio (Ten Brink *et al.*, 2009). Se basan en gran medida en los principios de 'quien contamina paga', 'el usuario/beneficiario paga' y recuperación total de los costos (Ten Brink *et al.*, 2009). Se pueden emplear para incentivar o desincentivar comportamientos e influir en el precio o aumentar los ingresos de un bien o servicio. De esta manera, los instrumentos basados en el mercado ofrecen un conjunto de mecanismos para apoyar el reciclaje de artes de pesca incentivando y recompensando los diseños de artes de pesca reciclables y la inclusión de materiales reciclados en nuevas artes (o desincentivando la no inclusión de materiales reciclados en las artes), así como incentivando y recompensando la devolución y la recogida de artes de pesca no deseadas para su reciclaje. Finalmente, pueden generar ingresos (p. ej., para

los organismos locales de gestión de residuos, las autoridades portuarias y las empresas de reciclaje) para brindar apoyo a la infraestructura de reciclaje de artes de pesca.

Se puede emplear una variedad de instrumentos basados en el mercado para apoyar el reciclaje de artes de pesca, entre los que cabe citar:

- programas de "recompra" de artes de pesca (también denominados comúnmente planes de recompensa);
- planes de reembolso de depósitos;
- sistemas de registro y depósito;
- sistemas de responsabilidad ampliada del productor (EPR);
- impuestos, como impuestos medioambientales, que generan ingresos para apoyar la logística y la infraestructura de reciclaje;
- tarifas portuarias de residuos "indirectas" (también conocidas como "sin costo" o "sin tarifa especial") (Brodbeck, 2016; Ten Brink *et al.*, 2009); y
- sistemas de certificación.

Los **programas de "recompra" de artes de pesca** o **planes de recompensa** incentivan la devolución y la recogida de artes de pesca no deseadas para su posterior reciclaje ofreciendo una compensación económica por las artes de pesca no deseadas y otros residuos plásticos devueltos de las operaciones de pesca y el medio marino. Por ejemplo, en 2001, la República de Corea introdujo un programa de "recompra" con compensaciones para los pescadores que retiraron redes y otra basura marina y las "vendieron" posteriormente a este programa al volver al puerto. En la Sección 2.1.6 de la segunda parte, Ejemplo de instrumento basado en el mercado (MBI) para la recuperación y la recogida de artes de pesca no deseadas: Programa de recompra de basura marina en la República de Corea, se proporciona un ejemplo práctico de este tipo de instrumentos.

Los **planes de reembolso de depósitos** requieren que los consumidores paguen un depósito por los artículos adquiridos, como la compra de artes de pesca, el cual se reembolsa posteriormente a los individuos que devuelven estos artículos al final de su uso. Estos planes pueden ocurrir a nivel nacional, regional o local/municipal (Lavee, 2010) y los costos asociados a su aplicación son proporcionales a la cantidad de material devuelto. Los planes de reembolso de depósitos para las artes de pesca deberían ser lo suficientemente flexibles para permitir la devolución de las artes que hayan sido reparadas durante su vida útil, o combinadas con otras artes, con un número suficiente de ubicaciones disponibles para que los pescadores apoyen estos planes (Brodbeck, 2016). Es necesario que los programas de recompra (planes de recompensa) y los planes de reembolso de depósitos se apliquen con cuidado, a fin de recompensar la recogida y la devolución responsables de ALDFG y EOLFG y evitar a la vez cualquier posible robo deliberado de artes de pesca con el objetivo de solicitar recompensas o reembolsos.

Los **sistemas de registro y depósito** son similares a los planes de reembolso de depósitos, aunque difieren en los requisitos de registro de las artes de pesca cuando se adquieren, de modo que estas puedan ser identificadas con su propietario. Se paga un depósito por la compra de las artes, que el propietario puede recuperar al devolverlas al final de su vida útil (Bertling y Nühlen (2019)). Estos sistemas pueden apoyar además los sistemas de marcado de artes de pesca (Sección 1.3.2.1) y los sistemas de responsabilidad ampliada del productor (EPR). Estos últimos, que se analizan en mayor detalle en la Sección 1.3.6, pueden servir de apoyo al reciclaje de artes de pesca garantizado que los fabricantes/productores de artes de pesca sean responsables de su devolución para el reciclaje al final de su vida útil.

Los **impuestos**, como los impuestos medioambientales, son un ejemplo de un instrumento basado en el mercado transversal que podría complementar o apoyar otros instrumentos basados en el mercado, como los sistemas de responsabilidad ampliada del productor (EPR) y de recompensa. Muchos economistas consideran

que los impuestos son un tipo de instrumento basado en el mercado eficaz en virtud de su capacidad para desalentar comportamientos contaminantes y el uso ineficaz de los recursos, generando a la vez ingresos con unos costos de aplicación relativamente modestos (Oosterhuis *et al.*, 2014). Los impuestos pueden imponerse en varias etapas del proceso de producción de las artes de pesca, incluidas las etapas de fabricación, montaje y compra. Los ingresos procedentes de los impuestos que gravan las diferentes etapas de producción y compra de las artes de pesca pueden utilizarse para financiar la gestión de las artes y la administración al final de su vida útil, como el apoyo a la financiación de la infraestructura de recuperación, recogida y reciclaje de artes de pesca no deseadas. Es importante definir claramente los requisitos y las obligaciones de los fondos generados por estos impuestos para asegurar que se utilizan de manera eficaz para establecer y pagar los correspondientes sistemas o infraestructuras de reciclaje. Los impuestos también pueden reducirse para incentivar ciertos comportamientos de producción y el uso de, por ejemplo, más materiales reciclables en la producción de artes de pesca.

Las **tarifas de residuos "indirectas"** también se han presentado como una manera de fomentar la recogida de artes de pesca y su devolución en los puertos. En virtud de los sistemas de tarifas indirectas, los buques pagan una cantidad preestablecida antes de utilizar los puertos, incluidas las instalaciones de residuos. Esto contrasta con las "tarifas directas", por las que los buques pagan costos adicionales para descargar sus residuos. Los sistemas de tarifas indirectas pueden incentivar a los buques para eliminar sus artes de pesca no deseadas en los puertos, ya que el costo de esta descarga de residuos está ya incluido en el pago para el uso del puerto, independientemente de si se benefician de las instalaciones y de la cantidad de artes no deseadas y otros residuos que descarguen (Brodbeck, 2016). Como se analiza en la Sección 1.3.3 sobre las instalaciones portuarias de recepción, es necesario que haya una comunicación clara con los buques y los pescadores para asegurar que estos conocen la disponibilidad de las instalaciones de recepción de residuos y que no incurrirán en gastos adicionales por la descarga de sus desechos.

Las normas ecológicas y sociales, los **sistemas de certificación** y las directrices sobre etiquetado, que suelen utilizarse en el contexto pesquero para determinar las pesquerías sostenibles y promover buenas prácticas medioambientales y sociales, también tienen el potencial de incentivar el reciclaje de artes de pesca. Los sistemas y normas de certificación y etiquetado pueden incentivar el uso de plásticos reciclados en productos, mientras que los sistemas de certificación de pesquerías pueden mostrar y fomentar la gestión responsable de las artes de pesca, incluida la devolución al final de su vida útil para el reciclaje. Si bien los sistemas de certificación no siempre se clasifican como instrumentos basados en el mercado,[16] se incluyen en este informe debido a su importancia y la oportunidad de proporcionar información a los consumidores con respecto al uso responsable de las artes de pesca por parte de las empresas pesqueras. Los sistemas de certificación tienen el potencial de fomentar el diseño, el uso y la gestión al final de la vida útil de las artes de pesca de manera responsable, de acuerdo con las normas establecidas, así como apoyar el reciclaje mediante, por ejemplo, normas para la devolución de ALDFG recuperados y EOLFG. También pueden influir en los consumidores para que apoyen productos certificados de artes de pesca responsables. Esto último puede incluir el pescado capturado por pescadores y empresas certificados o los productos que utilizan materiales de artes de pesca recicladas de proveedores certificados. Algunas organizaciones como el Administración Marina y el Consejo

[16] Froger *et al.* (2015) examinan la importancia de los sistemas de etiqueta ecológica y de certificación dentro de los instrumentos basados en el mercado, dado que los productores participan voluntariamente y se comprometen a respetar criterios y normas medioambientales establecidos, y que los elevados precios de los productos certificados pueden interpretarse como pagos por el mantenimiento o el suministro de servicios ecosistémicos.

CUADRO 3. FACTORES QUE HAN DE TENERSE EN CUENTA ANTES DE SELECCIONAR UN INSTRUMENTO BASADO EN EL MERCADO (MBI)

Factor	Descripción
1. Viabilidad	¿Aborda el MBI los problemas y prioridades ambientales nacionales, las obligaciones nacionales y los objetivos internacionales?
2. Eficacia	¿Tiene el instrumento económico el potencial de ofrecer beneficios ambientales significativos? ¿Es el instrumento eficaz en función de los costos (de administración, aplicación, control, etc.)?
3. Beneficio económico	¿Generará el MBI ingresos útiles (p. ej., ingresos que apoyen la sostenibilidad del sistema de MBI con fondos que beneficien, en el caso de este informe, los sistemas de reciclaje de artes de pesca)?
4. Equidad	¿Es el MBI justo y equitativo (es decir, el principio de 'quien contamina paga')?
5. Repercusiones sociales	¿Cuáles son las repercusiones en los distintos grupos sociales y de ingresos? ¿Podrá el público destinatario permitirse los gastos asociados?
6. Tarificación	¿Conduce el instrumento a una tarificación eficaz (mejorando el precio de mercado para acercarse a la tarificación social/de los recursos)?
7. Observancia	¿Existen marcos de política, administrativos y de infraestructura que apoyen el MBI? ¿Existen obstáculos?
8. Aceptabilidad	¿Es comprensible y creíble para las partes interesadas y el público?
9. Coherencia económica	How does the MBI interact with the budget deficit, competitiveness, inflation etc.? ¿Cómo interactúa el MBI con el déficit presupuestario, la competitividad, la inflación, etc.? En el caso de este informe, la coherencia económica incluye la sostenibilidad del MBI a largo plazo, incluida su viabilidad y uso.

Fuente: Modificado y adaptado de Brodbeck (2016). *Mechanisms to support the recycling/reuse of fishing gear and the prevention of gear becoming lost/abandoned at sea. Barrier assessment.* Circular Ocean Report Type 10-2016. NTNU, Universidad Noruega de Ciencia y Tecnología. Trondheim, 5 de octubre de 2016. Información de Ten Brink *et al.* (2009). *Guidelines on the Use of Marketbased Instruments to Address the Problem of Marine Litter*. Instituto para una Política Europea del Medio Ambiente (IEEP), Bruselas, Bélgica, y Sheavly Consultants, Virginia Beach, Virginia, Estados Unidos.

de Administración de la Acuicultura, entre otras,[17] han comenzado a incorporar normas de certificación para abordar y reducir al mínimo los ALDFG o las artes fantasmas (EIA, 2022; Hodgson, 2022; Huntington, 2019; MSC, 2022). Las normas de certificación existentes para los ALDFG y las artes fantasmas podrían actualizarse para incluir consideraciones y requisitos relativos al reciclaje de artes de pesca al final de su vida útil; además, se podrían elaborar nuevas normas de certificación en los lugares donde no existe ninguna actualmente. Por ejemplo, el programa Redes de América está trabajando en un modelo de certificación para las artes de pesca basado en el balance de masas; se prevé que el programa animará a las empresas a abordar la cuestión del reciclaje de artes de pesca de manera más eficaz y proporcionará información valiosa para los consumidores de alimentos marinos (en la Sección 2.1.3 se incluye más información sobre esta labor).

En el Cuadro 3. Factores que han de tenerse en cuenta antes de seleccionar un instrumento basado en el mercado (MBI) se resumen los factores que han de tenerse en cuenta antes de seleccionar un instrumento basado en el mercado, los cuales también pueden utilizarse en el contexto de la selección de instrumentos basados en el mercado destinados a fomentar el reciclaje de artes de pesca.

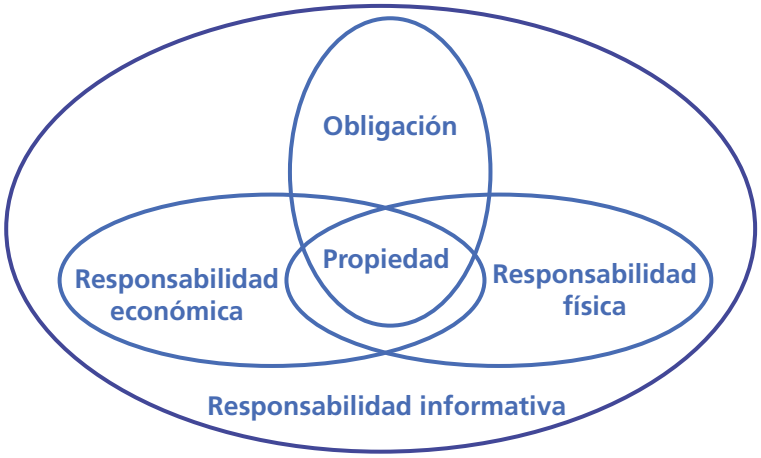
1.3.6 Responsabilidad ampliada del productor (EPR) para las artes de pesca

Como se analiza en la Sección 1.3.5, el principio de responsabilidad ampliada del productor (EPR) puede utilizarse como un instrumento basado en el mercado para apoyar el reciclaje de artes de pesca. En esta sección se describe en líneas generales la EPR como principio, así como algunas de sus aplicaciones para apoyar la gestión de artes de pesca no deseadas y su reciclaje.

La responsabilidad ampliada del productor (EPR) es un principio medioambiental que hace a los productores responsables del ciclo de vida completo de los productos que introducen en el mercado: desde su diseño hasta el final de su vida útil, incluidos

[17] Véase la página 4 de EIA (2022) con respecto a los organismos de certificación y las etiquetas ecológicas.

FIGURA 14. FORMAS DE RESPONSABILIDAD EN VIRTUD DE LOS SISTEMAS DE RESPONSABILIDAD AMPLIADA DEL PRODUCTOR (EPR)



Fuente: Modificado y adaptado de Lindhqvist (2000). *Extended Producer Responsibility in Cleaner Production: Policy Principle to Promote Environmental Improvements of Product Systems. International Institute for Industrial Environmental Economics* (IIIEE), Tesis doctoral, Universidad de Lund.

la recogida y el reciclaje de los residuos. El principio de responsabilidad ampliada del productor emerge a través del análisis de las experiencias obtenidas de los sistemas de reciclaje y gestión de residuos y la aplicación de instrumentos de política que fomentan una producción más limpia (Lindhqvist, 2000).

Lindhqvist (1992) presentó una definición oficial de la responsabilidad ampliada del productor:

> La responsabilidad ampliada del productor es una estrategia de protección del medio ambiente para alcanzar el objetivo de reducir el impacto medioambiental total de un producto, haciendo al fabricante del producto responsable del ciclo de vida completo del producto y, especialmente, de su recuperación, reciclaje y eliminación final. La responsabilidad ampliada del productor se aplica a través de instrumentos administrativos, económicos e informativos. La composición de estos instrumentos determina la forma precisa de la responsabilidad ampliada del productor.

El concepto de "quien contamina paga" es coherente con el principio de responsabilidad ampliada del productor, que es además un requisito previo para incluir en el precio los necesarios costos del ciclo de vida de un producto (WWF e IEEP, 2020). En la Figura 14 se distinguen las distintas formas de responsabilidad en virtud de los sistemas de responsabilidad ampliada del productor.

Por *obligación* se entiende la responsabilidad por el impacto demostrable del producto en el medio ambiente. La legislación determina el ámbito de la responsabilidad, que puede abarcar varias etapas del ciclo de vida del producto, incluido su uso y eliminación final.

El término ***responsabilidad económica*** se refiere al compromiso del productor de pagar la totalidad o una parte de los costos asociados con, por ejemplo, la recogida, el reciclaje o la eliminación de los productos que fabrica.

El término ***responsabilidad física*** se utiliza para describir los sistemas en los que el fabricante participa activamente en la gestión física de los productos o sus impactos.

Por otra parte, el fabricante podría conservar la ***propiedad*** de los productos fabricados durante todo su ciclo de vida, haciéndolo responsable de cualquier impacto ambiental que puedan causar los productos. En el caso de las artes de pesca, asignar la propiedad al fabricante de las artes de pesca supone un reto, ya que el fabricante/

productor suele tener muy poco o ningún control sobre la forma en que los pescadores utilizan las artes producidas en el medio marino.

El término ***responsabilidad informativa*** se refiere a una variedad de formas de incrementar la responsabilidad por los productos creados obligando a los fabricantes a proporcionar información sobre las propiedades de los productos.

Como principio de política, la responsabilidad ampliada del productor es importante para:

> promover mejoras ambientales del ciclo de vida total de los sistemas de productos extendiendo las responsabilidades del fabricante del producto a varias partes del ciclo de vida completo del producto, y especialmente a la recuperación, el reciclaje y la eliminación final del producto (OCDE, 2001).

Se pueden emplear diferentes herramientas políticas en apoyo a los sistemas de responsabilidad ampliada del productor, incluidas las que pueden apoyar el reciclaje de artes de pesca. Entre estas cabe citar los requisitos de recuperación del producto (p. ej., artes de pesca); los instrumentos basados en el mercado y económicos (véase la Sección 1.3.5); los reglamentos y las normas de rendimiento para la producción de artes de pesca; los instrumentos basados en la información con respecto a la composición material de las artes de pesca; y los requisitos de gestión al final de su vida útil (WWF e IEEP, 2020).

En virtud de los sistemas de responsabilidad ampliada del productor, los productores de artes de pesca sufragarán los costos relacionados con la recogida separada de las artes de pesca no deseadas que se descarguen en las instalaciones portuarias de recepción o en sistemas de recogida equivalentes, además del posterior transporte y tratamiento para su readaptación, reciclaje, incineración o descarga en vertederos. Se recomienda encarecidamente que los responsables de la formulación de políticas y los organismos gubernamentales diseñen programas de responsabilidad ampliada del productor en consulta con las partes interesadas; entre estas cabe citar operadores pesqueros, fabricantes y montadores de artes de pesca, empresas de reciclaje, pequeñas y medianas empresas (PYME), empresarios, cooperativas o empresas sociales. De acuerdo con Charter *et al.* (2020), esta flexibilidad otorga a los Estados la oportunidad de considerar otros enfoques políticos, a fin de:

- recompensar a los operadores pesqueros, los fabricantes de artes de pesca u otras partes que reparan o reutilizan los componentes de las artes de pesca existentes, teniendo en cuenta el ciclo de vida máximo de las artes y sus componentes;
- penalizar la eliminación de las artes de pesca reciclables en vertederos o instalaciones de incineración; y
- a nivel local y nacional, ofrecer incentivos a las partes interesadas en el sistema de innovación en general.

La adopción de sistemas y políticas de responsabilidad ampliada del productor puede fomentar cambios hacia diseños de artes de pesca más reciclables, así como mejorar la funcionabilidad, otorgando a los productores y fabricantes de artes de pesca plena responsabilidad física y financiera de los productos: la totalidad de los elementos y componentes de las artes, que producen (Lindhqvist, 2000). Asimismo, las políticas y sistemas de responsabilidad ampliada del productor ofrecen un conjunto de opciones financieras a los gobiernos y los responsables de la formulación de políticas que tratan de mejorar las normas en materia de reciclaje y gestión de residuos del país o la región. Por ejemplo, los gobiernos locales, las autoridades portuarias y los organismos de gestión de residuos pueden utilizar los ingresos generados a través de los sistemas de responsabilidad ampliada del productor para apoyar los programas de reciclaje de artes de pesca, que pueden incluir la recogida en puertos, el pretratamiento, el transporte y el reciclaje final.

FIGURA 15. SISTEMA DE RESPONSABILIDAD AMPLIADA DEL PRODUCTOR PARA LAS ARTES DE PESCA



Fuente: Adaptado de Zych (2020). *Extended Producer Responsibility Schemes - What role for fishing gear producers?* Landbell Group. Disponible en https://webgate.ec.europa.eu/maritimeforum/en/system/files/landbell_aneta_zych_epr_schemes.pdf.

Muchos sistemas de responsabilidad ampliada del productor han separado las funciones de los gobiernos, los responsables de la formulación de políticas y las autoridades de reglamentación para establecer y hacer cumplir los reglamentos en materia de responsabilidad ampliada del productor. Esto significa que los productores, los distribuidores y los usuarios son responsables de la recogida de los productos al final de su vida útil y la aplicación de un sistema de reciclaje, como, por ejemplo, a través de una organización de responsabilidad del productor (PRO). Una organización de este tipo también puede establecer tarifas diferenciadas para cada tipo de producto por el que los productores deban pagar costos de responsabilidad ampliada del productor. En la Figura 15 se proporciona un ejemplo de las funciones de las distintas partes interesadas en un sistema de responsabilidad ampliada del productor para las artes de pesca gestionado colectivamente a través de una organización de responsabilidad del productor.

En el documento de posición *Advocating Extended Producer Responsibility for fishing gear* (Defensa de la responsabilidad ampliada del productor para las artes de pesca) (UICN *et al.*, 2021) se proporciona una serie de recomendaciones que han de tener en cuenta las autoridades y otras partes interesadas relevantes para establecer políticas y sistemas de responsabilidad ampliada del productor para las artes y cuerdas de pesca. Estas recomendaciones son:

aplicar un enfoque por etapas;

1. definir claramente los términos jurídicos relacionados con la responsabilidad ampliada del productor para las artes y cuerdas de pesca;
2. llevar a cabo un diseño y una aplicación coordinados a nivel nacional, local e internacional;

3. considerar el diseño basado en plataformas y la aplicación de sistemas de responsabilidad ampliada del productor;[18]
4. crear y fortalecer mecanismos de gobernanza;
5. gestionar y distribuir los fondos;
6. abordar los retos jurisdiccionales;
7. desarrollar sistemas e instrumentos financieros que apoyen la aplicación eficaz de la responsabilidad ampliada del productor para las artes y cuerdas de pesca;
8. diseñar planes eficaces de aplicación de la responsabilidad ampliada del productor;
9. aplicar controles y evaluaciones regulares; e
10. implicar a las principales partes interesadas (UICN *et al.*, 2021).

La Directiva (UE) 2019/904 (2019) sobre los plásticos de un solo uso (SUP) de la Unión Europea proporciona un ejemplo de cómo puede aplicarse la responsabilidad ampliada del productor a las artes de pesca a nivel regional. La Directiva SUP exige que los Estados miembros creen sistemas de responsabilidad ampliada del productor específicos para las artes de pesca que contengan plástico, e incluye cualquier objeto o pieza de equipo que se utilice en la pesca o la acuicultura, incluidos los componentes de las artes de pesca que contengan plástico. En virtud de la Directiva SUP, los productores serán financieramente responsables del ciclo de vida completo de sus artes de pesca y componentes que contengan plástico, incluida la concienciación sobre las opciones de gestión de residuos al final de su vida útil, a saber: la recogida al final de su vida útil, el transporte y el tratamiento final, e incluso el reciclaje si fuera una opción o posibilidad. Debido a la variedad de agentes involucrados en la producción de artes de pesca (p. ej., productores, montadores, reparadores de artes, importadores y proveedores), definir la responsabilidad del productor en estos sistemas de responsabilidad ampliada del productor constituye un reto dentro de la región. Los puertos, los pescadores y los productores de artes de pesca a pequeña escala quedan excluidos de estos requisitos de responsabilidad sobre los productos en virtud de la Directiva SUP.

1.3.7 Instrumentos de política internacionales relacionados con las artes de pesca no deseadas

Los instrumentos de política y reglamentarios internacionales pueden emplearse también para apoyar el reciclaje de artes de pesca no deseadas, a fin de complementar y seguir apoyando las medidas técnicas expuestas en las secciones 1.3.11.3.6. Existe una amplia gama de instrumentos de política internacionales que abordan la cuestión de las artes de pesca no deseadas. En la publicación *Aspectos jurídicos de los aparejos de pesca abandonados, perdidos o descartados* se detallan estos instrumentos jurídicos y reglamentarios internacionales y regionales (Hodgson, 2022). La mayoría de los actuales instrumentos jurídicos y reglamentarios internacionales relacionados con las artes de pesca no deseadas fueron concebidos en líneas generales para abordar cuestiones de conservación y contaminación del medio marino a nivel mundial, así como consideraciones en materia de ordenación pesquera. Dado que los ALDFG son una fuente importante de la basura plástica marina de origen marino con efectos perjudiciales para la conservación del medio ambiente y la sostenibilidad de la pesca, muchos de estos instrumentos se aplican directa e indirectamente a las artes de pesca no deseadas, incluyendo a menudo específicamente los ALDFG.

Los principales convenios, protocolos, acuerdos y planes de acción internacionales relativos a la basura marina que se aplican a las artes de pesca no deseadas también son pertinentes en líneas generales para el tema específico del reciclaje de artes de

[18] Esto incluye, por ejemplo, las plataformas regionales o temáticas como la Unión Europea u organizaciones internacionales específicas que armonizan políticas y directrices, además de las evaluaciones de riesgos y recomendaciones en materia de gestión por parte de organizaciones como la Iniciativa Global contra las Redes de Pesca Fantasmas (GGGI).

pesca en lo que respecta al apoyo a la administración de las artes de pesca y la gestión responsable al final de su vida útil. Cabe citar, entre otros:

- La Parte XII de la **Convención de las Naciones Unidas sobre el Derecho del Mar (CNUDM)**, que está dedicada a la "Protección y preservación del medio marino". Los Estados deben adoptar, individual o conjuntamente, según proceda, todas las medidas compatibles con la CNUDM que sean necesarias para prevenir, reducir y controlar la contaminación del medio marino procedente de cualquier fuente (PNUMA, 2016).
- El **Acuerdo de las Naciones Unidas sobre las poblaciones de peces (ANUPP)**, como acuerdo de aplicación adoptado tras la CNUDM para abordar la conservación y la explotación de las poblaciones de peces transzonales y peces altamente migratorios, con referencia específica en el artículo 5 a reducir al mínimo la contaminación, el desperdicio, los desechos y la captura por "aparejos perdidos o abandonados" y sus impactos asociados. También contiene disposiciones para apoyar el marcado de los aparejos (artículo 18) y proporciona información sobre los aparejos de pesca de un buque (artículo 19) (Hodgson, 2022).
- **Resoluciones de la Asamblea General de las Naciones Unidas (AGNU)** (varias de ellas, incluidas las Resoluciones 57/142 y 60/31 de la UNGA), que incluyen las relativas a la recopilación de datos sobre los ALDFG y el intercambio de información; el análisis de la aplicación y la eficacia de las medidas de ordenación de los ALDFG; el apoyo a los estudios relativos a los ALDFG, incluidas consideraciones socioeconómicas; el desarrollo de mejores prácticas de ordenación y programas de prevención y recuperación; e inventarios nacionales de redes y otros tipos de aparejos (Hodgson, 2022).
- La **Resolución 5/14 de la Asamblea de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (UNEA)** para "Poner fin a la contaminación por plástico: hacia un instrumento internacional jurídicamente vinculante", que inició un proceso internacional para negociar un nuevo instrumento internacional jurídicamente vinculante para prevenir la contaminación por plástico, incluso en el medio marino, con la ambición de completar las negociaciones a finales de 2024 (UNEA, 2022).
- La **Agenda 2030 de las Naciones Unidas para el Desarrollo Sostenible**, que apoya el desarrollo sostenible a nivel mundial mediante 17 objetivos de desarrollo sostenible (ODS), los cuales tienen por objeto terminar con la pobreza, mejorar la salud y la educación, reducir la desigualdad, estimular el crecimiento económico, luchar contra el cambio climático y trabajar para preservar los océanos y los bosques (PNUD, 2016; Naciones Unidas, 2023). Varios ODS son relevantes para el reciclaje de artes de pesca, incluido específicamente el ODS 14 (Vida submarina), cuyo objetivo es conservar y utilizar de manera sostenible los océanos, los mares y los recursos marinos para el desarrollo sostenible, teniendo especial importancia la meta 14.1, cuya finalidad es prevenir y reducir significativamente la contaminación marina de todo tipo, incluidos los detritos marinos. El ODS 12 (Producción y consumo responsables) y el ODS 17 (Alianzas para lograr los objetivos) también son específicamente relevantes con respecto a la necesidad de colaboración y asociación entre las partes interesadas para abordar el ciclo de vida completo de las artes de pesca.
- El **Convenio de Basilea sobre el control de los movimientos transfronterizos de los desechos peligrosos y su eliminación**, con requisitos relativos a la gestión ambiental racional de los residuos (PNUMA, 2021b).
- El **Convenio internacional para prevenir la contaminación por los buques (MARPOL) de la Organización Marítima Internacional (OMI)**, incluido específicamente el Anexo V del Convenio MARPOL que previene las basuras

(incluidos los aparejos de pesca) procedentes de los buques. El Convenio MARPOL es un instrumento internacional jurídicamente vinculante que incluye disposiciones para la prevención de la contaminación provocada por los aparejos de pesca, incluso en forma de residuos plásticos. También apoya la provisión de instalaciones portuarias de recepción adecuadas para las basuras, que también pueden utilizarse para la recogida y la devolución de artes de pesca no deseadas (OMI, 2016).

- El **Convenio sobre la prevención de la contaminación del mar por vertimiento de desechos y otras materias, 1972, de la OMI** (también conocido como Convenio de Londres/Protocolo de Londres (LC/PL), que incluye disposiciones que prohíben el vertimiento de desechos plásticos y materiales sintéticos persistentes, como redes y cuerdas de pesca.
- El **Plan de acción de la OMI para abordar el problema de la basura plástica marina procedente de los buques**, que incluye una variedad de medidas para prevenir y reducir los ALDFG, con medidas específicas relacionadas con la disponibilidad y la idoneidad de las instalaciones portuarias de recepción, la consideración del marcado obligatorio de las artes de pesca, la notificación de las artes de pesca perdidas y el apoyo a la entrega de las artes de pesca no deseadas a las instalaciones en tierra (OMI, 2018).
- El **Código de Conducta para la Pesca Responsable (CCPR) de la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO)**, que incluye la reducción al mínimo de la contaminación y las capturas por artes de pesca perdidos o abandonados, la reducción al mínimo de la pérdida de artes de pesca y sus efectos, y disposiciones relativas a los sistemas de evacuación de residuos de artes de pesca (FAO, 1995).
- Las **Directrices internacionales para la ordenación de las capturas incidentales y la reducción de los descartes de la FAO,** con disposiciones relativas a la reducción de los efectos asociados con las artes de pesca perdidas incluida la pesca fantasma, la modificación de las artes y los métodos de pesca, la identificación de la propiedad de las artes y la recuperación de las artes (Hodgson, 2022).
- Las **Directrices voluntarias sobre el marcado de las artes de pesca (VGMFG) de la FAO**, que incluyen principios y orientaciones generales para el marcado de las artes de pesca y la identificación del propietario; un marco para realizar evaluaciones de riesgos para el marcado de artes de pesca; medidas para prevenir, reducir y recuperar los ALDFG, con referencias específicas al reciclaje de artes; y amplio apoyo a las medidas de gestión de las artes de pesca conexas. En la Sección 1.3.2 se ofrece una explicación más amplia sobre las VGMFG y su vinculación con el reciclaje de artes de pesca.

Los países que participan a nivel mundial incorporan estos convenios, protocolos y acuerdos mundiales que abordan cuestiones en materia de basura marina, contaminación y ordenación pesquera, y que incluyen específicamente a los ALDFG, a instrumentos jurídicos análogos a nivel regional y nacional. Estos instrumentos internacionales de política y reglamentarios se han incluido en este informe ya que son pertinentes en líneas generales para el reciclaje de artes de pesca como una opción para la gestión responsable de las artes de pesca al final de su vida útil. Las medidas de prevención, reducción y mitigación contempladas en muchos de estos instrumentos internacionales afectan a la calidad y cantidad de las artes de pesca que puedan estar disponibles para el reciclaje de muchas maneras, además de los principios generales de administración de las artes de pesca que el reciclaje de artes contribuye a apoyar.

También se pueden llevar a cabo acciones a nivel regional para abordar la cuestión de los ALDFG, incluidas las que apoyan la gestión y el reciclaje de artes de pesca no deseadas más específicamente, a fin de fomentar la cooperación y la coordinación entre

los países que comparten recursos marinos. Esto puede incluir las acciones emprendidas por una variedad de organizaciones y organismos regionales de ordenación y política, incluidas las organizaciones regionales de ordenación pesquera (OROP) y los órganos regionales de pesca (ORP) en general, así como a través de organizaciones y programas de mares regionales. Varias OROP han adoptado medidas para abordar la cuestión de los ALDFG, entre las que cabe citar la notificación obligatoria de las artes de pesca perdidas, en virtud de la Comisión para la Conservación de los Recursos Vivos Marinos Antárticos (CCRVMA), y las medidas de conservación y ordenación (CMM) dirigidas a los ALDFG en virtud de la Comisión Internacional para la Conservación del Atún del Atlántico (CICAA) y la Comisión de Pesca del Pacífico Occidental y Central (CPPOC) (Hodgson, 2022). Asimismo, la Comisión del Atún para el Océano Índico (IOTC) está analizando la puesta en marcha de las *Directrices voluntarias sobre el marcado de las artes de pesca* en su zona de competencia (He y Lansley, 2022).

Los programas de mares regionales, en particular a través de los convenios y planes de acción de mares regionales (RSCAP, por sus siglas en inglés)[19] relativos a la basura marina, pueden apoyar también las acciones e intervenciones relacionadas con los ALDFG y los esfuerzos de gestión y reciclaje de artes de pesca no deseadas (PNUMA y GridArendal, 2016). Por ejemplo, el Convenio sobre la protección del medio marino del Atlántico nororiental (Convenio OSPAR) apoya los esfuerzos de reciclaje de artes de pesca y las consideraciones en materia de economía circular (Comisión OSPAR, 2020). Las directivas relativas a los plásticos de un solo uso y las instalaciones portuarias receptoras de la Unión Europea pueden servir como ejemplos adicionales de políticas regionales más amplias emprendidas para gestionar responsablemente las artes de pesca no deseadas, incluida la provisión de instalaciones portuarias receptoras para las artes de pesca no deseadas y el apoyo al reciclaje de artes de pesca cuando resulte viable (Comunicación COM(2018) 33, 2018; Directiva (UE) 2019/904, 2019; Comisión Europea, 2020c).

Debido a la variedad de diferentes organismos/autoridades/sectores con los que algunos planes de acción y organizaciones/órganos regionales pueden solaparse a la hora de abordar la cuestión de los ALDFG y el reciclaje de artes de pesca (p. ej., autoridades medioambientales, pesqueras, de transporte marítimo y portuarias), es importante comunicar qué organizaciones y organismos serán responsables de las intervenciones relacionadas con los ALDFG y las artes de pesca no deseadas tanto a nivel regional como nacional; esto incluye el seguimiento, el control y la observancia de estas intervenciones. También es importante velar por que las acciones emprendidas por los diferentes organismos regionales y los gobiernos nacionales se comuniquen, armonicen y coordinen. La comunicación fluida y la coherencia garantizan que puedan apoyarse mutuamente con mayor eficacia y aumentar el efecto de sus esfuerzos, en vista de la variedad de actores y partes interesadas involucrados en la gestión de las artes de pesca no deseadas y el reciclaje de artes de pesca.

1.4 ECONOMÍA CIRCULAR RELACIONADA CON LAS ARTES DE PESCA

En esta sección se amplían los análisis sobre el reciclaje de artes de pesca cubiertos en las secciones 1.2 y 1.3 con el objetivo de explorar un enfoque de economía circular (EC) más inclusivo para el uso y la gestión de las artes de pesca, desde su diseño y fabricación hasta el final de su vida útil. Un modelo de economía circular para las artes de pesca incluye el reciclaje de artes de pesca como una opción dentro de un conjunto más amplio de las etapas de su ciclo de vida. El enfoque de economía circular

[19] Existen 18 convenios y planes de acción de mares regionales, seis de los cuales son gestionados directamente por el PNUMA. Entre estos cabe citar el Mediterráneo (Convenio de Barcelona), la región del Gran Caribe (WCR), los mares de Asia oriental y África oriental (Convenio de Nairobi), el Pacífico noroccidental (NOWPAP) y África occidental y central (WACAF) (PNUMA y Grid-Arendal, 2016).

tiene por objeto reducir al mínimo la producción de residuos y la contaminación a lo largo del ciclo de vida de las artes de pesca reteniendo a la vez su valor, incluido el de sus materiales constituyentes, el mayor tiempo posible. Esta sección comienza con una introducción al modelo de economía circular, incluida su aplicación a las artes de pesca. A continuación, se analizan las similitudes con la jerarquía de residuos y los modelos y conceptos de economía circular basados en la letra R (p. ej., las tres R) y cómo complementan el modelo de economía circular, incluida su aplicación a las artes de pesca y el reciclaje de artes no deseadas. Se concluye con una exploración sobre estrategias de diseño de artes de pesca más circulares y la manera en que los modelos de negocio para las artes de pesca pueden hacerse más circulares a fin de garantizar una mejor viabilidad de mercado del modelo de economía circular. La aplicación de los principios de economía circular al diseño, la fabricación, el uso y la gestión al final de su vida útil de las artes de pesca no sólo puede mejorar las oportunidades de reciclaje de artes de pesca, sino que también puede contribuir a un ciclo de vida más holístico y sostenible para ellas a largo plazo.

1.4.1 Modelo de economía circular

El modelo de economía circular (EC) es uno de los enfoques más populares para abordar las preocupaciones mundiales con respecto a la necesidad de conservar los recursos y reducir las emisiones de carbono (Van Fan *et al.*, 2022). Una economía circular se refiere a un modelo de producción y consumo en el que los recursos finales se reutilizan y reciclan en el ciclo de vida del producto en la medida de lo posible, y en el que los residuos se reducen al mínimo en última instancia (Korhonen *et al.*, 2018).

De acuerdo con (Alhawar*i et al.,* 2021), la economía circular se define como:

> El conjunto de procesos de planificación organizativa para crear y suministrar productos, componentes y materiales con la máxima utilidad para los consumidores y la sociedad mediante la utilización eficaz y eficiente de los ciclos de los ecosistemas, la economía y los productos, cerrando los circuitos de los flujos de los recursos.

Una economía circular es regenerativa por diseño y procura, en última instancia, desvincular el desarrollo del uso de recursos limitados (Ellen MacArthur Foundation, 2019). El modelo de economía circular apoya los esfuerzos que permiten a los materiales retener su valor el mayor tiempo posible dentro de la economía, reutilizándolos regularmente. Sus principios apoyan nuevos modelos de negocio, el pensamiento de diseño y métodos más eficaces de consumo y producción (Di Vaio *et al.*, 2022; Esposito *et al.*, 2018).

La economía circular **tiene por objeto evitar los residuos y la contaminación desde el principio del ciclo de vida de un producto hasta la etapa de fin de uso**. En la Figura 16 se ilustran las etapas principales de un modelo de economía circular (Comunicación COM(2014) 398, 2008). Cada etapa ofrece oportunidades para reducir los costos y la dependencia de los recursos naturales, estimulando el crecimiento y el empleo, así como reduciendo los residuos y las emisiones nocivas para el medio ambiente. Tener en cuenta el diseño de los métodos de producción, los bienes y los servicios es un primer paso fundamental para los modelos de economía circular. En lugar de diseñarse para un uso relativamente corto antes de su eliminación, los productos pueden rediseñarse para durar más tiempo, de modo que puedan ser restaurados, mejorados o refabricados a lo largo de su ciclo de vida, antes de ser reciclados al final de su vida útil.

FIGURA 16. DIAGRAMA CONCEPTUAL DE LAS ETAPAS PRINCIPALES DE UN MODELO DE ECONOMÍA CIRCULAR



Fuente: Adaptado de Comunicación COM(2014) 398 (2008). *Hacia una economía circular: un programa de cero residuos para Europa*. Comunicación de la Comisión al Parlamento Europeo, el Consejo, el Comité Económico y Social Europeo y el Comité de las Regiones. COM(2014) 398 final.

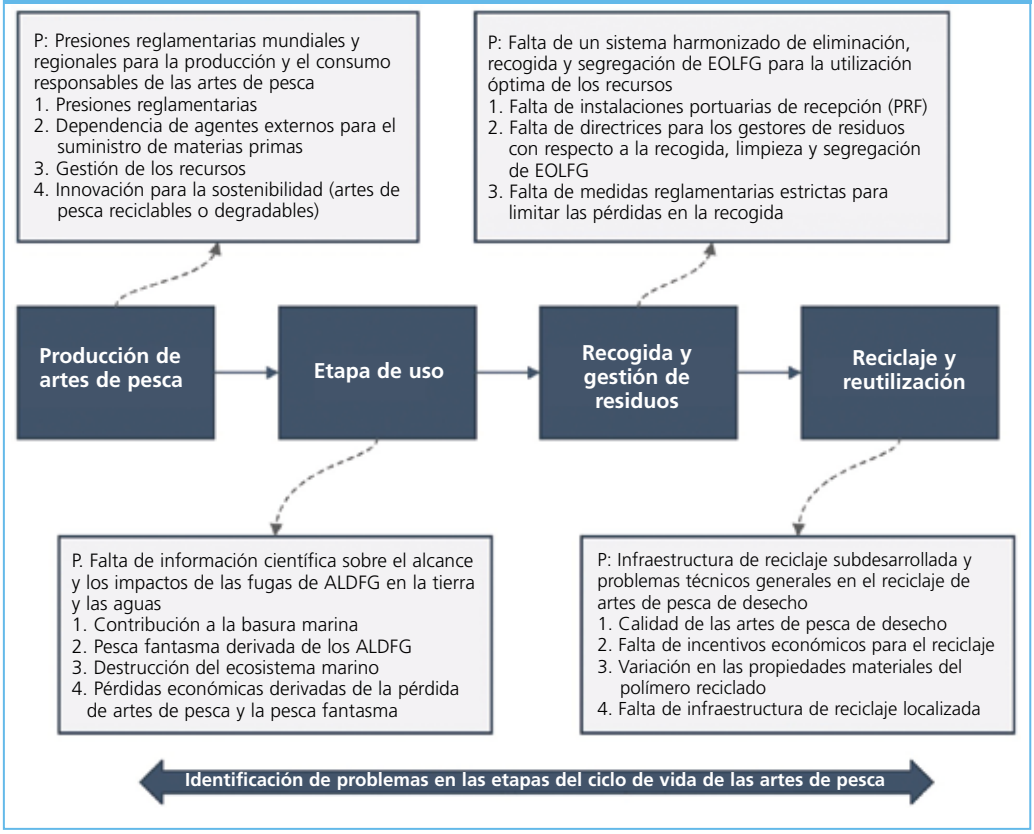
Aunque la etapa de diseño puede incluir el diseño para el reciclaje de las artes (Sección 1.3.1), es en la etapa de eliminación de la vida útil de un producto donde realmente comienza el proceso de reciclaje. No obstante, el reciclaje no será suficiente para compensar el enorme volumen de residuos que se genera actualmente y cada vez más, y que agrava los problemas ambientales actuales. En el caso de los plásticos, se estima que menos de un 10 % de ellos han vuelto a entrar en la cadena de valor desde la década de 1950, es decir, han sido reciclados o reutilizados (Geyer, 2020; Geyer *et al.*, 2017). De acuerdo con el Foro Económico Mundial:

> En una economía circular debidamente construida, uno debería centrarse más bien en evitar la etapa de reciclaje a toda costa. Puede sonar sencillo, pero evitar que se generen residuos en primer lugar es la única estrategia realista (Foro Económico Mundial, 2017).

Aunque no hay duda de que el reciclaje es importante, en un enfoque de economía circular es aún más importante garantizar que los productos y los materiales se diseñan para ser reutilizados, reparados y refabricados desde el principio. Las empresas ya están explorando la manera de "diseñar sin residuos" cuando los productos aún están en la etapa de concepto (Foro Económico Mundial, 2020).

Estudiar las etapas del ciclo de vida es fundamental para facilitar el conocimiento sobre circularidad, incluidas las etapas clave en un modelo de economía circular para las artes de pesca. La aplicación y la práctica de un enfoque basado en el ciclo de vida para las artes de pesca requerirá enfoques graduales en todo el ciclo de vida del arte. En la Figura 17 se proporcionan ejemplos de los problemas identificados en las etapas del ciclo de vida de las artes de pesca, mientras que en la Figura 18 se sugieren elementos para la evaluación y estrategias asociadas en las etapas del ciclo de vida de las artes de pesca. Estas figuras, basadas en un marco metodológico de ingeniería de sistemas, abordan la compleja cuestión de la gestión de los recursos de los ALDFG desde una perspectiva del ciclo de vida de las artes de pesca (Deshpande y Haskins, 2021).

FIGURA 17. PROBLEMAS IDENTIFICADOS EN LAS ETAPAS DEL CICLO DE VIDA DE LAS ARTES DE PESCA

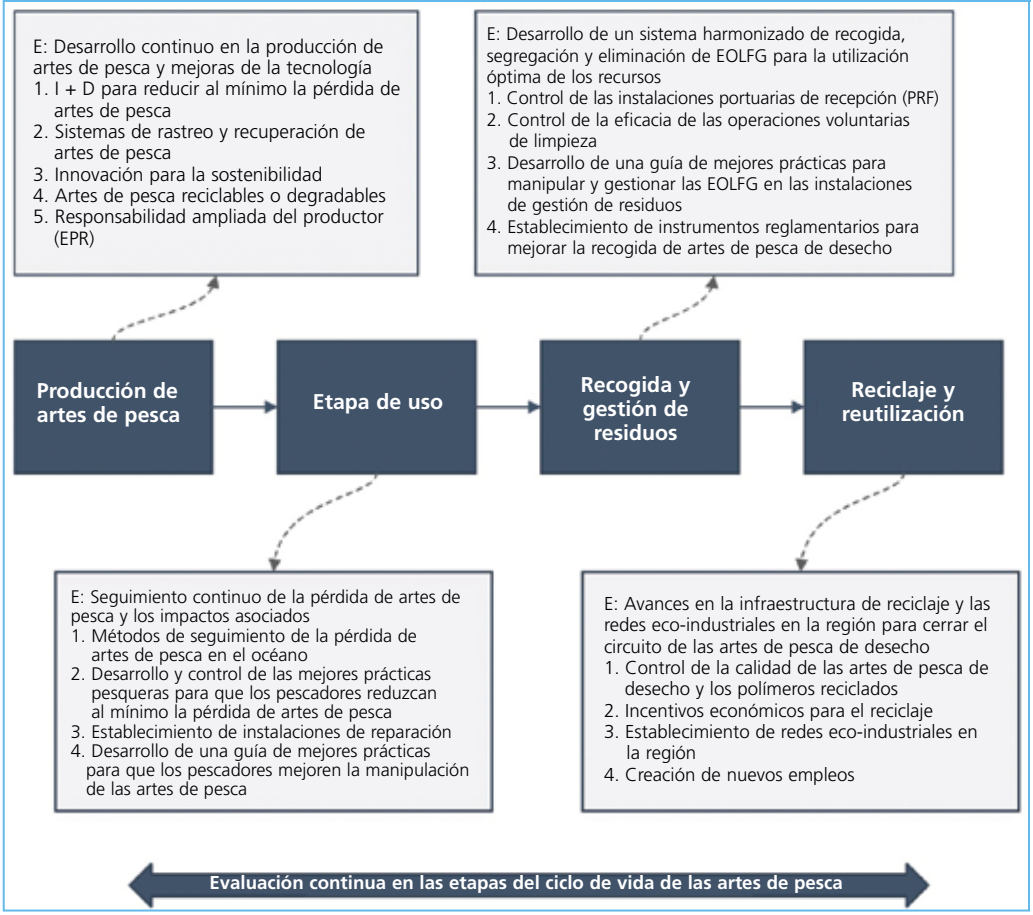


Fuente: Adaptado de Deshpande y Haskins (2021). *Application of systems engineering and sustainable development goals towards sustainable management of fishing gear resources in Norway. Sustainability*, 13(9), 4914.

La reducción de la contaminación por residuos y la **creación de una economía circular requieren acciones complejas por parte de varias partes interesadas**, entre las que cabe citar organismos gubernamentales, consumidores, comerciantes, organizaciones de gestión de residuos, empresas de reciclaje de residuos y otros, incluido el sector informal (p. ej., recolectores de basura en vertederos) (Hahladakis, 2020; PNUMA, 2021b). La creación de una economía circular eficaz que sea aceptada por las empresas y el público requiere numerosas etapas, como la introducción de infraestructura e inversión apropiadas y la facilitación de cambios de comportamiento en toda la cadena de suministro (PNUMA, 2016). La primera etapa en la instauración de una política nacional de economía circular requiere generalmente el establecimiento de una norma legislativa en materia de circularidad. Otras etapas pueden incluir: el incremento del uso de energía renovable en la fabricación de materiales; el empleo de técnicas de reciclaje y de gestión de la demanda; la sustitución de los combustibles fósiles como materia prima para los plásticos; la mejora de las normas de diseño y reciclaje (véanse las secciones 1.3.1 y 1.4.3); la reducción de la cantidad de aditivos peligrosos en los productos de plástico; la valoración más precisa del costo de los plásticos; el fortalecimiento de la infraestructura de gestión de residuos; la concienciación del público; y el cambio a modelos de negocio basados en la reutilización (Dauvergne, 2018; Forrest *et al.*, 2019; Zheng y Suh, 2019).

Aunque la conciencia sobre la importancia de la economía circular está aumentando en los sectores económicos, la **falta de investigación con respecto a la rentabilidad de los enfoques de economía circular** presenta el principal obstáculo para su aplicación. Por consiguiente, es necesario seguir estudiando con respecto a las estrategias de financiación de la economía circular, los nuevos modelos de negocio y los mercados

FIGURA 18. ESTRATEGIAS DE EVALUACIÓN CONTINUA SUGERIDAS PARA LOS RECURSOS DE ARTES DE PESCA EN EL SISTEMA DE ETAPAS DEL CICLO DE VIDA



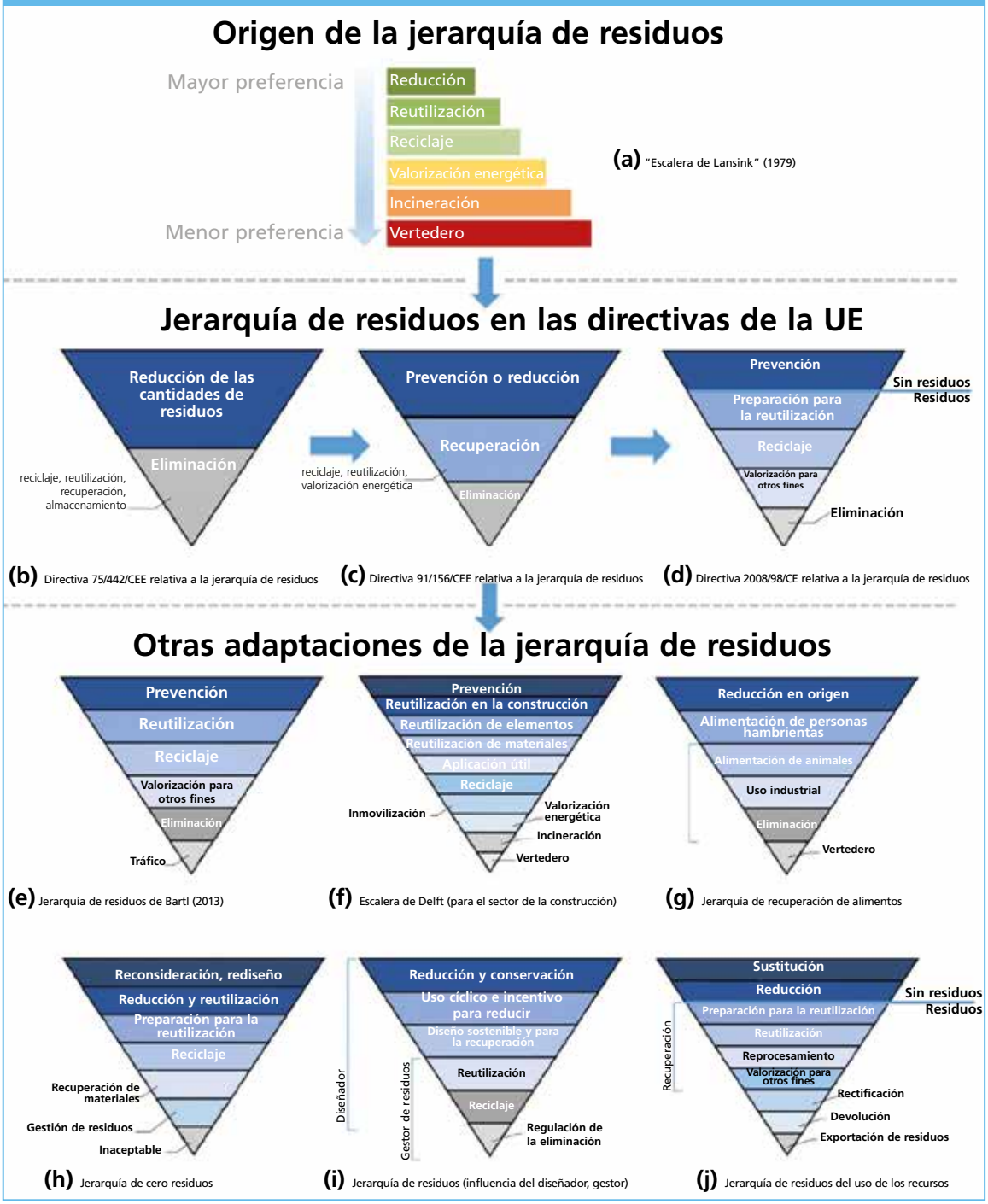
Fuente: Adaptado de Deshpande y Haskins (2021). *Application of systems engineering and sustainable development goals towards sustainable management of fishing gear resources in Norway*. Sustainability, 13(9), 4914.

viables (véase la Sección 1.4.4). Se necesita más investigación sobre cómo se pueden aplicar y adaptar los métodos existentes, como los análisis del ciclo de vida (ACV), los análisis de los flujos de materiales (MFA, por sus siglas en inglés) y los análisis de costos-beneficios (ACB), a los diferentes contextos de la economía circular. Esta investigación mejorará el conocimiento conceptual así como el entendimiento empírico y cuantitativo del vínculo entre las economías circulares y las sostenibles (Rezaie *et al.*, 2022).

1.4.2 Jerarquía de residuos y conceptos de economía circular basados en la letra R

Aunque la economía circular se ha adoptado como el paradigma general para la gestión de los recursos y los residuos en varios estudios, en pocos de ellos se incluyen también debates sobre la jerarquía de residuos. La jerarquía de gestión de residuos determina una secuencia de acciones preferida para la reducción y la gestión de los residuos. La jerarquía de residuos tiene por objeto **generar la menor cantidad posible de residuos y maximizar a la vez las ventajas prácticas de los residuos** (Egüez, 2021). Un principio fundamental de la jerarquía de gestión de residuos se conoce como la *"escalera de Lansink"* (Lansink, 1979, 2018), en la que se destaca el orden de preferencia de las opciones de gestión de los residuos y conservación de los recursos, donde "reducción" se encuentra en la parte superior y "vertedero" en la parte inferior. En la Figura 19(a) se proporciona una representación esquemática básica de dicha escalera.

FIGURA 19. DESARROLLO DE LA JERARQUÍA DE RESIDUOS EN EUROPA



Notas: el panel (a) se basa en la escalera de Lansink (1979); (b) se ha diseñado en base a la Directiva 75/442/CEE (1975) del Consejo; (c) se ha trazado en función de la Directiva 91/156/CEE (1991) del Consejo; (d) se ha ilustrado en base a la Directiva 2008/98/CE (2008); (e) se deriva de Bartl (2013); (f) se ha obtenido de Hendricks y Te Dordthorst (2001); (g) se ha obtenido de la jerarquía de recuperación de alimentos de la Agencia de Protección del Medio Ambiente de los Estados Unidos (Ceryes *et al.*, 2021); (h) se ha rediseñado a partir de *Zero Waste Hierarchy* (Simon, 2019); (i) se ha obtenido de Cole *et al.* (2019); (j) es una "jerarquía del uso de los recursos" propuesta por Gharfalkar *et al.* (2015).

Fuente: Modificado y adaptado de Zhang *et al.* (2022). *An overview of the waste hierarchy framework for analyzing the circularity in construction and demolition waste management in Europe.* Science of The Total Environment, 803, 149892 (https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.149892).

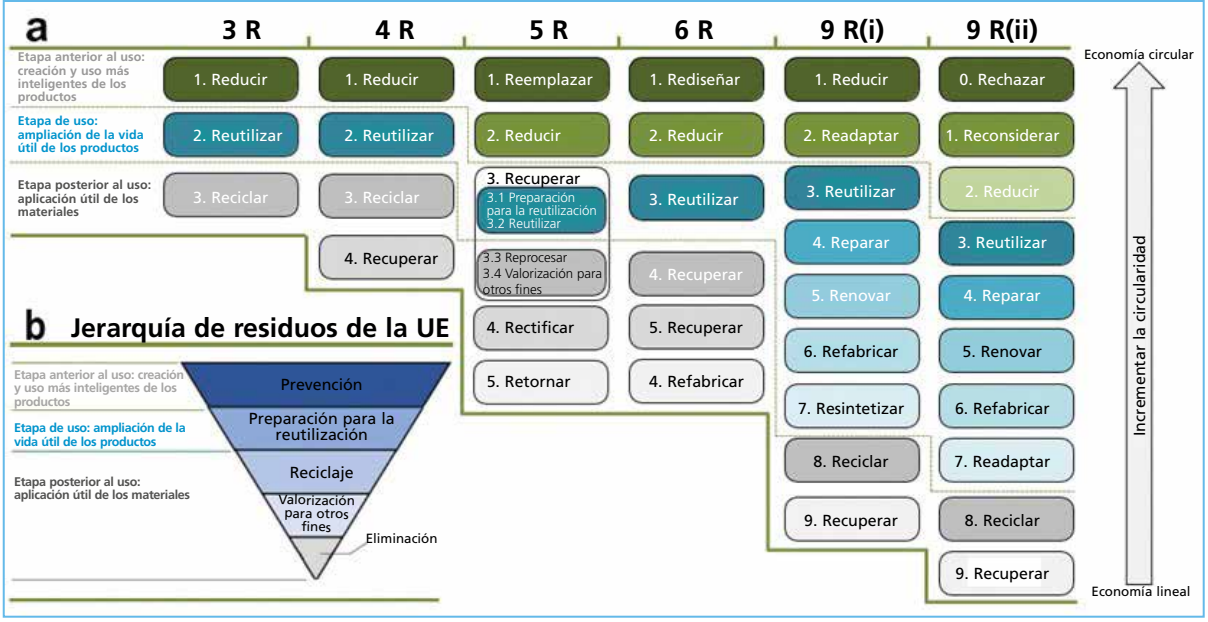
En Europa, la jerarquía de residuos se aplica en gran medida en virtud de la Directiva marco sobre los residuos (WFD) de 2008 (Directiva 2008/98/CE, 2008). Con anterioridad a esta directiva, a nivel mundial la noción de jerarquía de residuos sólo se encontraba en la bibliografía sobre medio ambiente y en la legislación al respecto de algunos Estados miembros de la Unión Europea (Directiva 75/442/CEE del Consejo, 1975). En la Directiva marco sobre los residuos de Europa se incluyen nuevas normas relativas a la prevención de residuos y términos establecidos como "prevención", "valorización" y "criterios de fin de la condición de residuo" que son importantes para la gestión de los residuos a nivel mundial. Estas nuevas normas hacen especial hincapié en la necesidad de reducir los residuos a la vez que dan prioridad a la protección del medio ambiente y la salud de los seres humanos (Figura 19(b)(c)(d)). La jerarquía de residuos se ha ido perfeccionando con el tiempo, como se refleja en la Figura 19.

No obstante, la jerarquía de residuos suele limitarse en su mayor parte a considerar únicamente los factores medioambientales con respecto a la gestión de residuos, sin considerar también los factores logísticos, sociales o económicos, o la necesidad de fomentar un cambio hacia la circularidad. Simon (2019) argumenta que se necesita una nueva jerarquía de "cero residuos" para desplazar el centro de atención de la gestión de los residuos a la gestión de los recursos, dado el nuevo marco conceptual proporcionado por el modelo de economía circular. Junto con esto, el objetivo debería moverse hacia un sistema que preserve el valor de los materiales y elimine los residuos en última instancia (Figura 19(h)). La jerarquía de cero residuos sostiene además que la eliminación de residuos no estabilizados, el vertido de basuras en lugares públicos y cualquier tipo de combustión o combustión combinada de residuos mezclados, con o sin oxígeno, son prácticas que deben interrumpirse, ya que desvían recursos de los niveles de mayor prioridad de la jerarquía (Simon, 2019).

La noción de las 3 R (reducir, reutilizar y reciclar) es otro concepto clave de economía circular que está estrechamente relacionado con los principios de gestión de residuos (Ghisellini *et al.*, 2016). Como ocurre con la evolución de la jerarquía de residuos (Figura 19), en la Figura 20 se muestran las 9 R adicionales que se han añadido a esta regla/marco a lo largo del tiempo (Gharfalkar *et al.*, 2015; Kirchherr *et al.*, 2017; Potting *et al.,* 2017; Sihvonen y Ritola, 2015; Yan y Feng, 2014). En un informe de la FAO de 2021 se empleó un modelo de 6 R que incluyó rechazar (es decir, evitar el uso de plásticos), rediseñar, reducir, reutilizar, reciclar y recuperar a fin de evaluar el uso de plásticos en el sector agrícola, incluidos los plásticos en las artes de pesca y el reciclaje de artes de pesca (FAO, 2021).

La jerarquía de residuos y los conceptos de economía circular basados en la letra R están estrechamente vinculados (Figura 20). Estos conceptos tienen en cuenta el ciclo de vida completo de un producto, incluidas las etapas anterior al uso, de uso y posterior al uso, desde una perspectiva del ciclo de vida, y se han desarrollado a lo largo del tiempo para enfatizar el diseño y el uso de un producto antes de que se convierta en residuo. En líneas generales, la jerarquía de residuos, los conceptos basados en la letra R y el modelo de economía circular comparten el objetivo de la gestión de los residuos mediante la reconsideración, el rediseño y la reutilización, con el objetivo de incrementar la eficacia de los recursos de un producto y reducir la generación de residuos y sus efectos negativos. Estos modelos y conceptos tienen importantes aplicaciones para mejorar la circularidad y la administración de las artes de pesca, como se analiza en las secciones 1.4.3 y 1.4.4.

FIGURA 20. COMPARACIÓN DE LOS CONCEPTOS DE ECONOMÍA CIRCULAR BASADOS EN LA LETRA R (A) Y EL MARCO DE LA JERARQUÍA DE RESIDUOS (B)



Notas: Información basada en las 3 R (Ghisellini *et al.*, 2016); 4 R (Kirchherr *et al.*, 2017); 5 R (Gharfalkar *et al.*, 2015); 6 R (Yan y Feng, 2014); 9 R(i) (Sihvonen y Ritola, 2015); 9 R(ii) (Potting *et al.*, 2017).

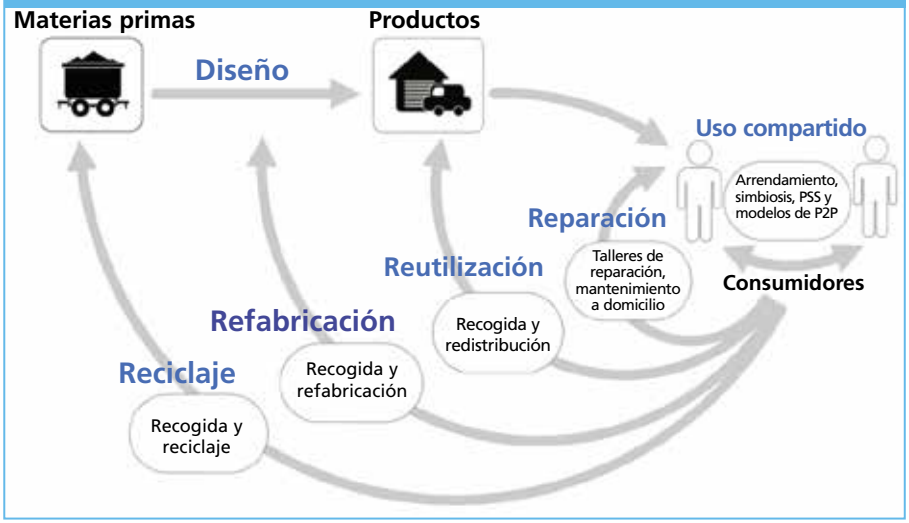
Fuente: Modificado y adaptado de Zhang *et al.* (2022). *An overview of the waste hierarchy framework for analyzing the circularity in construction and demolition waste management in Europe. Science of The Total Environment*, 803, 149892 (https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.149892).

1.4.3 Estrategias de diseño para mejorar la circularidad de los productos de las artes de pesca

A medida que los principios de economía circular (EC) se convierten en factores impulsores de políticas más importantes, será cada vez más crucial aplicar sistemas que aumenten la vida útil y el valor de las artes de pesca, los componentes, los materiales y los accesorios en los sistemas económicos y sociales. No obstante, alargar la vida útil de las artes puede ser contraproducente si resulta en riesgos mayores de daños en las artes y de ALDFG, o de emisión de microplásticos. Los principios del ciclo de vida y de "diseño ecológico" son por lo tanto importantes en el diseño de artes de pesca para garantizar que se aumenta al máximo la vida útil de las artes y el valor al final de su vida útil para su reutilización o reciclaje, a la vez que se reducen al mínimo los residuos y la contaminación. No obstante, las consideraciones relativas a los principios del ciclo de vida de los productos (examinados en la Sección 1.4.1) y los "diseños ecológicos" son ideas relativamente nuevas en el sector de las artes de pesca (Charter *et al.*, 2020). En esta sección se resume una variedad de estrategias de diseño que pueden contribuir a mejorar la circularidad de las artes de pesca en las primeras etapas de la jerarquía de residuos y los modelos de economía circular. A fin de mejorar y optimizar el proceso de diseño sostenible, es fundamental que haya interacción entre los productores/fabricantes y los operadores/usuarios de las artes de pesca (Charter *et al.*, 2020).

Las normas armonizadas para el diseño circular de las artes de pesca también son importantes para garantizar que las artes se fabrican de acuerdo con las normas de calidad apropiadas que apoyan la reutilización, la readaptación y el reciclaje al final de su vida útil. Por ejemplo, la Comisión Europea (CE) ha comenzado a elaborar criterios para el diseño circular de las artes de pesca, de conformidad con lo dispuesto en el Artículo 8(9) de la Directiva (UE) 2019/904 (2019). Estos criterios deberán armonizarse y elaborarse en colaboración con los actuales organismos de normalización gubernamentales e industriales, como el Comité Europeo de Normalización (CEN) en el caso de Europa.

FIGURA 21. PILARES FUNCIONALES DE UNA ECONOMÍA CIRCULAR



Notas: PSS significa modelo de negocio de sistemas de producto-servicio y P2P significa préstamos entre pares (analizado en el Cuadro 6).

Fuente: EIO y CfSD (2016). *Eco-innovate! A guide to eco-innovation for SMEs and business coaches.* Observatorio de Ecoinnovación, financiado por la Comisión Europea, DG Medio Ambiente, Bruselas.

Desde una perspectiva del ciclo de vida, la etapa de uso es crucial para ampliar la vida útil de las artes de pesca, ya que los operadores pesqueros y los pescadores ya las reparan y modifican en gran medida. Los diseños de artes de pesca que apoyen la "ampliación de la vida útil del producto" para permitir que las artes de pesca tengan "múltiples vidas" durante su uso constituyen un primer paso importante para mejorar su circularidad general. También se deberá tener en cuenta la máxima vida útil de las artes a fin de asegurar que estas y sus componentes se devuelven de manera responsable al final de su vida útil, antes de que se degraden demasiado y corran el riesgo de sufrir más daños o pérdidas en el medio marino. El diseño de artes que incluya información sobre la vida útil prevista de las artes y sus componentes, incluida la fecha de fabricación y los planes de reparación y sustitución recomendados, podría ayudar a los pescadores y las autoridades de reglamentación a llevar a cabo reparaciones y sustituciones regulares de las artes durante la etapa de uso. En la Figura 21 se muestra una variedad de opciones para ampliar la vida útil de las artes de pesca antes del reciclaje al final de su vida útil.

La cantidad de distintos materiales y tipos de polímeros que se utilizan actualmente en el diseño, el desarrollo, la fabricación o el montaje de las artes de pesca plantea graves problemas en cuanto al reciclaje de artes de pesca al final de su vida útil (como se analiza en la Sección 1.2). Cuando las posibilidades de reutilización y readaptación dejan de ser prácticas, simplificar e identificar claramente los tipos y las cantidades de materiales y polímeros utilizados en las artes de pesca permitirá un reciclaje más eficaz. En la Sección 1.3.1 se analizan consideraciones específicas de diseño de artes de pesca para incrementar su reciclabilidad. Asimismo, la capacidad de desmontar los componentes y separar así los materiales también deberá tenerse en cuenta en la etapa de diseño (Bertling y Nühlen, 2019).

Diseñar para la circularidad de las artes de pesca puede tenerse en cuenta durante todo su ciclo de vida, incluso en el abastecimiento de materiales, la fabricación/montaje, el transporte y distribución, la utilización y el final de la vida útil. En el Cuadro 4. Lista de verificación indicativa sobre diseño ecológico que podría aplicarse al diseño y desarrollo de artes de pesca se destaca una variedad de estrategias de diseño ecológico en distintas etapas del desarrollo y el ciclo de vida de los productos, con el fin de mejorar su circularidad. Si bien la lista de verificación del Cuadro 4. Lista de verificación

CUADRO 4. LISTA DE VERIFICACIÓN INDICATIVA SOBRE DISEÑO ECOLÓGICO QUE PODRÍA APLICARSE AL DISEÑO Y DESARROLLO DE ARTES DE PESCA

Área de interés para el diseño	Opciones para la mejora del diseño
Diseño para el abastecimiento de materiales	Reducir el tamaño y el peso del producto
	Incrementar el uso de materiales reciclados para reemplazar los materiales originales
	Utilizar más recursos renovables
	Incrementar el uso de componentes reciclados
	Eliminar sustancias peligrosas
	Utilizar componentes que tengan menos energía o agua incorporadas
Diseño para la fabricación/ montaje	Reducir el uso de energía
	Reducir al mínimo los residuos del proceso
	Utilizar recursos internos o materiales reciclados procedentes de residuos del proceso
	Durante la producción, reducir al mínimo las emisiones a la atmósfera, el agua y el suelo
Diseño para el transporte y distribución	Reducir las dimensiones y el peso del producto
	Conseguir la mejor forma y volumen para la máxima densidad del paquete
	Optimizar la distribución en términos de consumo de combustible y emisiones
	Optimizar el embalaje para cumplir con los requisitos legales
	Incrementar la cantidad de materiales reciclados utilizados en el embalaje
	Eliminar elementos peligrosos del embalaje
Diseño para el uso (incluida la instalación, mantenimiento y reparación)	Incrementar la disponibilidad de componentes de repuesto
	Maximizar la eficacia del mantenimiento
	Optimizar la viabilidad del desmontaje y la reutilización
	Evitar elementos de diseño que limiten la reutilización
	Utilizar menos energía durante el desmontaje
	Reducir las emisiones a la atmósfera, el agua y el suelo
Diseño para el final de la vida útil	Mejorar la eficacia energética en el reciclaje de materiales
	Evitar elementos de diseño que limiten el reciclaje de materiales
	Reducir la cantidad de residuos producidos después de la reutilización y el reciclaje

Fuente: Modificado y adaptado de Charter *et al.* (2020). *Creating business opportunities from waste fishing nets. Opportunities for circular business models and circular design related to fishing gear. Blue Circular Economy* (BCE), Informe final.

indicativa sobre diseño ecológico que podría aplicarse al diseño y desarrollo de artes de pesca no se creó específicamente para las artes de pesca, muchas de las consideraciones de diseño pueden aplicarse a las artes de pesca, incluso para mejorar su circularidad y reciclabilidad.

Los programas de educación y formación, así como la sensibilización del público con respecto a las repercusiones económicas y ambientales del diseño circular de las artes de pesca, son esenciales para apoyar y fomentar los esfuerzos encaminados a mejorar la circularidad de las artes de pesca. De manera simultánea, los sistemas regionales y nacionales de recogida, clasificación, reutilización y reciclaje deben diseñarse y desarrollarse para que garanticen la infraestructura y logística apropiadas para la gestión de artes de pesca no deseadas.

1.4.4 Modelos de negocio circulares (CBM) para las artes de pesca

El diseño y desarrollo de las artes de pesca suele ser un proceso informal basado en las experiencias personales y profesionales de pescadores, fabricantes, productores y montadores, en lugar de un proceso de diseño y desarrollo formalizado, más típico de otros sectores comerciales. Esto significa que los diseños circulares a menudo no se tienen en cuenta o no se les da prioridad (Charter *et al.*, 2020). Hasta la fecha, sólo se ha fabricado un número relativamente pequeño de productos comerciales a partir del suprarreciclaje, la readaptación y el reciclaje de artes de pesca no deseadas en todo el

mundo. En la segunda parte de este informe, Ejemplos prácticos de reciclaje de artes de pesca, se facilitan estudios de caso y ejemplos al respecto. El desarrollo de modelos de negocio circulares (CBM) para las artes de pesca puede ayudar a concienciar e incorporar principios del ciclo de vida del producto en el trabajo de los fabricantes, montadores y productores de artes de pesca, contribuyendo así al desarrollo de una economía circular para las artes de pesca.

Los modelos de negocio circulares pueden recibir el apoyo de los puertos, ciudades costeras, pueblos y comunidades pesqueras mediante la puesta en marcha de iniciativas que apoyen a las pequeñas y medianas empresas en cuanto al reciclaje, el suprarreciclaje y la readaptación de artes de pesca no deseadas (Charter *et al.*, 2020). Las asociaciones entre los sectores público y privado también pueden apoyar la reparación, el servicio, la refabricación y el reciclaje de artes de pesca a gran escala, así como el desarrollo de instalaciones de recogida de residuos ubicadas adecuadamente (Charter *et al.*, 2020). El tamaño y la escala del negocio y las operaciones pesqueras asociadas determinarán el modelo de negocio circular, ya que los operadores se esfuerzan por mantener una cantidad suficiente de flujo de material que cumpla con los requisitos de tiempo y calidad del material de los operadores. Por ejemplo, las operaciones de reparación y reacondicionamiento de artes de pesca son relativamente comunes en los operadores a pequeña escala, mientras que los operadores más grandes emplean normalmente servicios externos de reparación y renovación.

Entre los factores críticos para los modelos de negocio circulares de reciclaje de artes de pesca identificados por las partes interesadas cabe citar: la disponibilidad de una *cantidad suficiente de materia prima*; una *cadena de suministro* que funcione en cuanto a la recogida, la segregación y el transporte a las instalaciones de reciclaje de las EOLFG y los ALDFG recuperados; una *tecnología de reciclaje* disponible, viable y sostenible; *facilidad de reciclaje* (p. ej., los materiales no están demasiado mezclados o contaminados para los requisitos de pretratamiento); *factores impulsores de políticas* que apoyen los procesos de reciclaje de artes de pesca; *concienciación* de las partes interesadas, incluso sobre el tratamiento posterior a la recogida de EOLFG y ALDFG recuperados; y una *economía de mercado* que incluya la demanda de mercado y la aceptación de productos fabricados a partir de artes de pesca recicladas (Deshpande *et al.*, 2020a).

En el Cuadro 5. Modelos de negocio circulares (CBM) actuales y oportunidades adicionales y el Cuadro 6 se exponen estrategias de apoyo a los modelos de negocio circulares. Se incluyen por completo en este informe ya que proporcionan un examen exhaustivo de la forma en que los modelos de negocio circulares apoyan la gestión racional de las artes de pesca no deseadas, incluido el potencial de reciclaje de artes de pesca. Las medidas técnicas y los instrumentos de política que se resumen en la Sección 1.3, incluidas las intervenciones reglamentarias, los instrumentos basados en el mercado y los sistemas de responsabilidad ampliada del productor, también pueden apoyar e impulsar oportunidades para los modelos de negocio circulares. En el Cuadro 5. Modelos de negocio circulares (CBM) actuales y oportunidades adicionales se destacan las prácticas actuales de modelos de negocio circulares, así como nuevas posibilidades prospectivas que podrían hacerse más pertinentes en vista de los últimos avances y modificaciones legislativas. En el Cuadro 6 se enumeran otras ventajas y amenazas posibles para los futuros modelos de negocio circulares: se tiene en cuenta a las partes interesadas que sean propietarios y utilicen los modelos de negocio, las oportunidades que estos ofrecen y las amenazas que podrían prevenir que sean adoptados.

CUADRO 5. MODELOS DE NEGOCIO CIRCULARES (CBM) ACTUALES Y OPORTUNIDADES ADICIONALES

Modelo de negocio de economía circular	Prácticas existentes	Oportunidades adicionales
Producción según la necesidad (hecho por encargo y a medida)		
Creación de un producto u oferta de un servicio sólo cuando se haya determinado y verificado una necesidad del consumidor.	En función de las exigencias de un pescador concreto y sus técnicas de pesca, las artes de pesca suelen fabricarse a medida.	• Las nuevas tecnologías digitales de fabricación (la aplicación integrada de tecnologías digitales/informáticas a la fabricación) tienen el potencial de incrementar la personalización a la vez que reducen los costos y los tiempos de producción. • Uso de técnicas de diseño ecológico para reducir el uso de recursos durante la vida útil de un producto. • Combinación con otros modelos de negocio circulares para aumentar los ingresos. Como ejemplos cabe citar los sistemas de producto-servicio, la reutilización, la intermediación comercial y la refabricación y reacondicionamiento.
Ampliación de la vida útil del producto		
Diseño de nuevos artículos con una vida útil ampliada (durabilidad).	Los productores suministran a los operadores pesqueros un plan de redes de pesca y materiales de reparación. Se utilizan más materiales duraderos, lo que alarga la vida útil de las artes de pesca.	• Combinación con otros modelos de negocio circulares para incrementar los ingresos. Como ejemplos cabe citar los servicios de renovación, reparación, refabricación y reacondicionamiento. • Combinación con técnicas de diseño ecológico y diseños modulares para fomentar una reutilización de alta calidad y viable desde el punto de vista económico. • Uso de estrategias de diseño ecológico para reducir el uso de recursos durante la vida útil de un producto.
Fomento de la reutilización		
Reutilización, independientemente de si se repara o actualiza (suministro gratuito o reventa).	Los productores y operadores reutilizan regularmente muchas partes de las artes de pesca, como plomadas y boyas.	• Dada la naturaleza personalizada de los sistemas de artes de pesca, es bastante raro que se reutilicen. No obstante, existe la oportunidad de que se reutilicen más las partes clave de las artes de pesca. Los productores, los intermediarios comerciales y almacenistas centralizados/localizados y los operadores pesqueros pueden asumir la tarea de comercializar las partes reutilizables. • Combinación de modelos de negocio circulares para generar nuevos flujos de ingresos. Como ejemplos cabe citar la renovación, la reparación, la refabricación y el reacondicionamiento, así como el reciclaje, el suprarreciclaje y el infrarreciclaje. • Combinación con otros modelos de negocio circulares (como ampliación de la vida útil del producto y diseño modular) y técnicas de diseño ecológico para fomentar la reutilización de alta calidad y sostenible desde el punto de vista comercial.
Diseño modular del producto		
Diseño de productos que permitan la actualización de los componentes individuales.	Los componentes clave de las artes de pesca pueden fabricarse para que se retiren, desmonten y sustituyan fácilmente.	• Combinación con otros modelos de negocio circulares para aumentar los ingresos. Como ejemplos cabe citar la reparación, la refabricación y el reacondicionamiento. • Trabajo en colaboración con otros modelos de negocio circulares (como ampliación de la vida útil del producto) y enfoques de diseño ecológico para fomentar la reutilización de alta calidad y sostenible desde el punto de vista económico. • Los componentes clave de las artes cuyo fallo podría provocar ALDFG pueden incluir requisitos de mantenimiento y sustitución comunicados por el productor al comprador (pescador). El productor puede especificar los planes de mantenimiento previstos y la vida útil máxima.

Fuente: Modificado y adaptado de Charter *et al.* (2020). *Creating business opportunities from waste fishing nets. Opportunities for circular business models and circular design related to fishing gear. Blue Circular Economy* (BCE) Informe final.

CUADRO 6. OPORTUNIDADES Y AMENAZAS PARA LOS NUEVOS MODELOS DE NEGOCIO CIRCULARES (CBM)

Modelo de negocio	Oportunidades	Amenazas
Devolución incentivada		
Incentivar a los clientes para que devuelvan los productos usados o no deseados al fabricante. El productor refabrica el producto o recicla los componentes primarios. Los beneficios suelen consistir en un descuento en un producto nuevo a cambio de la devolución de uno obsoleto.	• Permite a los fabricantes cumplir con las directivas relativas a los plásticos de un solo uso y las instalaciones portuarias receptoras sin costos adicionales de responsabilidad ampliada del productor; • los productores podrían recibir más pedidos si se combinaran con descuentos por devolución o un programa de depósitos; • posible aumento de recogida de artes de pesca, reduciendo la eliminación ilegal en el mar; y • si se combinan la reutilización y el reciclaje, existe una mayor probabilidad de que las artes entren en los flujos de recursos circulares.	• Los productores podrían tener que pagar más debido al aumento de las necesidades de logística, los descuentos de venta o los requisitos de mano de obra y almacenamiento para procesar las devoluciones de las artes usadas; y • los productores necesitan más recursos para realizar diagnósticos que determinen el valor de retención a fin de garantizar que las artes de pesca entran en los flujos de recursos cíclicos.
Acuerdo de arrendamiento		

No se vende la propiedad de un bien o servicio, sino se arrenda el acceso a este. Esto se puede hacer de empresa a empresa (B2B) o de empresa a consumidor (B2C). Dado que el arrendamiento conserva la propiedad del activo y puede combinarse con modelos de negocio basados en el servicio o el rendimiento, en el contexto de una economía circular un modelo de "arrendamiento operativo" suele funcionar mejor para los modelos de sistemas de producto-servicio. Si se tienen en cuenta los gastos de depreciación, mantenimiento y eliminación/sustitución, el gasto de capital del arrendatario suele ser inferior al de una compra directa. Durante el tiempo de arrendamiento, este suele tener mejor rentabilidad general y mantiene la propiedad.	• Proporciona a los operadores pesqueros acceso a artes de pesca fiables y de alta calidad a cambio de una inversión inicial reducida y, si se tienen en cuenta los gastos de depreciación, mantenimiento y eliminación/sustitución, a un costo inferior durante la vida útil. Los operadores pesqueros también tendrán artes de pesca apropiadas listas para usar, ya que las alquilan a los productores y pagan un costo regular para garantizar su uso, mantenimiento y sustitución.
	• Permite a los productores/fabricantes mantener la propiedad de las artes de pesca, así como:
	  • cumplir con la Directiva sobre los plásticos de un solo uso, asegurándose de que las artes de pesca se devuelven cuando ya no se necesitan;
	  • incrementar la resistencia de sus artes de pesca desarrollando un análisis modal de fallos y efectos (AMFE) en el mundo real;
	  • aplicar múltiples estrategias de vida para las artes de pesca mediante la ampliación de la vida útil del producto, el diseño modular, la reutilización, la reparación, la renovación y la refabricación para incrementar los beneficios derivados de artes de pesca individuales; y
	  • generar ingresos adicionales ofreciendo artes de pescas usadas a las empresas de reciclaje.
		• Exige recursos (costos de capital) para que los procedimientos contables (beneficios de ventas por adelantado) y de ventas (bonificaciones) del productor se transformen de ventas puntuales a arrendamientos;
		• las subvenciones, las prácticas contables (amortización) y los flujos de efectivo de los operadores pesqueros pueden impedir los pagos mensuales;
		• claridad jurídica con respecto a las cuestiones de responsabilidad entre los productores y los operadores pesqueros en materia de mantenimiento, reparación, manipulación, formación, etc., necesarias para los contratos de servicios;
		• los productores asumen la responsabilidad por daños incontrolables, enredos, uso indebido y otras situaciones que puedan reducir los beneficios; y
		• un nivel de aceptación limitado puede deberse a la cultura y el sentimiento de control a través de la propiedad entre los operadores pesqueros.

Basado en el rendimiento (pago por el éxito)		

En lugar de proporcionar el producto o servicio en sí, las empresas ofrecen el rendimiento del producto o resultados definidos. Los consumidores adquieren un cierto nivel de rendimiento y la fuente principal de ingresos de la empresa es la satisfacción de la demanda a través de pagos por el rendimiento proporcionado. La empresa sigue manteniendo la propiedad.	• Permite a los operadores pesqueros reducir costos si tienen un bajo rendimiento de captura a la vez que pagan por la productividad clave de las artes de pesca: el rendimiento de captura (por volumen, calidad, etc.). Especialmente cuando se tienen en cuenta los costes de depreciación, mantenimiento y eliminación/ sustitución, puede dar lugar a una reducción de la inversión de capital y, tal vez, de los costos a lo largo de la vida útil.
	• Permite a los productores mantener la propiedad de las artes de pesca, así como:
	  • asegurarse de que las artes de pesca se devuelven al final de su vida útil para cumplir con los requisitos de la Directiva sobre los plásticos de un solo uso;
	  • realizar un análisis modal de fallos y efectos (AMFE) en el mundo real para unas artes de pesca más duraderas;
	  • utilizar múltiples estrategias de vida para las artes de pesca, como la ampliación de la vida del producto, el diseño modular, la reutilización, la reparación, la renovación y la refabricación, para incrementar los beneficios derivados de los componentes individuales de las artes de pesca; y
	  • comercializar artes de pesca usadas con empresas de reciclaje para obtener ingresos adicionales.
		• Exige recursos (inversión de capital) para que los procedimientos contables (beneficios de ventas por adelantado) y las prácticas de ventas (bonificaciones) del productor se transformen de ventas puntuales a compensaciones basadas en el rendimiento;
		• los productores asumen la responsabilidad de la productividad por capturas, que se basa en una serie de factores sobre los que no tienen casi control, como la experiencia del operador pesquero o el agotamiento de las reservas de peces;
		• un nivel de productividad por capturas poco fiable daría lugar a un flujo de efectivo poco fiable y una reducción de los beneficios del productor;
		• claridad jurídica con respecto a las cuestiones de derechos y responsabilidades entre los fabricantes de artes de pesca y los operadores pesqueros en materia de mantenimiento, reparación, manipulación, formación, etc., necesarias para los contratos de servicios;
		• los productores asumen la responsabilidad por daños incontrolables, enredos, uso indebido y otras situaciones que puedan reducir los beneficios;
		• un nivel de aceptación limitado puede deberse a la cultura y la percepción de control a través de la propiedad entre los operadores pesqueros; y
		• la inestabilidad del precio de mercado, así como la falta de transparencia en la cantidad y el valor de las capturas, dificulta que los productores y los operadores pesqueros determinen los modelos de costos y acuerden índices razonables de rendimiento.

Uso compartido de plataformas/recursos		
Acceso compartido o "consumo colaborativo" entre los usuarios, grupos u organizaciones, pero sólo cuando se ofrece algún tipo de acuerdo transaccional (que podría ser de pago). Se incrementa el índice de utilización de bienes y servicios permitiendo la propiedad y el uso compartido por parte de los clientes. Se permite a los usuarios acceder a un producto y utilizarlo según sus necesidades, en lugar de comprarlo por completo.	• Permite a los pescadores a pequeña escala generar ingresos adicionales mediante el arrendamiento de sus artes de pesca de uso poco frecuente, infrautilizadas o portuarias; • ayuda a las empresas pesqueras a pequeña escala o emergentes a reducir gastos eliminando la necesidad de inversiones de capital en forma de pago por la utilización de artes de pesca portuarias o usadas de forma irregular; • posibilidad de una plataforma digital que genere ingresos (en base a un porcentaje de las tarifas de alquiler) actuando como intermediaria entre las partes y reduciendo los riesgos a los que se enfrentan los operadores pesqueros; y • posibilidad de que una cooperativa comunitaria preste a los pescadores locales artes o equipos de pesca portuarios para tratamientos al final de su vida útil.	• Exige una cultura industrial abierta, cooperativa y de gran confianza, que puede ser difícil en un sector pesquero comercial extremadamente competitivo; • exige claridad jurídica en cuando a quién es responsable del uso inadecuado, el mantenimiento y los daños; y • puede haber dificultades si las artes de pesca se necesitan al mismo tiempo, como ocurre en puertos pequeños donde la pesca depende de las mareas.

Préstamos entre pares (P2P)			
La mayoría de los préstamos de productos entre pares ocurre entre miembros del público o empresas, aunque ninguna de las partes realice una transacción financiera directa ni obtenga ingresos. Tienen un carácter más social que comercial, ya que el acceso podría mejorar los vínculos locales. Las ventajas comerciales de la financiación de empresa a empresa (B2B) podrían incluir menores costos comparados con la adquisición directa de los bienes/servicios pertinentes.		• Permite a los fabricantes de artes de pesca reducir los gastos mediante el cambio de materias primas vírgenes por otras recicladas, especialmente si el fabricante mantiene la propiedad de las artes de pesca a través del uso de acuerdos de arrendamiento, compensaciones basadas en el rendimiento e incentivos para la devolución; • las ventas de artes de pesca de segunda mano proporcionan a los operadores pesqueros una nueva fuente de ingresos; y • posibilidad de empezar un negocio recogiendo o reciclando artes de pesca obsoletas.	• Exige una cultura industrial abierta, cooperativa y de gran confianza, que puede ser difícil en un sector pesquero comercial extremadamente competitivo; • exige claridad jurídica en cuando a quién es responsable del uso inadecuado, el mantenimiento y los daños; y • puede haber dificultades si las artes de pesca se necesitan al mismo tiempo, como ocurre en puertos pequeños donde la pesca depende de las mareas.
Renovación, reparación, refabricación y reacondicionamiento			
Tras la refabricación, se da una segunda vida a un producto mediante el proceso de devolverle su funcionalidad a un estado "como nuevo", lo que se ve facilitado por el diseño del dispositivo para su desmontaje. Permite al fabricante de las artes de pesca volver a vender los artículos y obtener un segundo o posterior pago de un nuevo cliente.	Renovación: hacer que algo parezca como nuevo, pero mejorando ligeramente su utilidad, es un ejemplo de la mejora estética de un producto, componente o material.	• Posibilidad de que las cooperativas o empresas sociales proporcionen servicios de limpieza portuarios; y • permite a los pescadores gastar menos dinero en la sustitución de sus artes de pesca.	• Una falta de demanda del consumidor puede limitar la capacidad de recuperar los costos operativos; • se necesita una rotación rápida para coincidir con el tiempo de inactividad del operador pesquero; y • si sólo se mejora la estética de un arte de pesca, pero sigue estando usado o dañado, puede ser que un pescador se vea animado a utilizarlo más allá de su vida útil segura, lo que podría provocar ALDFG.
	Reparación: restablecer un producto, componente o material defectuoso o dañado a un estado utilizable.	• Aunque la mayoría de los operadores pesqueros reparan ellos mismos sus artes de pesca y algunos productores de artes de pesca ofrecen servicios de reparación en los puertos o en sus propias instalaciones, se trata de una oportunidad para adoptar un enfoque más coordinado de la reparación en el sector; y • oportunidad para que las cooperativas o empresas sociales ofrezcan servicios de reparación portuarios.	• Los trabajos que requieren mucha mano de obra podrían hacer inviables los costes de reparación y reacondicionamiento; • se necesita una rotación rápida para coincidir con el tiempo de inactividad del operador pesquero; y • un arte de pesca puede aún contener componentes degradados o desgastados después de la reparación, lo que puede provocar riesgos de abandono, pérdida o descarte.
	Reacondicionamiento: devolver la plena funcionalidad a un producto usado mejorándolo o reparando piezas críticas que están a punto de fallar.	• Posibilidad de que las cooperativas o empresas sociales ofrezcan servicios de reacondicionamiento portuarios.	
	Refabricación: devolver a un artículo usado al menos su funcionalidad original, garantizando al mismo tiempo que es equivalente o mejor que un producto nuevo.	• Posibilidad de que las cooperativas o empresas sociales proporcionen servicios de refabricación centralizados o portuarios; • posibilidad de que los fabricantes generen nuevas fuentes de ingresos si se integran en otros modelos de negocio circulares, incluida la ampliación de la vida del producto, el diseño modular, los acuerdos de arrendamiento, la compensación basada en el rendimiento y la devolución basada en incentivos; y • permite a los operadores pesqueros reducir los gastos utilizando artes de pesca menos costosas.	• Las tareas que requieren muchos recursos como la inspección, el almacenamiento, el desmontaje, la reparación y sustitución de componentes y los ensayos, pueden incrementar los precios por encima del costo de artes de pesca nuevas; • afectado por el deterioro de los materiales, especialmente con respecto a los componentes de plástico; y • unos índices de recogida bajos e irregulares de las artes de pesca usadas pueden dar lugar a una cadena de suministro poco fiable.

Fuente: Modificado y adaptado de Charter *et al.* (2020). *Creating business opportunities from waste fishing nets. Opportunities for circular business models and circular design related to fishing gear. Blue Circular Economy* (BCE) Informe final.

Segunda parte: Ejemplos prácticos de reciclaje de artes de pesca



© FAO/Bureo

2. Ejemplos prácticos de reciclaje de artes de pesca

En la segunda parte se comparten ejemplos prácticos de iniciativas de reciclaje de artes de pesca en todo el mundo que pueden aplicarse de manera más amplia, desde la escala local a la nacional y regional. Se facilitan ejemplos de readaptación y reciclaje de artes de pesca no deseadas, incluidas iniciativas de reciclaje mecánico y químico y de valorización energética. Se destacan los productos innovadores fabricados a partir de artes de pesca recicladas a fin de mostrar la diversidad de artículos que podrían producirse a partir del reciclaje de artes de pesca no deseadas. La segunda parte termina con un ejemplo de una iniciativa regional que apoya la economía circular para las artes de pesca, incluido el apoyo al desarrollo de modelos de negocio circulares para el reciclaje de artes de pesca. La mayoría de los ejemplos proporcionados se aplican al reciclaje de redes de pesca comercial no deseadas, ya que este es generalmente el tipo de arte más común que se recicla en la actualidad por todo el mundo.

Para obtener otros ejemplos de reciclaje de artes de pesca aparte de este informe, la publicación de 2022 *Products from Waste Fishing Nets: Accessories, clothing, footwear, home ware and recreation* (Productos de redes de pesca de desecho: accesorios, ropa, zapatos, artículos para el hogar y el ocio) es otra fuente excelente de ejemplos de productos fabricados a partir de redes de pesca no deseadas (Charter y Carruthers, 2022). El informe *GloLitter Report on good practices to prevent and reduce marine plastic litter from fishing activities* (Informe Glolitter sobre buenas prácticas para prevenir y reducir la basura plástica marina procedente de las actividades pesqueras) (Giskes *et al.*, 2022) es otra fuente útil de ejemplos de proyectos de soluciones para prevenir, mitigar y remediar la ocurrencia de ALDFG. Entre los ejemplos de iniciativas relevantes de reciclaje de artes de pesca destacadas en ese informe, que no se incluyen aquí para evitar la duplicación de información, cabe citar Coast 4C (anteriormente NetWorks™) (Filipinas), Net Positiva (Argentina, Chile, los Estados Unidos de América y Perú) y el proyecto *Fishing Net Gains* (Nigeria). En el informe *Effective Ghost Gear Solutions: Learning from what works* (Soluciones eficaces para las artes fantasmas: aprender de lo que funciona) también se proporcionan algunos ejemplos prácticos de reciclaje de artes de pesca e iniciativas de suprarreciclaje (Drinkwin, 2020).

2.1 RECUPERACIÓN Y RECOGIDA DE ARTES DE PESCA PARA SU RECICLAJE

En la Sección 2.1 se presentan ejemplos prácticos de iniciativas centradas en la recuperación y la recogida de artes de pesca para su reciclaje. Entre ellos se incluyen ejemplos que abarcan desde pesquerías artesanales a pequeña escala hasta iniciativas nacionales y regionales. También se presenta un ejemplo de recogida de artes de pesca recreativa, así como un ejemplo de un incentivo basado en el mercado para apoyar la recuperación y devolución de artes de pesca no deseadas. Estos ejemplos se comparten a fin de mostrar la diversidad de iniciativas disponibles por todo el mundo que apoyan la recogida de artes de pesca no deseadas y la preparación posterior para su reciclaje en distintas escalas geográficas y tipos de pesquerías.

2.1.1 Recogida de artes de pesca artesanal a pequeña escala para su reciclaje: *Networks Cameroon*

El proyecto *Networks Cameroon* se incluye como un ejemplo de recogida de artes de pesca para su reciclaje en comunidades de pesca artesanal a pequeña escala, una iniciativa que apoya a las comunidades locales, los hábitats marinos y los medios de vida. El proyecto *Networks*, una colaboración entre la Sociedad Zoológica de Londres (ZSL, por sus siglas en inglés) e *Interface Inc.*, amplió su labor hasta el área de DoualaEdea del Camerún, África central, a mediados de 2015, después de un comienzo satisfactorio en Filipinas.[20] La Iniciativa Darwin brindó apoyo al proyecto piloto en la reserva de fauna silvestre del lago Ossa. Más del 80 % de las familias de la región del lago Ossa dependen principalmente de este para su supervivencia. Las redes de pesca descartadas enredan a los manatíes y otro animales, arruinando los hábitats naturales y suponiendo una grave amenaza para la ecología del lago.

El proyecto *NetWorks* ha trabajado estrechamente con las comunidades locales para organizar **un centro de recogida de redes de pesca, construir las maquinaria necesaria para comprimir y preparar las redes para su reciclaje y establecer bancos comunitarios locales**, que son centrales para el modelo de *NetWorks* (Langenheim, 2019). A la fecha de este informe, se han recogido más de 2 400 kg de redes de pesca no deseadas para su reciclaje desde el comienzo del proyecto. Las redes recogidas se envían a Europa donde se transforman en hilados que pueden utilizarse en prendas de ropa, como la línea de productos ReNylon de Prada (Langenheim, 2019). Dado que el volumen de redes en las zonas costeras del Camerún es mucho mayor que en el lago Ossa, el proyecto *NetWorks* planea ampliar este modelo a las comunidades costeras del Camerún para garantizar que una fuente aún mayor y más consistente de redes de pesca usadas entre en la cadena de suministro del reciclaje.

2.1.2 Recogida de artes de pesca para su reciclaje a nivel nacional: Suecia: Agencia Sueca para la Gestión Marina y del Agua y Centro de Simbiosis de Sotenäs (*Sotenäs Symbioscentrum*)

Existe una variedad de organismos activos en Suecia que colaboran para recuperar, recoger y reciclar artes de pesca, especialmente la Agencia Sueca para la Gestión Marina y del Agua (SwAM, por sus siglas en inglés) y el Centro de Simbiosis de Sotenäs. Los esfuerzos de Suecia para gestionar las artes de pesca no deseadas de manera responsable: en particular mediante la notificación obligatoria de las artes perdidas, así como **la recuperación y la recogida de artes de pesca no deseadas para su reciclaje y el apoyo a sistemas de responsabilidad para las artes de pesca**, se incluyen en este informe como un ejemplo de los **esfuerzos a nivel nacional que apoyan el reciclaje de artes de pesca**.

La Agencia Sueca para la Gestión Marina y del Agua coordina una variedad de programas concebidos para reducir al mínimo la ocurrencia de ALDFG y recoger responsablemente EOLFG y ALDFG recuperados y devolverlos al puerto para su reciclaje. Esto incluye la obligación de notificar las artes de pesca perdidas en un plazo de 24 horas desde su pérdida en virtud del Reglamento (CE) 1224/2009 (2009), así como apoyar la detección y limpieza de ALDFG mediante la herramienta Ghostguard y los proyectos de educación y concienciación en materia de ALDFG con los pescadores recreativos y profesionales (Axelsson, 2021). Desde 2017, se han llevado a cabo muchas iniciativas de limpieza de ALDFG en Suecia por parte de pescadores y buzos expertos con el apoyo del Fondo Europeo Marítimo y de Pesca (Axelsson, 2021).

[20] Véase el estudio de caso sobre Coast 4C (anteriormente NetWorks™) (Filipinas) que se presenta en Report on good practices to prevent and reduce marine plastic litter from fishing activities (Giskes *et al.*, 2022).

El Centro de Simbiosis (*Symbioscentrum*) de Sotenäs también apoya los esfuerzos de recogida y reciclaje de artes de pesca, en colaboración con *Fiskareföreningen Norden* (también conocido como Asociación de Pescadores Nórdicos) (Charter y Whitehead, 2022). El *Symbioscentrum* es un departamento de simbiosis industrial y social que fue fundado por el municipio de Sotenäs en 2015 para aplicar los principios de simbiosis industrial (residuos = "alimentos") con el objetivo de fortalecer la comunidad local desde el punto de vista social, económico y ambiental. El Centro de Reciclaje Marino de Sotenäs (SMRC, por sus siglas en inglés) es el único centro de reciclaje de artes de pesca en Suecia y está centrado en la recogida y el tratamiento de la basura plástica marina, incluidos los ALDFG; entre estos últimos se incluyen aparejos de pesca como redes, jaulas y nasas para langostas. El Centro de Reciclaje Marino de Sotenäs está elaborando ejemplos de mejores prácticas relacionadas con el reciclaje de artes de pesca que incluyan la recogida, la clasificación y el diseño circular (Charter y Whitehead, 2022). El objetivo es intercambiar conocimientos y experiencia relacionados con las metodologías de ensayo (ensayos de diferentes tipos de polímeros para su uso en la fabricación de nuevos productos) y las metodologías tecnológicas (metodologías de fabricación), así como intercambiar información sobre cómo establecer y gestionar un sistema de reciclaje de artes de pesca con las partes interesadas.

El proyecto SPIRAL de Suecia colabora con la Agencia Sueca para la Gestión Marina y del Agua, el municipio de Sotenäs, la Agencia Sueca para la Protección del Medio Ambiente y el Consejo Sueco de Agricultura para apoyar la introducción de un sistema de responsabilidad del productor para las artes de pesca. Este sistema de responsabilidad se está desarrollando a través del diálogo activo y el intercambio de información con los productores de artes de pesca e incluye además la realización de ensayos sobre la recogida y la recuperación de artes de pesca de desecho (*Swedish Agency for Marine and Water Management*, *2022*). Véase Swedish Environmental Protection Agency (2023) para obtener más información sobre el sistema de responsabilidad del productor para las artes de pesca en Suecia.

2.1.3 Recogida de artes de pesca para su reciclaje a nivel regional: Redes de América

Redes de América es el programa de reciclaje de redes y artes de pesca de la Alianza Latinoamericana para la Pesca Sustentable y Seguridad Alimentaria (ALPESCAS), que reúne a 11 países de la región.[21] Esta organización de derecho privado tiene un comité de economía circular que ha generado acuerdos de colaboración a través del programa Redes de América con las cámaras de pesca de Argentina, Chile, Costa Rica, Ecuador, México, Panamá, Perú y Uruguay. Este programa pretende generar sinergias en su objetivo de utilizar las redes y artes de pesca y acuicultura no deseadas para generar circularidad de sus materiales. El reciclaje de redes y artes de pesca y acuicultura se ha ampliado a los países colaboradores utilizando un modelo puente entre las cámaras de pesca, sus empresas socias y las empresas especializadas en el reciclaje de plásticos. En conjunto, estas empresas: Bureo (Net Positiva) y Comberplast (Atando Cabos), reciclaron más de 7 000 toneladas de redes de pesca retiradas entre 2018 y 2022. Este estrategia de prevención de la contaminación marina se orienta hacia la creación de productos deportivos, textiles, industriales y de alta costura, y ha logrado despertar el interés de las empresas pesqueras por dar a sus artes de pesca y acuicultura un uso apropiado al final de su vida útil. Parte del rendimiento económico derivado de los productos reciclados se devuelve a las comunidades pesqueras que están ubicadas en las zonas de influencia de las empresas pesqueras donantes.



[21] Argentina, Brasil, Chile, Colombia, Costa Rica, Ecuador, El Salvador, México, Panamá, Perú y Uruguay.

El programa Redes de América está desarrollando actualmente un sistema de certificación que abordará el balance de masas de las nuevas artes y redes de pesca y acuicultura adquiridas por las empresas. Este sistema certificará que el destino al final de la vida útil es el reciclaje y no los vertederos o la pérdida en el medio ambiente. Se prevé que se concedan certificaciones a las empresas que puedan demostrar que reciclan al menos el 50 % del total de sus artes de pesca y que alcanzarán el 90 % en un par de años, mientras se prueba y desarrolla la certificación. El procedimiento incorpora un estricto control contable y físico. Se espera que esta certificación podrá proporcionar información a los consumidores sobre el cumplimiento por parte de las empresas pesqueras con respecto a la trazabilidad de sus redes y artes de pesca. La información abarcará desde la compra hasta el final de la vida útil y su eliminación en sistemas circulares de reciclaje oficiales para la generación de productos de bajo impacto. Esta certificación de balance de masas está operativa a partir de 2023.

2.1.4 Recogida de artes de pesca para su reciclaje a nivel regional: Fishing for Litter

El programa Fishing for Litter (FFL) (Pesca de basura) (https://fishingforlitter.org) se incluye para proporcionar un ejemplo de recuperación de artes de pesca no deseadas para su eliminación, incluido el reciclaje, a nivel regional (europeo). El programa Fishing for Litter constituye un enfoque relativamente sencillo pero innovador para reducir y recuperar la basura marina, incluidos los ALDFG, introducido en 2002 por *Kommunernes International Miljøorganisation* (Organización Internacional de Autoridades Locales para el Medio Ambiente) (es decir, KIMO International). KIMO es una red de gobiernos locales que representan a más de 80 municipios miembros de nueve países.[22] Estos municipios trabajan juntos para conseguir mares saludables, playas limpias y comunidades costeras prósperas en las regiones del Atlántico nororiental y el mar Báltico. Se ha expresado interés para replicar y adaptar aspectos de este programa en África, Asia y las Américas.

Aunque comenzó como una iniciativa a nivel comunitario, este programa fue incluido en 2014 en el plan de acción regional del Convenio sobre la protección del medio marino del Atlántico nororiental (Convenio OSPAR) como medida voluntaria para las partes contratantes. En 2019, se incorporó a la Directiva (UE) 2019/883 (2019) relativa a las instalaciones portuarias receptoras de la Unión Europea, en la que los "desechos pescados de manera no intencionada" se definen como "los desechos recogidos en las redes durante operaciones de pesca" (Mannaart y Bentley, 2022).

El programa proporciona a los buques pesqueros bolsas grandes y duraderas (Figura 22) que pueden utilizar para recoger cualquier objeto de basura marina, incluidos los ALDFG, que "capturen" mientras pescan. La participación de los pescadores es voluntaria y no es necesaria ninguna acción adicional aparte de recoger la basura encontrada durante la pesca y devolverla al puerto en las bolsas proporcionadas. Los puertos y las empresas asociadas de recogida de residuos almacenan, transportan y procesan los residuos devueltos (Mannaart y Bentley, 2022). El programa Fishing for Litter paga por la recogida y la eliminación de la basura, incluido el reciclaje, demostrando el compromiso del sector pesquero en cuanto a la protección del medio ambiente. Es crucial para el éxito de las iniciativas de este programa que las pesquerías participantes no tengan que pagar ningún costo adicional por la eliminación, a fin de incentivar la descarga en tierra de toda la basura recogida. La iniciativa Fishing for Litter ofrece un medio de retirar la basura marina del mar y el fondo marino y fomenta la concienciación medioambiental entre los pescadores, el sector pesquero y el público. Si bien no se realizan operaciones especializadas de limpieza de ALDFG en

[22] Alemania, Bélgica, Dinamarca, Irlanda, Lituania, Noruega, el Reino de los Países Bajos, el Reino Unido de Gran Bretaña e Irlanda del Norte y Suecia.

FIGURA 22. PESCADORES PARTICIPANDO EN EL PROGRAMA FISHING FOR LITTER



© KIMO

Notas: Se proporcionan bolsas gratuitas a los pescadores para recoger la basura marina, incluidos objetos de ALDFG, que capturan durante las operaciones de pesca (Fotografía: © KIMO).

este programa, se recogen fragmentos de redes perdidas y otros ALDFG y objetos de basura procedentes del sector pesquero, por lo que los dos tipos de acciones de limpieza son complementarios. Un ejemplo de la eficacia del programa puede observarse en las cantidades de basura marina recogida, incluidos ALDFG, ya que se recogieron más de 1 844 toneladas de basura marina en Escocia desde 2004 a 2022 y 4 189 toneladas en el Reino de los Países Bajos desde 2011 a 2021 (Mannaart y Bentley, 2022).

2.1.5 Recogida de artes de pesca recreativa: Programa *Reel In and Recycle* (Fundación BoatUS)

La mayoría de los ejemplos de recuperación y recogida de artes de pesca no deseadas se aplican a las artes de pesca comercial, debido al gran volumen de estas artes que pueden destinarse al reciclaje. El programa *Reel In and Recycle* (Rebobina y recicla) de los Estados Unidos se presenta como ejemplo de una **iniciativa de recogida y reciclaje de artes de pesca recreativa** no deseadas.

Con la ayuda en forma de subvenciones de la Fundación Nacional de Pesca y Vida Silvestre de los Estados Unidos y el Programa para la basura marina de la NOAA, la Fundación BoatUS comenzó el programa *Reel In and Recycle* en 2006 (Morishige, 2010). El programa tiene por objeto establecer una red estatal de contenedores de reciclaje de líneas de pesca (Figura 23) para ayudar principalmente a los pescadores recreativos a eliminar adecuadamente las líneas de pesca usadas (Morishige, 2010). Los ciudadanos pueden escoger entre obtener un contenedor gratuito o construir el suyo propio a través del programa. La Fundación BoatUS también proporciona un vídeo pódcast (Morishige, 2010) con instrucciones detalladas para los grupos interesados en construir sus propios contenedores de recogida de líneas de pesca usadas. Se puede obtener más información en http://www.boatus.com/foundation/Monofilament/build.asp.

FIGURA 23. CONTENEDOR DE RECICLAJE DE MONOFILAMENTOS INSTALADO EN CALIFORNIA A TRAVÉS DEL PROGRAMA *REEL IN AND RECYCLE*



Notas: El programa Reel In and Recycle fue puesto en marcha por la Fundación BoatUS con la financiación en forma de subvenciones de la Fundación Nacional de Pesca y Vida Silvestre y el programa para la basura marina de la NOAA.

Fuente: Modificado y adaptado de Morishige (2010). *Marine Debris Prevention Projects and Activities in the Republic of Korea and United States: A compilation of project summary reports*. Memorando técnico de NOAA (NOS-OR&R-36).

2.1.6 Ejemplo de instrumento basado en el mercado (MBI) para la recuperación y la recogida de artes de pesca no deseadas: Programa de recompra de basura marina en la República de Corea

En la Sección 1.3.5 de este informe se analizan las oportunidades para utilizar instrumentos basados en el mercado (MBI) que apoyen la recuperación y la recogida de artes de pesca no deseadas con fines de reciclaje, incluidos los programas de "recompra" de artes de pesca no deseadas o los planes de recompensa. El programa de recompra de basura marina de la República de Corea proporciona un ejemplo de este tipo de instrumentos para la basura marina en general, que incluye la recogida y devolución de artes de pesca no deseadas.

Los objetivos específicos del programa de recompra de basura marina son: i) reemplazar las boyas de pesca de poliestireno expandido (es decir, *Styrofoam*) con boyas que sean respetuosas con el medio ambiente para reducir la basura marina; ii) prevenir la pesca fantasma y conservar los ecosistemas marinos utilizando artes de pesca degradables; iii) eliminar las artes de pesca perdidas y sumergidas para preservar los ecosistemas marinos y prevenir la pesca fantasma; iv) apoyar incentivos financieros para que los pescadores devuelvan al puerto las artes de pesca no deseadas; v) construir una infraestructura básica para la recogida eficaz de la basura marina; y vi) cobrar un depósito al comprar artes de pesca y reembolsarlo posteriormente cuando se devuelven como EOLFG (Morishige (2010). El objetivo vi) es también un ejemplo específico de un instrumento basado en el mercado de reembolso de depósitos.

El Ministerio de Tierra, Transporte y Asuntos Marítimos de la República de Corea brindó apoyo al establecimiento de un programa voluntario de recipientes flotantes donde se pueden depositar los desechos marinos, incluidas las artes de pesca no deseadas, como parte de este programa. Morishige (2010) determinó que este programa dio lugar a una reducción del 30 % de la basura marina.

2.2 READAPTACIÓN DE ARTES DE PESCA NO DESEADAS: REDES DE VOLEIBOL *"GOOD NET"* Y *"GHOST LEASH"*

En los marcos de economía circular y jerarquía de residuos analizados en la Sección 1.4, se prefiere la readaptación de artes de pescas no deseadas antes que el reciclaje, ya que ésta ayuda a prolongar el ciclo de vida de las artes sin cambiar o degradar su composición

FIGURA 24. NIÑOS LOCALES JUGANDO A VOLEIBOL DE PLAYA USANDO REDES PROCEDENTES DE ALDFG RECUPERADOS



Fuente: Modificado y adaptado de FIVB (2019). *Good Net Volleyball Sustainability Project Launched on Copacabana Beach.* 16 de marzo de 2019. Noticias: *Good Net Volleyball Sustainability Project launched on Copacabana Beach* (www.fivb.com).

material. La readaptación de ALDFG recuperados puede ser una buena alternativa a los métodos de reciclaje que generalmente requieren más recursos expuestos en la Sección 1.2, especialmente si es complicado reciclar los aparejos recuperados debido a la contaminación o la mezcla de polímeros.

Un ejemplo relativamente sencillo de readaptación de ALDFG recuperados es la colaboración entre la Federación Internacional de Voleibol (FIVB, por sus siglas en inglés) y la Ghost Fishing Foundation, una organización para la conservación del medio marino. Estas organizaciones se unieron para readaptar redes de pesca abandonadas, perdidas o descartadas recuperadas como redes de voleibol para su uso por parte de las comunidades costeras locales en todo el mundo (FIVB, 2019). En la Figura 24 se muestra un ejemplo de estas redes readaptadas. El primer evento deportivo donde se usaron redes recicladas se llevó a cabo en la famosa playa de Copacabana en Brasil, donde también se celebró la competición de voleibol de playa de los Juegos Olímpicos de Rio en 2016 (FIVB, 2019). Este fue el primero de una serie de partidos de voleibol patrocinados por la FIVB que utilizaron redes de pesca abandonadas, perdidas o descartadas como redes de voleibol. Se van a celebrar otros partidos en varios lugares del mundo a fin de concienciar acerca de los perjuicios provocados por los ALDFG en la vida y el medio marinos.

La organización sin ánimo de lucro Olive Ridley Project (ORP) produce una "*ghost leash*" (correa fantasma), que es una correa para perros fabricada al 100% con redes de pesca no deseadas y residuos textiles recuperados y readaptados (Figura 25). La recogida de las materias primas y la producción de las correas fantasmas se lleva a cabo en Pakistán por parte de las comunidades pesqueras locales. Hechas a mano por artesanos, cada correa para perros es única y puede variar ligeramente en color y diseño. El equipo de ORP en Pakistán y personas voluntarias recuperan las redes de pesca no deseadas que se utilizan para producir la *ghost leash* del mar y las playas cercanas a Abdul Rehman Goth, un pueblo pesquero en la ciudad de Keamari, en Karachi.

Abdul Rehman Goth es un pueblo pesquero centenario con una población de 2 000 personas aproximadamente y 300 embarcaciones de pesca. Como muchas comunidades pesqueras tradicionales, el cambio climático, la pesca industrial y la pesca excesiva tienen un efecto importante en esta comunidad. La organización ORP está buscando el modo de reutilizar las artes fantasmas recuperadas en la zona con el

FIGURA 25. SECCIÓN TRANSVERSAL DE LA GHOST LEASH. CADA CORREA ESTÁ FABRICADA CON 81,5 M^2 DE REDES DE PESCA FANTASMAS RETORCIDAS Y ENVUELTAS CON RETALES DE TELA Y RESTOS DE HILOS, TIENE 1,5 M DE LARGO Y PESA 275 GRAMOS



Fuente: Modificado y adaptado de Olive Ridley Project (2023). *Ghost Leash: A dog leash made of ghost net. Olive Ridley Project (ORP)*. Clitheroe, Reino Unido de Gran Bretaña e Irlanda del Norte. Citado el 31 de mayo de 2023. Disponible en https://www.oliveridleyproject.org/ghost-leash.

objetivo de proporcionar ingresos alternativos para la comunidad. Los habitantes del pueblo readaptan las redes: primero los hombres limpian y retuercen las redes para formar cuerdas, y después las mujeres cosen las mangas de tela y envuelven la *ghost leash* para obtener el producto final. Todos los beneficios revierten en la comunidad.

2.3 EJEMPLOS DE RECICLAJE MECÁNICO DE ARTES DE PESCA: PLASTIX (DINAMARCA) Y KO WIN YANG INDUSTRIAL CO. LTD (TAIWÁN, PROVINCIA DE CHINA)

En esta sección se proporcionan ejemplos prácticos de las tecnologías de reciclaje mecánico empleadas actualmente a escala industrial para las redes de pesca no deseadas en Dinamarca y Taiwán, provincia de China. Los procesos de reciclaje mecánico para las artes de pesca no deseadas se describen de manera más detallada en la Sección 1.2.4.1.

Plastix, una firma danesa, transforma de forma mecánica las redes de pesca no deseadas en materiales reciclados en forma de un producto llamado OceanIX®, que puede utilizarse posteriormente para hacer una variedad de artículos de plástico. Según esta empresa, si se utiliza el material reciclado OceanIX® (que está compuesto de polietileno de alta densidad, PEAD, o carbonato de polipropileno, PPC) en lugar de plásticos vírgenes se ahorran 1,65 toneladas de emisiones de CO_2 equivalente (Eurofish Magazine, 2017). No obstante, este ahorro sólo puede realizarse si la materia prima, artes de pesca no deseadas, puede recogerse para su reciclaje. Asimismo, Plastix brinda apoyo a un sistema que implica trabajar con los sectores marítimo y pesquero, las ONG, los puertos y otros para recoger redes y cuerdas para su reciclaje (Figura 26). Las redes de pesca no deseadas se clasifican en los lugares de recogida y se transportan después a la instalación de Plastix en Dinamarca (Eurofish Magazine, 2017). A continuación, el material se separa por tipos de polímero y color, se tritura, limpia y seca, y se procesa en una máquina extrusora para producir pellets de plástico OceanIX® (Figura 26). Plastix también estableció un programa de recompensas que proporciona certificados a sus proveedores de materia prima (es decir, redes de pesca no deseadas) en tres categorías (bronce, plata y oro). La certificación les permite documentar y comercializar sus esfuerzos de limpieza del medio ambiente a través de la recuperación de artes de pesca no deseadas para su reciclaje, la reducción de las emisiones de dióxido de carbono y la conservación de recursos valiosos.

De manera similar, Ko Win Yang Industrial Co. Ltd también produce un equipo especialmente diseñado para reciclar redes de pesca no deseadas de forma mecánica (Ko Win Yang Industrial, 2023). Esta compañía fue fundada en 1980 en Taiwán, provincia de China, y desarrolló una práctica trituradora de plásticos y líneas integradas de lavado y reciclaje llave en mano para los desechos de redes de pesca (PA, PP, PE y otros materiales de plástico). Al utilizar su equipo, es posible fabricar productos finales como copos de plástico hechos a partir de redes de pesca recicladas, que están directamente disponibles para la extrusión/peletización, fibras de plástico u otros productos de plástico reciclado.

FIGURA 26. PLÁSTICO RECICLADO OCEANIX® Y OPERACIONES DE PLASTIX QUE CONVIERTEN LOS RESIDUOS EN MATERIA PRIMA. LAS REDES Y ARTES DE ARRASTRE SE REDUCEN A OCEANIX®, QUE PUEDE UTILIZARSE PARA FABRICAR NUEVOS PRODUCTOS DE PLÁSTICO



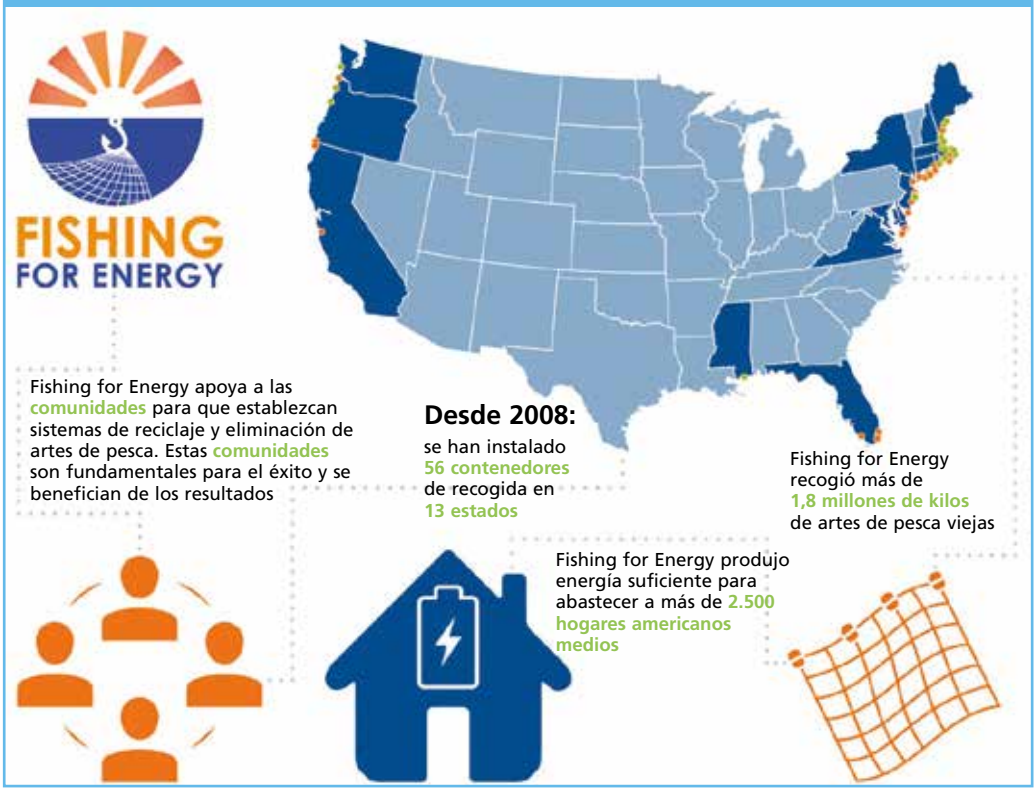
Fuente: Modificado y adaptado de Eurofish Magazine (2017). *Plastix' products contribute to improving the environment. Recycling discarded fishing gear.* Eurofish Magazine, abril de 2017, 2 (C44346), 45-46. Disponible en https://eurofish.dk/recycling-discarded-fishing-gear/.

2.4 EJEMPLOS DE RECICLAJE QUÍMICO DE ARTES DE PESCA: PROYECTO OCEANETS

El proyecto OCEANETS se incluye como un ejemplo de colaboración entre el sector privado e instituciones de investigación para apoyar las tecnologías innovadoras de reciclaje químico de artes de pesca no deseadas. El proyecto OCEANETS, "*Technological approaches for circular economy solutions in terms of prevention, recover, re-use and recycle of fishing gears to obtain added-value products in the textile industry*" (Enfoques tecnológicos para soluciones de economía circular en términos de prevención, recuperación, reutilización y reciclaje de artes de pesca para obtener productos con valor añadido en el sector textil) (http://oceanets.eu), está financiado por el Fondo Europeo Marítimo y de Pesca (FEMP). El proyecto tiene por objeto desarrollar soluciones tecnológicas para las redes de pesca al final de su vida útil en línea con el modelo de economía circular. Por lo tanto, se están investigando nuevos métodos para prevenir la pérdida de estas redes y facilitar su recuperación y reutilización, así como su reciclaje como nuevos productos textiles con alto valor añadido.

EcoALF, empresa privada de ropa de moda y prendas deportivas: y miembro del consorcio del proyecto, ha desarrollado una tecnología de reciclaje químico para transformar redes de pesca no deseadas en una nueva materia prima en forma de pellets de poliamida. Como parte de la asociación del proyecto, AIMPLAS, empresa de tecnología del plástico y otro miembro del proyecto, desarrolló un aditivo rastreador de polímeros que puede añadirse a estos pellets de modo que, al exponerse a los rayos infrarrojos, el aditivo cambia de color para revelar su presencia en el tejido. Esta colaboración en investigación industrial es la primera vez que ha sido posible demostrar la rastreabilidad de las materias primas de artes de pesca utilizadas para fabricar tejidos (AIMPLAS, 2020). Asimismo, el programa OCEANETS también optimizó una planta piloto para reciclar químicamente poliéster y polietileno de artes de pesca no deseadas para producir hilados de alta calidad.

FIGURA 27. RESUMEN DEL PROGRAMA FISHING FOR ENERGY EN LOS ESTADOS UNIDOS DE AMÉRICA



Fuente: Adaptado de NOAA (2023a). *Fishing for Energy Infographic.* Disponible en https://marinedebris.noaa.gov/sites/default/files/ffe-infographic-03312020.png

2.5 VALORIZACIÓN ENERGÉTICA DE ARTES DE PESCA NO DESEADAS: PROGRAMAS *FISHING FOR ENERGY Y NETS TO ENERGY* DE HAWÁI

Los programas *Fishing for Energy* (Pesca de energía) y *Nets to Energy* (Redes para energía) de Hawái en los Estados Unidos de América se incluyen como ejemplos de procesos de reciclaje cuaternario (descritos con mayor detalle en la Sección 1.2.4.3), que apoyan la valorización energética de artes de pesca no deseadas.

Covanta Energy Corporation, la Fundación Nacional de Pesca y Vida Silvestre (NFWF, por sus siglas en inglés), la Oficina Nacional de Administración Oceánica y Atmosférica (NOAA) y Schnitzer Steel Industries, Inc. pusieron en marcha el programa *Fishing for Energy* en la costa oriental de los Estados Unidos de América en 2008. El objetivo inmediato fue proporcionar una solución sin costo para que los pescadores eliminaran artes de pesca viejas, abandonadas o inservibles y reducir la cantidad de ALDFG (Morishige, 2010). En la Figura 27 se muestra un resumen del programa *Fishing for Energy* desde 2008, incluidos los contenedores facilitados para las artes de pesca no deseadas y la energía producida en los Estados Unidos de América. Como parte de este programa, las artes recogidas en los puertos se clasifican inicialmente en las instalaciones de Schnitzer Steel, donde se reciclan los metales. Los materiales no reciclables que quedan tras esta clasificación y reciclaje del metal se envían a continuación a varios centros de Covanta Energy para su valorización energética.

El programa *Fishing for Energy* siguió el modelo del programa *Nets to Energy* de Hawái. Como parte de este último, los pescadores con palangres hawaianos y el grupo interinstitucional para la basura marina de las islas noroccidentales de Hawái recogen redes de pesca no deseadas y las devuelven a un contenedor de residuos gratuito

FIGURA 28. CONTENEDOR DEL PROGRAMA NETS TO ENERGY DE HAWÁI, UBICADO EN EL MUELLE 38 EN HONOLULU



Fuente: Adaptado de NOAA (2023b). H*awai'i Nets to Energy Program*. NOAA M*arine Debris Program. Office of Response and Restoration*. Disponible en https://marinedebris.noaa.gov/prevention/hawaii-nets-energy-program.

en Honolulu (Figura 28). Cuando el contenedor está lleno, las redes recogidas se transportan a una instalación de reciclaje de metal de Schnitzer Steel, donde se preparan para los procesos de valorización energética que se realizan en una instalación de Covanta Energy. Esta iniciativa de colaboración recicla un promedio de 80 toneladas de redes y líneas monofilamento retiradas cada año y ha generado energía suficiente para abastecer a 283 familias durante un año desde 2002 (Morishige, 2010).

2.6 OTROS PRODUCTOS INNOVADORES FABRICADOS A PARTIR DE ARTES DE PESCA RECICLADAS

Se puede fabricar una gran variedad de productos reciclando artes de pesca no deseadas. Esto incluye, entre otros, la creación de pellets y copos de preproducción a partir de los procesos mecánicos (reciclaje primario y secundario), monómeros y polímeros constituyentes (reciclaje químico) en los procesos terciarios y energía recuperada a partir de la conversión térmica y los procesos cuaternarios. En esta sección se presenta una variedad de ejemplos de productos menos conocidos que se están fabricando, o se han fabricado, a partir del reciclaje de artes de pesca no deseadas para mostrar las oportunidades de innovación.

2.6.1 Los pescadores de la India convierten el plástico del océano en carreteras

En junio de 2017, el gobierno del Estado de Kerala en la India, junto con la Asociación de operadores de embarcaciones de pesca del distrito de Kollam, puso en marcha el proyecto *Suchitwa Sagaram* ("Mar limpio"). Este proyecto brinda apoyo a los pescadores para que recojan los residuos plásticos del océano y los traigan a un puerto pesquero local. Desde el puerto, los residuos plásticos se introducen en una máquina trituradora de plásticos, que los transforma en un material que se utiliza posteriormente para asfaltar carreteras. Desde su puesta en marcha, se han recogido aproximadamente 80 000 kg de residuos plásticos de los mares de Kollam, de los que más de la mitad se reciclaron para cubrir 84 millas (135 km) de carretera. Utilizar plástico reciclado es una

alternativa más económica que los aditivos plásticos convencionales utilizados en el asfaltado de carreteras. Cada kilómetro de carretera de plástico utiliza el equivalente de un millón de bolsas de plástico, con un ahorro aproximado de una tonelada de asfalto. Esto también reduce los costes en un 810 por ciento aproximadamente por kilómetro de carretera asfaltada con plástico, en comparación con una carretera construida de manera convencional. No obstante, este proyecto ha sido objeto de críticas debido a la reducción de la calidad de los plásticos reciclados en el material del firme de la carretera, así como a la posibilidad de que el material plástico reciclado de la carretera actúe como una fuente de contaminación por microplásticos.

2.6.2 Posibles aplicaciones de la impresión 3D para las artes de pesca recicladas

Las impresoras 3D de fabricación con filamento fundido (FFF, por sus siglas en inglés) han aumentado en popularidad, disponibilidad y asequibilidad en los últimos años. Como parte del proyecto Circular Ocean, financiado por la Comisión Europea, Hunt (2016a) y Hunt y Charter (2016) examinaron el potencial de la impresión 3D de FFF como método para transformar polímeros de artes de pesca no deseadas en productos comerciales. Esto incluyó una evaluación cualitativa de los polímeros de artes de pesca disponibles y su composición, construcción, estado y nivel de contaminación, así como una evaluación de su posible idoneidad como material fuente para el filamento de impresión 3D de FFF.

Existen una serie de consideraciones que han de tenerse en cuenta cuando se evalúa el éxito de la aplicación de polímeros de artes de pesca no deseadas a la impresión 3D[23] y es necesario seguir investigando y experimentando. Hunt (2016b) ofrece asesoramiento sobre los siguientes aspectos clave:

- la red de enmalle de monofilamento de poliamida es probablemente el arte de pesca más fácil de procesar y es probable que produzca filamento de impresión 3D de alta calidad;
- se recomienda un proceso de triturado mecanizado para preparar las artes de pesca para su procesamiento, en lugar del corte a mano;
- es probable que un proceso industrial de secado y peletización produzca un filamento de mayor calidad, eliminando el contenido de agua y garantizando una composición y un tamaño de alimentación consistentes;
- es necesario seguir realizando pruebas para determinar el nivel de contaminación por sal y su impacto en la calidad del filamento.

Los productos fabricados por la empresa Fishy Filaments también pueden utilizarse en impresoras 3D. Fishy Filaments, que tiene su central en Cornwall, Reino Unido de Gran Bretaña e Irlanda del Norte, pretende mejorar la sostenibilidad de las pesquerías locales reduciendo los residuos y reciclando las redes de manera más eficaz. Tras un año de desarrollo del proceso, Fishy Filaments se formó en julio de 2017 e inmediatamente comenzó a transformar las redes recogidas en filamentos para impresoras 3D con la ayuda de una campaña de financiación colectiva.

A fin de recoger redes y cuerdas de pesca al final de su vida útil, Fishy Filaments colabora estrechamente con el puerto de Newlyn, el sector pesquero regional y la iniciativa *South West* Fishing for Litter (Pesca de basura en el suroeste) (véase la Sección 2.1.4). Tras la clasificación, gradación, trituración y lavado (para eliminar la sal y la bioincrustación), Fishy Filaments transforma las redes recuperadas en "reciclados" de nilón limpios y de alta calidad (Figura 29). El resultado principal del proceso de reciclaje de Fishy Filament es una materia prima de filamento dimensionalmente correcto que puede utilizarse en la impresión 3D de modelado por deposición fundida (FDM, por sus siglas en inglés).

[23] Se puede encontrar información más detallada en Hunt (2016a) y Hunt y Charter (2016).

FIGURA 29. NILÓN RECICLADO DE FISHY FILAMENTS Y FILAMENTO PARA IMPRESORAS 3D FABRICADO CON NILÓN MARINO 100% RECICLADO



Fuente: Modificado y adaptado de Fishy Filaments (2023). *Recycled marine nylon converted into clean, high-quality nylon "recyclates". Materials for the future of manufacturing and the environment*. Disponible en https://fishyfilaments.com

2.6.3 Kayaks, tablas de cuerpo (*bodyboards*) y tablas de mano (*handplanes*) de Odyssey Innovation

La compañía *Odyssey Innovation* colabora con los puertos pesqueros locales en el Reino Unido de Gran Bretaña e Irlanda del Norte para proporcionar puntos de descarga centralizados en los puertos para las artes de pesca no deseadas. Estas artes se recogen de los puertos y se envían a instalaciones donde se preparan para su reciclaje. Una vez finalizada la etapa de pretratamiento para el reciclaje, el material se envía a Plastix (véase la Sección 2.3) para el reciclaje mecánico. Tras el tratamiento mecánico en Plastix, el material reciclado de las artes de pesca no deseadas se transforma posteriormente en kayaks, tablas de cuerpo (*bodyboards*), tablas de mano (*handplanes/handboards*) para hacer surf y una diversidad de otros productos (Figura 30). Una parte de los beneficios de la venta de los kayaks se destina a sufragar los programas de recogida de artes de pesca no deseadas y de limpieza del medio ambiente.

FIGURA 30. ALGUNOS DE LOS MATERIALES PRODUCIDOS POR ODYSSEY INNOVATION A PARTIR DE ARTES DE PESCA NO DESEADAS RECICLADAS EN EL REINO UNIDO DE GRAN BRETAÑA E IRLANDA DEL NORTE



Fuente: Modificado y adaptado de *Odyssey Innovation* (2023b). *Materials produced from recycled unwanted fishing gears.* Disponible en https://www.odysseyinnovation.com

FIGURA 31. EJEMPLOS DE LAS PRENDAS DE ROPA DE UPCYCLING THE OCEANS CON MENSAJES RELATIVOS AL MEDIO AMBIENTE QUE HACEN REFERENCIA AL ORIGEN DE LOS MATERIALES



Fuentes: Modificado y adaptado de *Ourgoodbrands* (2021). 100% *recycled plastic fashion from the oceans. EcoALF, turning plastic bottle trash from the ocean into high quality fashion.* Disponible en https://ourgoodbrands.com/ecoalf-100-recycled-plastic-fashion-oceans/. Y PTT *Global Chemical* (2023). *The Upcycling the Oceans, Thailand project. PTT Global Chemical*. Disponible en https://sustainability.pttgcgroup.com/en/projects/10/the-upcycling-the-oceans-thailand-project

2.6.4 *Upcycling the Oceans*, ropa de moda a partir de artes de pesca no deseadas

La iniciativa *Upcycling the Oceans* (Reciclando los océanos) de la Fundación EcoALF colabora con pescadores, buzos y voluntarios locales y otros socios en España, Grecia, Italia, y Tailandia para recuperar y recoger artes de pesca no deseadas y reciclarlas en sus diseños de ropa de moda. La fundación trabaja también con instituciones que comparten sus principios y objetivos en apoyo a iniciativas de concienciación con respecto a la gestión de residuos, la contaminación y conservación del medio marino y la investigación y el desarrollo. En España, por ejemplo, EcoALF trabaja con 43 puertos españoles y ha obtenido la ayuda de casi 2 500 pescadores para eliminar más de 850 toneladas de basura marina; además, utiliza la basura marina recuperada para incrementar el conocimiento y la concienciación. Tras la recogida, la basura marina y las artes de pesca no deseadas se reciclan químicamente para producir los filamentos de poliéster utilizados en la confección de sus prendas de vestir. En la Figura 31 se muestra un ejemplo de la iniciativa *Upcycling the Oceans* y las prendas de vestir producidas.

2.7 PROYECTO DE ECONOMÍA CIRCULAR AZUL (BCE)

En la Sección 1.4 del informe se examina la economía circular (EC) para las artes de pesca no deseadas, incluidas las estrategias de diseño de artes de pesca y el desarrollo de modelos de negocio circulares (CBM) para apoyar la economía circular. El proyecto de Economía Circular Azul (BCE, por sus siglas en inglés) se incluye para destacar un ejemplo regional de la labor que se lleva a cabo en apoyo al desarrollo de la economía circular para las artes de pesca no deseadas.

Esta iniciativa fue un proyecto transnacional de tres años (20182021) financiado conjuntamente por la Unión Europea (UE) y el Programa Interreg para la periferia septentrional y el Ártico (NPA, por sus siglas en inglés). Su objetivo fue ayudar a las pequeñas y medianas empresas (PYME) que ofrecían productos y servicios en el ámbito de las soluciones de reciclaje de artes de pesca en la región de la periferia septentrional y el Ártico para lograr un mayor alcance de mercado. A tal fin, el proyecto estableció una agrupación multinivel para conectar e impulsar a las PYME de la región. El apoyo incluyó asistencia gratuita para la exploración y la realización de oportunidades de negocio, incluidos talleres, conferencias, seminarios web y tutorías individuales sobre cómo convertir artes de pesca usadas en empresas rentables (Charter *et al.*, 2020). Entre los socios del proyecto de Economía Circular Azul cabe mencionar la Universidad Noruega de Ciencia y Tecnología (Noruega), la Comisión de Desarrollo Occidental (Irlanda), la Universidad Técnica de Dinamarca, el Centro para el Diseño Sostenible

de la Universidad para las Artes Creativas (Reino Unido de Gran Bretaña e Irlanda del Norte) y el Environmental Research Institute (Instituto de investigación del medio ambiente).

Charter y Whitehead (2022) presentaron una interesante iniciativa de innovación abierta para la creación de ideas, conceptos, prototipos y ensayos de productos, denominada BCE Lab©, cuyo objetivo es desarrollar y comercializar nuevos productos (y posiblemente nuevos modelos de negocio circulares) derivados de los residuos y las artes de pesca "al final de su vida útil", o relacionados con ellos. BCE Lab© también tiene por objeto brindar apoyo a organizaciones relevantes en una serie de ámbitos, desde la generación de ideas hasta el establecimiento de empresas; desde la producción y la venta hasta el asesoramiento en materia de financiación, colaboración, establecimiento de redes de contactos y comercialización. Los participantes en un BCE Lab© podrían ser empresas emergentes, micronegocios o pequeños negocios existentes, empresas sociales o redes de colaboración entre empresarios. Entre ellos se podrían incluir personas creativas e interesadas en el diseño, personas con experiencia práctica directa en el tratamiento de artes de pesca no deseadas o capaces de supervisar dicho trabajo, personas y grupos con conocimientos sobre extrusoras de reciclaje y otros equipos (incluyendo, posiblemente, impresoras 3D), y aquellos que tengan experiencia en materia de comercialización y ventas. BCE Lab© incluye cuatro módulos:

- Lab de diseño: concepción, iteración o creación de prototipos de soluciones en cualquier etapa de la cadena de valor de los residuos y las artes de pesca "al final de su vida útil";
- Lab de tratamiento: tratamiento de los residuos y las artes de pesca "al final de su vida útil" (p. ej., mediante lavado, secado, despolimerización) para proporcionar materiales "limpios", como pellets, filamentos o fibras reciclados, para abastecer al Lab de fabricación o a los fabricantes y las cadenas de suministro interempresariales (B2B) fuera de BCE Lab©;
- Lab de fabricación: operaciones de fabricación o montaje que utilizan los residuos y las artes de pesca "al final de su vida útil" para producir productos destinados al mercado de B2C (de empresa a consumidor), B2B (de empresa a empresa) o B2G (de empresa a gobierno); y
- Lab de puesta en marcha: una incubadora o un centro para empresas emergentes y atraer a las micropymes existentes para que se trasladen.

En el Cuadro 5 y el Cuadro 6 de la Sección 1.4.4 se puede obtener más información sobre las oportunidades de modelos de negocio circulares para las artes de pesca no deseadas.



© FAO/Bureo

3. Conclusiones y recomendaciones

El reciclaje de artes de pesca puede llevarse a cabo mediante una amplia variedad de tecnologías y procesos y puede recibir apoyo de una gama igualmente diversa de medidas técnicas e instrumentos de política. La información de referencia sobre el reciclaje de artes de pesca presentada en este informe pone en contexto las diversas tecnologías disponibles y las circunstancias en las que podrían emplearse. El método de reciclaje dependerá del tipo, el volumen y la calidad de las artes disponibles para reciclar, incluidos sus componentes asociados, así como de las capacidades locales y regionales en apoyo al reciclaje de artes de pesca. La inclusión de las diversas partes interesadas implicadas en el reciclaje de artes de pesca, y la comunicación entre ellas, es fundamental: responsables de la formulación de políticas, administradores y autoridades de reglamentación; productores, fabricantes, montadores, proveedores y compradores de artes de pesca; pescadores; autoridades portuarias; organismos de gestión de residuos; y empresas de reciclaje. Una sólida colaboración garantiza que las diferentes partes interesadas puedan apoyarse mutuamente en sus esfuerzos y funciones para asegurar que las artes de pesca se reciclan de manera responsable y eficaz al final de su vida útil de acuerdo con la mejor tecnología disponible y más adecuada.

En el presente informe se proporciona una visión general del estado actual de los conocimientos sobre el reciclaje de artes de pesca, que puede ser utilizada por una variedad de partes interesadas para fundamentar mejor la toma de decisiones relacionadas con la mejora de la circularidad de las artes de pesca durante todo su ciclo de vida y apoyar el reciclaje al final de su vida útil. El informe concluye con una breve exposición de ejemplos prácticos de reciclaje de artes de pesca a fin de mostrar la variedad de iniciativas y opciones disponibles a nivel mundial.

En la Sección 1.2 se analizan los principales procesos de reciclaje disponibles para las artes de pesca. Entre ellos figuran el reciclaje primario y secundario (reciclaje mecánico), el reciclaje terciario (reciclaje químico y conversión térmica, así como el método avanzado de reciclaje físico de disolución/purificación con disolventes) y el reciclaje cuaternario (valorización energética). **La elección del método de reciclaje dependerá de la calidad y la naturaleza de los materiales con los que están fabricadas las artes que se reciclan, así como de los recursos disponibles (sistemas, tecnología e infraestructura de gestión de residuos) para apoyar el reciclaje de artes de pesca.**

Aunque **los procesos de reciclaje primario y secundario (reciclaje mecánico) suelen ser los más económicos, conocidos y disponibles a nivel mundial, requieren una etapa de pretratamiento de las artes de pesca que consta de varias fases y necesita mucha mano de obra. En general, estos procesos también se limitan a artes de pesca menos contaminadas, con menos materiales mezclados y principalmente de un solo polímero.** La naturaleza del proceso de extrusión permite una amplia variedad de posibles productos, como los resumidos en la Sección 2.3 y la Sección 2.6. Los resultados del reciclaje mecánico secundario son a veces objeto de críticas por no ser realmente circulares, dado que los productos resultantes suelen ser de menor calidad, valor o funcionalidad en comparación con las artes de pesca originalmente recicladas.

Los procesos de reciclaje terciario (reciclaje químico, conversión térmica y procesos físicos de disolución/purificación con disolventes) pueden complementar el reciclaje mecánico a través de su capacidad para reciclar artes de pesca y componentes que no pueden ser reciclados en los procesos primario y secundario, o producir

un producto final de mayor calidad (p. ej., en el caso de la despolimerización). La despolimerización se prefiere a veces para materiales de artes de pesca que pueden ser reciclados mediante los procesos mecánicos, ya que se generan productos de mayor valor a partir de los monómeros y polímeros resultantes. Los procesos de despolimerización que permiten deconstruir y reconstruir monómeros y polímeros deseados de manera indefinida se han destacado como enfoques de reciclaje potencialmente más circulares, ya que producen monómeros y polímeros valiosos que pueden utilizarse para producir nuevas artes de pesca y componentes de plástico. A la fecha de este informe, y tomando como base la bibliografía examinada, la despolimerización es el único proceso conocido que emplea el reciclaje químico para reciclar artes de pesca a gran escala y que utiliza el flujo de materiales secundarios para la producción de nuevas fibras de alta calidad para artes de pesca.

Los métodos de conversión térmica, que a menudo se clasifican como reciclaje terciario, también pueden procesar artes de pesca más contaminadas y de materiales y polímeros mezclados cuyo reciclaje mediante procesos mecánicos o de despolimerización es demasiado complicado o imposible, o requiere mucha mano de obra. No obstante, los procesos de conversión térmica que dan lugar a la producción de combustibles líquidos y gaseosos son a veces objeto de críticas por no ser circulares, debido a la menor calidad de los combustibles producidos. Por ejemplo, la Unión Europea no incluye la producción de combustible a partir de los procesos de recuperación química en su definición de los métodos de reciclaje terciario. Los procesos terciarios, especialmente los de conversión térmica, también pueden dar lugar a la producción de subproductos peligrosos y tóxicos que **requieren controles de contaminación estrictos.** Además, los procesos de reciclaje terciario **necesitan grandes cantidades de energía y una infraestructura costosa y altamente especializada**.

El **reciclaje cuaternario mediante incineración (es decir, valorización energética)** puede proporcionar un método alternativo de tratamiento para las artes de pesca que no pueden ser recicladas mediante los procesos primario, secundario o terciario. Este proceso da lugar a productos energéticos en forma de calor, vapor y electricidad. No obstante, **en este informe se recomienda que los procesos de valorización energética sólo se consideren si las opciones de reciclaje mecánico o químico no son posibles y si se aplican plenamente los controles de contaminación y las medidas de prevención esenciales**.

La gama de medidas técnicas e instrumentos de política resumidos en la Sección 1.3 pone de relieve la creciente **necesidad de enfoques sistemáticos que armonicen la gobernanza eficaz de la pesca y la gestión de residuos con las medidas complementarias que apoyan el reciclaje de artes de pesca desde la etapa de diseño y fabricación hasta la gestión al final de su vida útil**.

Entre las medidas que pueden tener en cuenta los productores/fabricantes de artes de pesca cabe citar: **utilizar una gama menos diversa de tipos de materiales y mezclas de polímeros plásticos en las artes de pesca; excluir materiales no reciclables en los diseños de artes, así como componentes y materiales que sean propensos a perderse en el medio marino durante su uso; mejorar la modularidad de los distintos componentes de las artes** para facilitar los procesos de desmontaje; **marcar las artes y los componentes para su rastreabilidad comercial; y etiquetar los tipos de materiales y polímeros que componen las artes**. El diseño y la producción de artes de pesca que incluya información para los proveedores, compradores y usuarios con respecto a la vida útil prevista de las artes y sus componentes podría ayudar a los pescadores y las autoridades de reglamentación a garantizar la reparación y sustitución regular de las artes durante la etapa de uso, así como la devolución responsable para el reciclaje al final de su vida útil. La información pertinente incluiría la fecha de fabricación y de reparación recomendada, además de los requisitos y planes de sustitución.

Entre las medidas que han de tener en cuenta las pesquerías y las autoridades portuarias cabe citar: **el marcado de las artes de pesca para identificar al propietario y la posición en el mar** como medidas de prevención de los ALDFG y para facilitar su recuperación, **junto con la provisión de instalaciones portuarias de recepción (PRF) especializadas para recoger las artes de pesca no deseadas**. Siempre que sea posible, las EOLFG y los ALDFG recuperados deberían recogerse por separado, debido a los mayores niveles de contaminación presentes en los ALDFG en comparación con las EOLFG. La provisión de instalaciones portuarias de recepción debería **combinarse con sistemas de gestión de residuos complementarios que garanticen la preparación necesaria para las instalaciones de reciclaje y el transporte hasta ellas**. La educación y la formación del personal que participa en la preparación de las artes de pesca para su reciclaje, como sobre la identificación de los materiales de las artes de pesca y los tipos de polímeros básicos presentes en las distintas artes, pueden contribuir a garantizar unos procesos de pretratamiento más eficaces y de mayor calidad. Stolte *et al.* (2019) también **recomiendan una combinación de infraestructura y logística de gestión de residuos centralizada y descentralizada para las artes de pesca no deseadas**, a fin de permitir un tratamiento óptimo y eficaz en función de los costos.

La aplicación de **normas relativas a los sistemas de rastreabilidad por parte de los responsables de la formulación de políticas, los administradores y las autoridades de reglamentación que identifiquen y rastreen las sustancias químicas utilizadas en los diferentes materiales plásticos también garantizará la compatibilidad de los materiales reciclados con los reglamentos locales y regionales** (Comisión Europea, 2018). Esto es especialmente importante en los sectores donde los componentes plásticos de las artes de pesca incluyen una amplia gama de aditivos.

Otras medidas que pueden emplear los encargados de la formulación de políticas, los administradores pesqueros y, en algunos casos, las autoridades portuarias incluyen una serie de **instrumentos basados en el mercado (MBI). Estos proporcionan apoyo financiero a las iniciativas de reciclaje de artes de pesca influyendo en el costo o precio de mercado de las artes de pesca, sus componentes materiales y los servicios de reciclaje, así como en el desarrollo de sistemas de responsabilidad ampliada del productor (EPR) para las artes de pesca**. Los instrumentos basados en el mercado pueden facilitar la viabilidad económica de los productos fabricados a partir de artes de pesca recicladas y contribuir a que a los productos de plástico reciclado compitan mejor en el mercado con nuevos productos de plástico. Los programas de "recompra" de artes de pesca (también conocidos normalmente como "planes de recompensa"), los planes de reembolso de depósitos y los sistemas de registro y depósito son algunos de los instrumentos basados en el mercado que pueden incentivar y proporcionar fondos para la devolución y la recogida de artes de pesca para su reciclaje. Junto con los sistemas de responsabilidad ampliada del productor, entre los instrumentos basados en el mercado que pueden proporcionar fondos para la infraestructura de reciclaje y los sistemas asociados de gestión de residuos cabe citar: los impuestos medioambientales, que generan ingresos para apoyar la logística y la infraestructura de reciclaje; las tarifas de residuos portuarias "indirectas" (también conocidas como "sin costo"); y los sistemas de responsabilidad ampliada del productor. Los factores de viabilidad, eficacia, beneficio económico, equidad, repercusión social, tarificación, observancia, aceptabilidad y coherencia económica de los instrumentos basados en el mercado deberían tenerse en cuenta para determinar qué instrumento podría ser más adecuado para incentivar el reciclaje de artes de pesca en un país o región determinados.

La financiación y la organización de la recogida y el reciclaje sistemáticos de artes de pesca y el fomento de la innovación en el diseño de artes de pesca reciclables y la gestión al final de su vida útil también pueden promoverse a través de los sistemas de responsabilidad ampliada del productor. Debido al sistema de producción a

menudo complejo de las artes de pesca, que puede incluir diferentes agentes/negocios responsables del diseño, la fabricación, el montaje y la venta de los diferentes materiales y componentes, puede ser complicado **determinar los factores de equidad, repercusión social, observancia y aceptabilidad de los principios y sistemas de responsabilidad ampliada del productor. Estos variarán en función del arte, la región y el contexto pesquero local**. Las medidas reglamentarias que establecen niveles obligatorios de utilización de materiales reciclados en nuevos productos de plástico también pueden impulsar el mercado de productos de plástico reciclado, incluso los derivados de artes de pesca recicladas.

Como se indica en la Sección 1.4, a fin de ajustarse a los principios de la Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible, **las decisiones políticas y reglamentarias con respecto al reciclaje de artes de pesca deberán apoyarse y fundamentarse en los modelos y principios de economía circular (EC) siempre que sea práctico y posible. Los modelos de economía circular para las artes de pesca incluyen su reciclaje como una opción dentro de un modelo más amplio y circular de las etapas del ciclo de vida de las artes de pesca**. La jerarquía de residuos y los modelos y conceptos basados en la letra R (p. ej., las tres R) pueden complementar los modelos de economía circular para la gestión responsable de las artes de pesca. En este informe se otorga prioridad a la prevención y la reducción de los residuos, incluso en la etapa de diseño de artes de pesca, seguidas de la reutilización y el reciclaje. La aplicación de los principios de economía circular al diseño, la producción, el uso y la gestión al final de la vida útil de las artes de pesca puede mejorar las oportunidades de su reciclaje al conducir a métodos que sean más circulares y conserven más el valor y la calidad de rendimiento de los materiales y polímeros originales. Este enfoque apoya un ciclo de vida de las artes de pesca más holístico y sostenible a largo plazo.

No obstante, la incorporación de medidas de circularidad de los productos a veces puede dar lugar a concesiones y habrá que tener en cuenta determinadas barreras de la economía circular en cualquier transición hacia modelos de economía circular para las artes de pesca. Por ejemplo, Huang *et al.* (2019) detallan cómo las opciones de reciclabilidad y durabilidad interactúan en el diseño de los productos, incluidas las concesiones entre los distintos diseños para mejorar la reciclabilidad. Incrementar simplemente las cantidades de artes de pesca que se reciclan no asegura necesariamente la calidad de los materiales reciclados o la demanda de materias primas secundarias. **Establecer normas claras para los materiales secundarios producidos, así como asegurar la viabilidad comercial de los productos reciclados, contribuirá a la sostenibilidad de los modelos de negocio circulares para las artes de pesca**. En el Cuadro 6 de la Sección 1.4.4 se resume una serie de oportunidades y amenazas para los modelos de negocio más circulares para las artes de pesca. El proyecto de Economía Circular Azul (BCE) que se resume en la Sección 2.7 de la segunda parte también proporciona un ejemplo regional de iniciativas que apoyan la integración de los modelos de economía circular para las artes de pesca, incluido el apoyo a las pequeñas y medianas empresas (PYME) para que desarrollen y comercialicen sus productos y servicios de artes de pescas recicladas. Los análisis del ciclo de vida (ACV) de las artes de pesca pueden servir de base para el desarrollo de estrategias de economía circular para las artes de pesca y contribuir a garantizar que sean beneficiosas para el medio ambiente, viables desde el punto de vista económico y socialmente aceptables.

Los ejemplos prácticos de reciclaje de artes de pesca expuestos en la segunda parte ponen de relieve la **variedad de opciones de reciclaje de artes de pesca en todo el mundo,** desde las iniciativas de recogida y recuperación de artes de pesca a pequeña escala hasta los procesos industriales, mecánicos, químicos y de valorización energética de mayor envergadura. Una parte esencial del establecimiento de sistemas responsables de gestión de residuos a nivel mundial para las artes de pesca será la creación de la

capacidad tecnológica y financiera para superar los obstáculos económicos y las dificultades de logística que afectan especialmente a los países de bajos ingresos y los que dependen en gran medida de los sectores de la pesca artesanal y a pequeña escala.

Si bien existen muchas oportunidades de inversión en el reciclaje de artes de pesca, con una gran variedad de productos innovadores disponibles para su comercialización, **también se requiere una viabilidad de mercado para la variedad de materiales producidos en los procesos de reciclaje**, lo que garantizará la demanda de estas iniciativas y su viabilidad financiera. Unas estimaciones más precisas con respecto a los volúmenes de material de artes de pesca disponibles para su reciclaje a nivel local y regional contribuirán a asegurar un suministro adecuado y sostenible para las empresas de reciclaje. Es importante contar con **una comunicación clara acerca de los beneficios relacionados con la compra de productos hechos a partir de artes de pesca recicladas** para garantizar mercados viables, especialmente si estos productos son más costosos que otras alternativas similares fabricadas con materias primas o plásticos vírgenes. Por otro lado, las empresas no siempre comunican de manera transparente la proporción relativa de material plástico reciclado y virgen en los productos fabricados a partir de artes de pesca recicladas. Dado que la transparencia es una condición para la confianza del consumidor, se recomienda hacer cambios en las campañas de comercialización para **revelar los porcentajes reales del total de materiales reciclados usados en los productos que se anuncian como fabricados a partir de artes de pesca recicladas**.

Tras la segunda parte, en los anexos se proporciona información técnica adicional y consideraciones con respecto al reciclaje de artes de pesca que quedaron fuera del ámbito del cuerpo principal de este informe. En el **Anexo 1 se resumen los procesos de reciclaje terciario** y las ventajas e inconvenientes de los diferentes procesos.

El **Anexo 2 concluye este informe con consideraciones adicionales compartidas por los expertos en reciclaje de artes de pesca durante el seminario web de dos días de duración** organizado por la FAO en 2022. Este seminario web tuvo por objeto apoyar la elaboración de este informe pidiendo a los expertos en reciclaje de artes de pesca que aportaran información sobre los temas del informe, así como que completaran las lagunas de conocimiento identificadas en el mismo. Si bien los conocimientos adquiridos durante el seminario web se han integrado a lo largo de este informe, en el Anexo 2 se resume una variedad de elementos adicionales analizados por los participantes del seminario web que no se han explorado en detalle en este texto, pero que se incluyen dada su importancia con respecto a la cuestión del reciclaje de artes de pesca. Estos incluyen consideraciones sobre las tecnologías de reciclaje de artes de pesca en los países en desarrollo, iniciativas de educación y concienciación en apoyo al reciclaje de artes de pesca, normas encaminadas a mejorar la circularidad de artes de pesca, artes de pesca biodegradables y determinación de prioridades de financiación en apoyo al reciclaje de artes de pesca.



© FAO/Bureo

4. Bibliografía

AIE. 2016. *Annual Report 2015, IEA Bioenergy.* Agencia Internacional de la Energía (AIE) Statistics report, 136 págs.

AI. 2022. *Annual Report 2022, IEA Bioenergy*. Agencia Internacional de la Energía (AIE), 105 págs.

Al-Salem, S. M., Lettieri, P. y Baeyens, J. 2009. Recycling and recovery routes of plastic solid waste (PSW): A review. *Waste Management*, 29(10), 2625-2643. https://doi.org/10.1016/j.wasman.2009.06.004

Alhawari, O., Awan, U., Bhutta, M. K. S. y Ülkü, M. A. 2021. Insights from Circular Economy Literature: A Review of Extant Definitions and Unravelling Paths to Future Research. *Sustainability*, 13(2), 1-22.

Andrady, A. L. 2015. *Plastics and environmental sustainability*. John Wiley & Sons, Inc., 325 págs.

Axelsson, A. 2021. Haunted sea. *An overview of problems and initiatives in relation to lost fishing gear*. KIMO Sweden report, 34 págs.

Bartl, A. 2013. *Ways and entanglements of the waste hierarchy (presentation)*. Vienna University of Technology, Institute of Chemical Engineering [en línea], 17 págs. Disponible en: www.vt.tuwien.ac.at/fileadmin/t/vt/Mech_VT/FB_Mech_VT_Faser_Abfallhierarchie.pdf

Basurko, O. C., Markalain, G., Mateo, M., Peña-Rodriguez, C., Mondragon, G., Larruskain, A., Larreta, J. y Moalla Gil, N. 2023. End-of-life fishing gear in Spain: Quantity and recyclability. *Environmental Pollution*, 316, 120545. https://doi.org/10.1016/j.envpol.2022.120545

Bertling, R. y Nühlen, J. 2019. *Study on logistics and infrastructure required for DFG treatment*. Interreg Baltic Sea Region Programme 2014-2020, MARELITT Baltic Project report, 69 págs.

Bishop. 2013. Addition (Chain-Growth) Polymers. *An introduction to chemistry* by Mark Bishop. Chiral Publishing Company. Disponible en https://preparatorychemistry.com/Bishop_Addition_Polymers.htm

BPF. 2023. *Chemical Recycling 101*. British Plastics Federation (BPF). Disponible en www.bpf.co.uk/plastipedia/chemical-recycling-101.aspx

Brodbeck, L. 2016. *Mechanisms to support the recycling/reuse of fishing gear and the prevention of gear becoming lost/abandoned at sea*. Barrier assessment. Circular Ocean Report Type 10-2016. NTNU, Universidad Noruega de Ciencia y Tecnología. Trondheim, 5 de octubre de 2016, 43 págs.

CEFIC. 2023a. Depolymerisation: *Breaking it down to basic building blocks*. Consejo Europeo de la Industria Química (CEFIC). Disponible en https://cefic.org/a-solution-provider-for-sustainability/chemical-recycling-making-plastics-circular/chemical-recycling-via-depolymerisation-to-monomer/

CEFIC. 2023b. Dissolution: *Extracting plastic*. Consejo Europeo de la Industria Química (CEFIC). Disponible en https://cefic.org/a-solution-provider-for-sustainability/chemical-recycling-making-plastics-circular/chemical-recycling-via-dissolution-to-plastic/

CEN. 2020. CEN/TC 466 - *Sustainable fisheries, aquaculture and fishing gear* (CEN 2020). Comité Europeo de Normalización (CEN).

Ceryes, C. A., Antonacci, C. C., Harvey, S. A., Spiker, M. L., Bickers, A. y Neff, R. A. 2021. *"Maybe it's still good?" A qualitative study of factors influencing food waste and application of the E.P.A*. Food recovery hierarchy in U.S. supermarkets. Appetite, 161, 105111. https://doi.org/10.1016/j.appet.2021.105111

CEWEP. 2021. Latest Eurostat Figures: Municipal Waste Treatment 2019 (*Eurostat data March 2021*). Confederación de Plantas Europeas de Valorización Energética (CEWEP). Disponible en www.cewep.eu/municipal-waste-treatment-2019

Charter, M., Jude, S. y O'Connor, F. 2020. *Creating business opportunities from waste fishing nets*. Opportunities for circular business models and circular design related to fishing gear. Blue Circular Economy (BCE) Final Report, 67 págs.

Charter, M. y Whitehead, P. 2022. *Local innovation systems related to waste fishing gear*. Research report on the findings from stakeholder workshops related to local innovation systems related to waste and "end of life" fishing gear. Blue Circular Economy (BCE) Report, 106 págs.

Charter, M. y Carruthers, R. 2022. *Products from waste fishing nets*. Accessories, clothing, footwear, home ware and recreation. Blue Circular Economy (BCE) Report, 42 págs.

Chemical Recycling Europe. 2019. 10 Questions and Answers to Better Understand Chemical Recycling. *Chemical Recycling Europe*. Disponible en https://www.chemicalrecyclingeurope.eu/copy-of-about-chemical-recycling

CIEM. 2022. *Working Group on Bycatch of Protected Species (WGBYC)*. Informes científicos del CIEM, Vol. 4, Issue 92 (doi: https://doi.org/10.17895/ices.pub.21602322.v1), 265 págs.

Clark, J. 2021. Condensation polymerisation. Chemguide: Core chemistry 14-16. Disponible en https://www.chemguide.uk/14to16/organic/condpolymers.html

Clarke, S., Sato, M., Small, C., Sullivan, B., Inoue, Y. y Ochi, D. 2014. *Bycatch in longline fisheries for tuna and tuna-like species: a global review of status and mitigation measures*. FAO Documento Técnico de Pesca y Acuicultura No. 588, 199 págs.

Cole, C., Gnanapragasam, A., Cooper, T. y Singh, J. 2019. *An assessment of achievements of the WEEE Directive in promoting movement up the waste hierarchy: experiences in the UK.* Waste Management, 87, 417-427. https://doi.org/10.1016/j.wasman.2019.01.046

Comisión Europea. 2018. *Plastics: reuse, recycling and marine litter.* Dirección General de Medio Ambiente, f., Informe final ICFEunomia, Oficina de Publicaciones, 435 págs.

Comisión Europea. 2020a. *Re-imagining gear in a circular economy.* EU Workshop Report, 13 págs.

Comisión Europea. 2020b. *Study on circular design of the fishing gear for reduction of environmental impacts*. Oficina de Publicaciones, 74 págs.

Comisión Europea. 2020c. *Study to support the implementation of obligations set out in the Single Use Plastics and Port Reception Facilities Directives.* Agencia Ejecutiva para el Consejo Europeo de Innovación y las Pymes. Informe final, Oficina de Publicaciones, 2020, https://data.europa.eu/doi/10.2826/567796, 204 págs.

Comisión OSPAR. 2020. OSPAR scoping study on best practices for the design and recycling of fishing gear as a means to reduce the quantities of fishing gear found as marine litter in the North-East Atlantic. Londres, R.U., Comisión OSPAR, 128 págs.

Comunicación COM (2014) 398. 2008. *Hacia una economía circular: un programa de cero residuos para Europa*. Comunicación de la Comisión al Parlamento Europeo, el Consejo, el Comité Económico y Social Europeo y el Comité de las Regiones. COM(2014) 398 final, 14 págs.

Comunicación COM (2018) 33. 2018. Propuesta de Directiva del Parlamento Europeo y del Consejo relativa a las instalaciones portuarias receptoras a efectos de la entrega de desechos de buques, por la que se deroga la Directiva 2000/59/CE y se modifican la Directiva 2009/16/CE y la Directiva 2010/65/UE. COM/2018/033 final, 2018/012 (COD), 32 págs.

Dauvergne, P. 2018. Why is the global governance of plastic failing the oceans? *Global Environmental Change*, 51, 22-31. https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2018.05.002

Deshpande, P. C., Skaar, C., Brattebø, H. y Fet, A. M. 2020a. Multi-criteria decision analysis (MCDA) method for assessing the sustainability of end-of-life alternatives for waste plastics: A case study of Norway. *Science of The Total Environment*, 719, 137353. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.137353

Deshpande, P. C., Philis, G., Brattebø, H. y Fet, A. M. 2020b. Using Material Flow Analysis (MFA) to generate the evidence on plastic waste management from commercial fishing gears in Norway. *Resources, Conservation & Recycling*: X, 5, 100024. https://doi.org/10.1016/j.rcrx.2019.100024

Deshpande, P. C. y Haskins, C. 2021. Application of Systems Engineering and Sustainable Development Goals towards Sustainable Management of Fishing Gear Resources in Norway. *Sustainability* [en línea], 13, 10.3390/su13094914

Di Vaio, A., Hasan, S., Palladino, R. y Hassan, R. 2022. The transition towards circular economy and waste within accounting and accountability models: a systematic literature review and conceptual framework. *Environment, Development and Sustainability.* https://doi.org/10.1007/s10668-021-02078-5

Directiva 2008/98/CE. 2008. Directiva 2008/98/CE del Parlamento Europeo y del Consejo de 19 de noviembre de 2008 sobre los residuos y por la que se derogan determinadas Directivas (Texto pertinente a efectos del EEE). L 312, 22 de julio de 2008, Diario Oficial de la Unión Europea, 3-30 págs.

Directiva (UE) 2019/883. 2019. Directiva (UE) 2019/883 del Parlamento Europeo y del Consejo de 17 de abril de 2019 relativa a las instalaciones portuarias receptoras a efectos de la entrega de desechos generados por buques, por la que se modifica la Directiva 2010/65/UE y se deroga la Directiva 2000/59/CE (Texto pertinente a efectos del EEE). L 151, 07/06/2019, Diario Oficial de la Unión Europea, 27 págs.

Directiva (UE) 2019/904. 2019. Directiva (UE) 2019/904 del Parlamento Europeo y del Consejo de 5 de junio de 2019 relativa a la reducción del impacto de determinados productos de plástico en el medio ambiente. L 155, 12/06/2019, Diario Oficial de la Unión Europea, 1-19 págs.

Directiva 75/442/CEE del Consejo. 1975. Directiva 75/442/CEE del Consejo de 15 de julio de 1975 relativa a los residuos. L 194, 25 de julio de 1975, Diario Oficial de la Unión Europea, 39-41 págs.

Directiva 91/156/CEE del Consejo. 1991. Directiva 91/156/CEE del Consejo de 18 de marzo de 1991 por la que se modifica la Directiva 75/442/CEE relativa a los residuos. L 78, 26 de marzo de 1991, Diario Oficial de la Unión Europea, 32-37 págs.

Dogu, O., Pelucchi, M., Van de Vijver, R., Van Steenberge, P. H. M., D'Hooge, D. R., Cuoci, A., Mehl, M., Frassoldati, A., Faravelli, T. y Van Geem, K. M. 2021. The chemistry of chemical recycling of solid plastic waste via pyrolysis and gasification: State-of-the-art, challenges, and future directions. *Progress in Energy and Combustion Science*, 84, 100901. https://doi.org/10.1016/j.pecs.2020.100901

Dolan, M. 2022. Solvent-based purification - A good fit between mechanical and chemical recycling. NexantECA. Disponible en https://www.nexanteca.com/blog/202207/solvent-based-purification-%E2%80%93-good-fit-between-mechanical-and-chemical-recycling

Dorigato, A. 2021. Recycling of thermosetting composites for wind blade application. *Advanced Industrial and Engineering Polymer Research*, 4(2), 116-132. https://doi.org/10.1016/j.aiepr.2021.02.002

Drinkwin, J. 2020. Effective ghost gear solutions: Learning from what works. Ocean Conservancy, Iniciativa Global contra las Redes de Pesca Fantasmas, WWF (https://doi.org/APO-309511), 44 págs.

Egüez, A. 2021. Compliance with the EU waste hierarchy: A matter of stringency, enforcement, and time. *Journal of Environmental Management*, 280, 111672. https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2020.111672

EIA. 2022. Convention on Plastic Pollution. *Essential Elements*: Fishing Gear. Organismo de Investigación Ambiental (EIA). Disponible en https://apps1.unep.org/resolutions/uploads/essential_elements_-_fishing_gear_online.pdf, 14 págs.

Einarsson, H., He, P. y Lansley, J. 2023. *Voluntary Guidelines on the Marking of Fishing Gear* – Manual for the marking of fishing gear. Suppl. 2. FAO, Roma, Italia. Disponible en https://doi.org/10.4060/cc4251en, 84 págs.

EIO y CfSD. 2016. Eco-innovate! A guide to eco-innovation for SMEs and business coaches. Observatorio de Ecoinnovación, financiado por la Comisión Europea, DG Medio Ambiente, Bruselas, 70 págs.

Ellen MacArthur Foundation. 2019. *The circular economy in detail* [en línea]. Disponible en https://ellenmacarthurfoundation.org

Esposito, M., Tse, T. y Soufani, K. 2018. Introducing a Circular Economy: New Thinking with New Managerial and Policy Implications. *California Management Review*, 60(3), 5-19. https://doi.org/10.1177/0008125618764691

Eurofish Magazine. 2017. Plastix' products contribute to improving the environment. Recycling discarded fishing gear. *Eurofish Magazine*, abril de 2017, 2 (C44346), 45-46. Disponible en https://eurofish.dk/recycling-discarded-fishing-gear/

FAO. 1995. *Código de Conducta para la Pesca Responsable*. Roma, FAO, 41 págs.

FAO. 2010. *Report of the twenty-third session of the Coordinating Working Party on Fishery Statistics*. Hobart, Australia, 2226 de febrero de 2010. Roma, FAO, 87 págs.

FAO. 2015. *Directrices voluntarias para lograr la sostenibilidad de la pesca en pequeña escala en el contexto de la seguridad alimentaria y la erradicación de la pobreza*. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura, 34 págs.

FAO. 2016a. *Report of the twenty-fifth session of the Coordinating Working Party on Fishery Statistics*. Roma, Italia, 2326 de febrero de 2016. FAO Informe de Pesca y Acuicultura No. 1172 (FIAS/R1172 (En)), 54 págs.

FAO. 2016b. *Acuerdo sobre medidas del Estado rector del puerto destinadas a prevenir, desalentar y eliminar la pesca ilegal, no declarada y no reglamentada.* FAO, Roma, Italia. Disponible en www.fao.org/3/i5469t/I5469T.pdf, 115 págs.

FAO. 2018a. *Informe de la Consulta técnica sobre el marcado de las artes de pesca*. FAO Informe de Pesca y Acuicultura No. 1236, 36 págs.

FAO. 2018b. *Directrices voluntarias sobre el marcado de las artes de pesca*, 33.º período de sesiones del Comité de Pesca. COFI/2018/Inf.30, FAO, 2018 (MX136), Roma, 913 de julio de 2018.

FAO. 2019a. *Voluntary Guidelines on the Marking of Fishing Gear*. Directives volontaires sur le marquage des engins de pêche. Directrices voluntarias sobre el marcado de las artes de pesca. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura, 88 págs.

FAO. 2019b. *Protocolos y prácticas de notificación de los artes de pesca perdidos*: su importancia en la lucha contra los artes de pesca abandonados, perdidos o desechados. MEPC 75/8/1, 75º periodo de sesiones del Comité de protección del medio marino (MEPC) de la Organización Marítima Internacional (OMI). Labor de seguimiento derivada del plan de acción para abordar el problema de la basura plástica marina procedente de los buques, 13 págs.

FAO. 2019c. *Progresos en la aplicación de las Directrices voluntarias sobre el marcado de las artes de pesca para reducir los ALDFG y sus repercusiones.* MEPC 75/8/2, 75º periodo de sesiones del Comité de protección del medio marino (MEPC) de la Organización Marítima Internacional (OMI). Labor de seguimiento derivada del plan de acción para abordar el problema de la basura plástica marina procedente de los buques, 17 págs.

FAO. 2020. *El estado mundial de la pesca y la acuicultura 2020*. La sostenibilidad en acción. FAO, Roma, 224 págs.

FAO. 2021. *Assessment of agricultural plastics and their sustainability.* A call for action. FAO, Roma, 160 págs.

FAO. 2022. *Report of the FAO Workshop on Gear Marking Technology and Trials*. FAO Informe de Pesca y Acuicultura No. 1388, 27 págs.

Feary, D., Aranda, M., Russell, J., Cabezas, O., Rodríguez Climent, S. y Bremner, J. 2020. *Study on Circular Design of the Fishing Gear for Reduction of Environmental Impacts.* Oficina de Publicaciones de la Unión Europea, EASME/EMFF/2018/011 Specific Contract No. 1, Final Report, 74 págs.

Fishy Filaments. 2023. Recycled marine nylon converted into clean, high-quality nylon "recyclates". *Materials for the future of manufacturing and the environment.* Disponible en https://fishyfilaments.com

FIVB. 2019. Good Net Volleyball Sustainability Project Launched on Copacabana Beach. News, 6 de marzo de 2019. Disponible en https://www.fivb.com/en/about/news/good-net-volleyball-sustainability-project-launched-on?id=80603

Foro Económico Mundial. 2017. Project MainStream, Urban Biocycles. System Initiative on Environment and Natural Resource Security. En colaboración con Ellen MacArthur Foundation, 32 págs.

Foro Económico Mundial. 2020. Plastics, the Circular Economy and Global Trade. White Paper, 22 págs.

Forrest, A., Giacovazzi, L., Dunlop, S., Reisser, J., Tickler, D., Jamieson, A. y Meeuwig, J. J. 2019. Eliminating Plastic Pollution: How a Voluntary Contribution From Industry Will Drive the Circular Plastics Economy. *Frontiers in Marine Science, 6*.

Froger, G., Boisvert, V., Méral, P., Coq, J.-F. L., Caron, A. y Aznar, O. 2015. Market-Based Instruments for Ecosystem Services between Discourse and Reality: *An Economic and Narrative Analysis.* Sustainability [en línea], 7, 10.3390/su70911595, 11595-11611 págs.

Frosch, R. A. y Gallopoulos, N. E. 1989. *Strategies for Manufacturing. Scientific American,* 261, 144-152. https://doi.org/10.1038/scientificamerican0989-144

GESAMP. 2021. *Sea-based sources of marine litter. En:* Gilardi, K., ed. Grupo Mixto de Expertos OMI/FAO/UNESCO-COI/OMM/OMS/OIEA/Naciones Unidas/PNUMA/PNUD/ISA sobre los Aspectos Científicos de la Protección del Medio Marino, GESAMP Grupo de trabajo 43, 2021. Report and Studies No 108, 109 págs. Disponible en http://www.gesamp.org/publications/sea-based-sources-of-marine-litter

Geyer, R., Jambeck, J. R. y Law, K. L. 2017. Production, use, and fate of all plastics ever made. *Science Advances*, 3(7), e1700782. https://doi.org/10.1126/sciadv.1700782

Geyer, R. 2020. Chapter 2 - Production, use, and fate of synthetic polymers. En: Letcher, T. M., ed. *Plastic Waste and Recycling*, 13-32. Academic Press, 13-32 págs. Disponible en www.sciencedirect.com/science/article/pii/B9780128178805000025

Gharfalkar, M., Court, R., Campbell, C., Ali, Z. y Hillier, G. 2015. Analysis of waste hierarchy in the European waste directive 2008/98/EC. *Waste Management*, 39, 305-313. https://doi.org/10.1016/j.wasman.2015.02.007

Ghisellini, P., Cialani, C. y Ulgiati, S. 2016. A review on circular economy: the expected transition to a balanced interplay of environmental and economic systems. *Journal of Cleaner Production*, 114, 11-32. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2015.09.007

Giskes, I., Baziuk, J., Pragnell-Raasch, H. y Perez Roda, A. 2022. *Informe sobre buenas prácticas para prevenir y reducir la basura plástica marina procedente de las actividades pesqueras*. OMI, F. a., Roma, Italia, Londres, Inglaterra, 95 págs.

Goodship, V. 2007. Plastic Recycling. *Science Progress*, 90(4), 245-268. 10.3184/003685007X228748

Hahladakis, J. N. 2020. Delineating the global plastic marine litter challenge: clarifying the misconceptions. *Environmental Monitoring and Assessment*, 192(5), 267. https://doi.org/10.1007/s10661-020-8202-9

Hann, S. y Connock, T. 2020. *Chemical Recycling: State of Play*. Eunomia Research & Consulting Ltd, Report for CHEM Trust. Disponible en https://chemtrust.org/wpcontent/uploads/Chemical-Recycling-Eunomia.pdf, 70 págs.

Hardman, L. 2021. New technology to identify plastics is helping to recycvle ghost nets. 29 July 2021. The Plastic Collective Pty. Ltd. New Technology to Identify Plastics is Helping to Recycle Ghost Nets - Plastic Collective.

He, P. y Suuronen, P. 2018. Technologies for the marking of fishing gear to identify gear components entangled on marine animals and to reduce abandoned, lost or otherwise discarded fishing gear. *Marine Pollution Bulletin*, 129(1), 253-261. https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2018.02.033

He, P., Chopin, F., Suuronen, P., Ferro, R. S. T. y Lansley, J. 2021. C*lasificación y definición ilustrada de los artes de pesca*. FAO Documento Técnico de Pesca y Acuicultura, 110 págs.

He, P. y Lansley, J. 2022. *Operationalization of FAO Voluntary Guidelines for the Marking of Fishing Gear in the Indian Ocean Tuna Commission (IOTC) area of competence*. FAO Circular de Pesca y Acuicultura No. 1261. Roma, FAO. Disponible en https://doi.org/10.4060/cc2889en, 79 págs.

He, P. y Lansley, J. 2023. *Voluntary Guidelines on the Marking of Fishing Gear – A framework for conducting a risk assessment for a system on the marking of fishing gear.* Suppl. 1. FAO, Roma, Italia. Disponible en https://doi.org/10.4060/cc4084en, 85 págs.

Helbig, C., Huether, J., Joachimsthaler, C., Lehmann, C., Raatz, S., Thorenz, A., Faulstich, M. y Tuma, A. 2022. A terminology for downcycling. *Journal of Industrial Ecology*, 26(4), 1164-1174. https://doi.org/10.1111/jiec.13289

Hendricks, C. H. F. y Te Dordthorst, B. J. H. 2001. *Re-use of constructions at different levels: construction, element or material*. Paper presented at the CIB World Building Congress. Wellington, Nueva Zelanda, 11 págs.

Hillier, A., Awais, M., Adams, N., Zvorufura, T., Hyndman, N. y James, L. 2022. *Recycling Solutions for End-of-Life Fishing Rope in Newfoundland*. The Leslie Harris Centre of Regional Policy and Development, Memorial University, 67 págs.

Hodgson, S. 2022. *Aspectos jurídicos de los aparejos de pesca abandonados, perdidos o descartados*. Roma, F. a. I., Asociaciones GloLitter. Disponible en https://doi.org/10.4060/cb8071en, 76 págs.

Horiba Scientific. 2023a. What is Raman Spectroscopy? Horiba Scientific. Disponible en https://www.horiba.com/int/scientific/technologies/raman-imaging-and-spectroscopy/raman-spectroscopy/

Horiba Scientific. 2023b. Rapid Polymer Identification of Fishing Gear Using Raman Spectroscopy. Raman. Disponible en https://static.horiba.com/fileadmin/Horiba/Application/Energy/Environmental_Countermeasures/Rapid_Polymer_Identification_of_Fishing_Gear_Using_Raman_rev1_01.pdf, 3 págs.

Huang, X., Atasu, A. y Toktay, L. B. 2019. Design Implications of Extended Producer Responsibility for Durable Products. *Management Science*, 65(6), 2573-2590. https://doi.org/10.1287/mnsc.2018.3072

Hunt, R. y Charter, M. 2016. *Potential applications of 3D Printing (3DP) in the recycling of Fishing Nets & Ropes (FNR's)*. Circular Ocean report (Circular Ocean WP3.1). Centro para el Diseño Sostenible, Universidad para las Artes Creativas, 20 págs.

Hunt, R. 2016a. *3D Printing Applications for Creating Products Made From Reclaimed Fishing Nets. Circular Ocean report*. Centro para el Diseño Sostenible, Universidad para las Artes Creativas. Sustainable Innovation 2016, Circular Economy Innovation & Design, 21st International Conference 7-8 de noviembre de 2016, 19 págs.

Hunt, R. 2016b. *3D Printing Applications for Creating Products Made from Reclaimed Fishing Gear*. Circular Ocean report. Centro para el Diseño Sostenible, Universidad para las Artes Creativas. Sustainable Innovation 2016, 21 págs.

Huntington, T. 2019. *Marine Litter and Aquaculture Gear*. White Paper. Informe producido por Poseidon Aquatic Resources Management Ltd para el Consejo de Administración de la Acuicultura. Disponible en https://www.asc-aqua.org/wp-content/uploads/2019/11/ASC_Marine-Litter-and-Aquaculture-Gear-November-2019.pdf, 34 págs.

ISO. 2008. Plastics - Guidelines for the recovery and recycling of plastics waste (ISO 15270:2008). Comité Técnico: ISO/TC 61/SC 14 Aspectos ambientales, Ginebra, Suiza, 14 págs.

ISO. 2016. Environmental labels and declarations (ISO 14021:2016). Self-declared environmental claims (Type II environmental labelling) (ISO 2016). Organización Internacional de Normalización (ISO), Comité Técnico (TC) ISO/TC 207/SC 3 Etiquetas ambientales, Ginebra, Suiza, 27 págs.

Jenkins, A. D., Kratochvíl, P., Stepto, R. F. T. y Suter, U. W. 1996. Glossary of basic terms in polymer science (IUPAC Recommendations 1996). 68(12), 2287-2311. https://doi.org/10.1351/pac199668122287

Kirchherr, J., Reike, D. y Hekkert, M. 2017. Conceptualizing the circular economy: An analysis of 114 definitions. *Resources, Conservation and Recycling*, 127, 221-232. https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2017.09.005

Ko Win Yang Industrial. 2023. Fish net PA-turn-key recycling washing line. Disponible en www.kowinrecycle.com/Fishnet-Waste-Turn-Key-Washing-Recycling-Line.html. PA fish net, waste yarn washing completely recycling line.

Kolodezhnaya, E. V., Garkavi, M. S. y Novikova, N. G. 2019. Features of material composition of slag incineration plants. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 687(6), 066006. https://doi.org/10.1088/1757-899x/687/6/066006

Korhonen, J., Honkasalo, A. y Seppälä, J. 2018. Circular Economy: The Concept and its Limitations. *Ecological Economics*, 143, 37-46. https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2017.06.041

Kothari, R., Kumar, V. y Tyagi, V. 2011. Assessment of waste treatment and energy recovery from dairy industrial waste by anaerobic digestion. *The IIOAB Journal*, 2(1), 1-6.

Koyuncu, B., Hoffman, M., Rateau, F. y Vahk, J. 2021. *Chemical Recycling and Recovery* - Recommendations to categorise thermal decomposition of plastic waste to molecular level feedstock as chemical recovery. Zero Waste Europe. Disponible en https://zerowasteeurope.eu/wp-content/uploads/2021/12/December2021_ZWE_Chemical_Recycling_position_paper.pdf, 7 págs.

Kunwar, B., Cheng, H. N., Chandrashekaran, S. R. y Sharma, B. K. 2016. Plastics to fuel: a review. *Renewable and Sustainable Energy* Reviews, 54, 421-428. https://doi.org/10.1016/j.rser.2015.10.015

Langedal, G., Aarbakke, B., Larsen, F. y Stadig, C. 2020. *Clean Nordic Oceans main report* – a network to reduce marine litter and ghost fishing. Nordic Council of Ministers, 56 págs.

Langenheim, J. 2019. The Cameroonians turning discarded fishing nets into opportunity. National Geographic, Creative Works. Disponible en https://www.nationalgeographic.com/environment/article/partner-content-prada-renylon-lakeossa-cameroon

Lansink, A. 1979. Tweede Kamer, 1979–1980, Rijksbegroting voor het jaar 1980 (en holandés). Hoofdstuk XVII, 15800, nr. 21.

Lansink, A. 2018. Challenging Changes – Connecting Waste Hierarchy and Circular Economy. *Waste Management & Research*, 36(10), 872-872. https://doi.org/10.1177/0734242X18795600

Lavee, D. 2010. A cost-benefit analysis of a deposit–refund program for beverage containers in Israel. *Waste Management*, 30(2), 338-345. https://doi.org/10.1016/j.wasman.2009.09.026

Lebreton, L., Slat, B., Ferrari, F., Sainte-Rose, B., Aitken, J., Marthouse, R., Hajbane, S., Cunsolo, S., Schwarz, A., Levivier, A., Noble, K., Debeljak, P., Maral, H., Schoeneich-Argent, R., Brambini, R. y Reisser, J. 2018. Evidence that the Great Pacific Garbage Patch is rapidly accumulating plastic. *Scientific Reports*, 8(1), 4666. https://doi.org/10.1038/s41598-018-22939-w

Lindhqvist, T. 1992. Extended Producer Responsibility as a Strategy to Promote Cleaner Products. Department of Industrial Environmental Economics, Universidad de Lund, 5 págs.

Lindhqvist, T. 2000. Extended Producer Responsibility in Cleaner Production: Policy Principle to Promote Environmental Improvements of Product Systems. International Institute for Industrial Environmental Economics (IIIEE), Tesis doctoral, Universidad de Lund, 197 págs.

Macfadyen, G., Huntington, T. y Cappell, R. 2009. *Aparejos de pesca abandonados, perdidos o descartados*. Informes y Estudios del Programa de Mares Regionales del PNUMA, No. 185. FAO Documento Técnico de Pesca y Acuicultura No. 523, 115 págs.

Maier, C. y Calafut, T. 1998. 16 - Extrusion. En: Maier, C. & Calafut, T., eds. *Polypropylene,* 205-221. Norwich, NY, William Andrew Publishing, 205-221 págs. Disponible en https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/B9781884207587500217

Mannaart, M. y Bentley, A. 2022. Fishing for Litter: From the implementation of practical actions locally, to its spin-offs and the adoption of a new legally adopted waste type at continental scale, a success story. *Marine Policy,* 145, 105256. https://doi.org/10.1016/j.marpol.2022.105256

Manzuch, Z., Akelyte, R., Camboni, M. y Carlander, D. 2021. *Chemical Recycling of Polymeric Materials from Waste in the Circular Economy*. Final Report (ECHA/2020/571) Preparado para la Agencia Europea de Sustancias y Preparados Químicos (RPA Europe), 145 págs.

Mazzoni, L. y Janajreh, I. 2017. Plasma gasification of municipal solid waste with variable content of plastic solid waste for enhanced energy recovery. *International Journal of Hydrogen Energy*, 42(30), 19446-19457. https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2017.06.069

Merrington, A. 2017. 9 - *Recycling of Plastics. En: Kutz, M., ed. Applied Plastics Engineering Handbook (Second Edition)*, 167189. William Andrew Publishing, 167189 págs. Disponible en https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/B9780323390408000092

Morishige, C. 2010. *Marine Debris Prevention Projects and Activities in the Republic of Korea and United States*: A compilation of project summary reports. Memorando Técnico de la NOAA (NOS-OR&R-36), 79 págs.

MSC. 2022. *Marine Stewardship Council (MSC) Fisheries Standard*. MSC Guidance to the Fisheries Standard v3.0. Disponible en https://www.msc.org/docs/default-source/default-document-library/for-business/program-documents/fisheries-program-documents/msc-fisheries-standard-v3-0.pdf?sfvrsn=53623a3_31, 264 págs.

Naciones Unidas. 2023. Transformar nuestro mundo: la Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible. Naciones Unidas, Nueva York. Disponible en https://sdgs.un.org/2030agenda

Nédelec, C. y Prado, J. 1990. *Definición y clasificación de las diversas categorías de artes de pesca*. FAO Documento Técnico de Pesca 222, Revisión 1, 92 págs.

NOAA. 2023a. Fishing for Energy Infographic. Estados Unidos, Oficina Nacional de Administración Oceánica y Atmosférica (NOAA). Disponible en https://marinedebris.noaa.gov/sites/default/files/ffe-infographic-03312020.png

NOAA. 2023b. Hawai'i Nets to Energy Program. Estados Unidos, Oficina Nacional de Administración Oceánica y Atmosférica (NOAA). NOAA Marine Debris Program. Office of Response and Restoration. Disponible en https://marinedebris.noaa.gov/prevention/hawaii-nets-energy-program

NRDC. 2022. Recycling Lies: 'Chemical recycling' of plastic is just greenwashing incineration. NRDC Issue Brief. Disponible en https://www.nrdc.org/sites/default/files/chemical-recycling-greenwashing-incineration-ib.pdf, 11 págs.

OCDE. 2001. *Extended Producer Responsibility: A Guidance Manual for Governments.* Publicaciones de la OCDE, París, https://doi.org/10.1787/9789264189867-en, 159 págs.

Ocean Conservancy. 2022. Ocean Conservancy spearheads 'Pyrolysis, gasification and other chemical recycling technologies are just a fancy way to say, 'burning plastics for energy'. Congressional push for EPA regulation of chemical recycling. Disponible en https://oceanconservancy.org/news/ocean-conservancy-chemical-recycling-epa/

Odyssey Innovation. 2023a. Free port reception facilities for unwanted fishing gear and other plastic waste in the UK. Disponible en www.odysseyinnovation.com

Odyssey Innovation. 2023b. Materials produced from recycled unwanted fishing gears. Disponible en www.odysseyinnovation.com

Olive Ridley Project. 2023. Ghost Leash – A dog leash made of ghost net. Olive Ridley Project (ORP). Clitheroe, R.U. Citado, 31 de mayo de 2023. Disponible en https://www.oliveridleyproject.org/ghost-leash

OMI. 2016. Resolución MEPC.277(70) (adoptada el 28 de octubre de 2016) que enmienda el Anexo del Convenio internacional para prevenir la contaminación por los buques, 1973, modificado por el Protocolo de 1978 relativo al mismo. *Organización Marítima Internacional, Resolución* MEPC.277(70), 8 págs.

OMI. 2018. *Se adopta un plan para abordar el problema de la basura plástica marina.* Organización Marítima Internacional (OMI), 30 de octubre de 2018. Disponible en https://www.imo.org/es/MediaCentre/PressBriefings/Pages/20-marinelitteractionmecp73.aspx

Oosterhuis, F., Papyrakis, E. y Boteler, B. 2014. Economic instruments and marine litter control. *Ocean & Coastal Management*, 102, 47-54. https://doi.org/10.1016/j.ocecoaman.2014.08.005

Ourgoodbrands. 2021. *100% recycled plastic fashion from the oceans. EcoALF, Turning plastic bottle trash from the ocean into high quality fashion*. Disponible en https://ourgoodbrands.com/ecoalf-100-recycled-plastic-fashion-oceans/

Plastics Europe. 2023. Recycling Technologies. Disponible en https://plasticseurope.org/sustainability/circularity/recycling/recycling-technologies/#:~:text=Mechanical%20recycling%20refers%20to%20the,or%20no%20impact%20on%20quality

PNUD. 2016. *Transformar nuestro mundo*: la Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible. Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo.

PNUMA. 2016. *Marine Plastic Debris and Microplastics*: Global Lessons and Research to Inspire Action and Guide Policy Change. Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA), Job No DEP/2010/NA, 274 págs.

PNUMA y Grid-Arendal. 2016. *Marine litter: Vital graphics*. Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA) y GRID-Arendal. Nairobi y Arendal, 60 págs.

PNUMA. 2021a. *From Pollution to Solution*: A global assessment of marine litter and plastic pollution. Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA), 148 págs.

PNUMA. 2021b. *Drowning in Plastics - Marine Litter and Plastic Waste Vital Graphics.* Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA), Job No DEP/2386/NA, 77 págs.

Potting, J., Hekkert, M. P., Worrell, E. y Hanemaaijer, A. 2017. Circular economy: measuring innovation in the product chain. Planbureau voor de Leefomgeving, 46 págs.

Prędki, P., Kalinowska, M. y Migdał, S. 2019. *Derelict fishing gear mapping and retrieval methodologies*. Interreg Baltic Sea Region Programme 2014-2020, MARELITT Baltic Project report, 120 págs.

Psomopoulos, C. S., Bourka, A. y Themelis, N. J. 2009. Waste-to-energy: A review of the status and benefits in USA. *Waste Management*, 29(5), 1718-1724. https://doi.org/10.1016/j.wasman.2008.11.020

PTT Global Chemical. 2023. The Upcycling the Oceans, Thailand project. PTT Global Chemical. Disponible en https://sustainability.pttgcgroup.com/en/projects/10/the-upcycling-the-oceans-thailand-project

Ragaert, K., Delva, L. y Van Geem, K. 2017. Mechanical and chemical recycling of solid plastic waste. *Waste Management*, 69, 24-58. https://doi.org/10.1016/j.wasman.2017.07.044

Reglamento (CE) 1224/2009. 2009. Reglamento (CE) 1224/2009 del Consejo, de 20 de noviembre de 2009, por el que se establece un régimen comunitario de control para garantizar el cumplimiento de las normas de la política pesquera común, se modifican los Reglamentos (CE) No 847/96, (CE) No 2371/2002, (CE) No 811/2004, (CE) No 768/2005, (CE) No 2115/2005, (CE) No 2166/2005, (CE) No 388/2006, (CE) No 509/2007, (CE) No 676/2007, (CE) No 1098/2007, (CE) No 1300/2008 y (CE) No 1342/2008 y se derogan los Reglamentos (CEE) No 2847/93, (CE) No 1627/94 y (CE) No 1966/2006. L 343, 22 de diciembre de 2009, Diario Oficial de la Unión Europea, 50 págs.

Rezaie, S., Englund, M., Vanhuyse, F., Melati, K., Jintarith, P., Nikam, J. y Fadhila, A. 2022. *Accelerating the transition to a circular economy through impactful and actionable research*. Stockholm Environment Institute (https://doi.org/10.51414/sei2022.008), 24 págs.

Richardson, K., Gunn, R., Wilcox, C. y Hardesty, B. D. 2018. Understanding causes of gear loss provides a sound basis for fisheries management. *Marine Policy*, 96, 278-284. https://doi.org/10.1016/j.marpol.2018.02.021

Richardson, K., Wilcox, C., Vince, J. y Hardesty, B. D. 2021. Challenges and misperceptions around global fishing gear loss estimates. *Marine Policy*, 129, 104522. https://doi.org/10.1016/j.marpol.2021.104522

Richardson, K., Hardesty, B. D., Vince, J. y Wilcox, C. 2022. Global estimates of fishing gear lost to the ocean each year. *Science Advances*, 8(41), eabq0135. https://doi.org/10.1126/sciadv.abq0135

Sahajwalla, V. y Gaikwad, V. 2018. The present and future of e-waste plastics recycling. *Current Opinion in Green and Sustainable Chemistry*, 13, 102-107. https://doi.org/10.1016/j.cogsc.2018.06.006

Sala, A., Lucchetti, A. y Buglioni, G. 2004. The change in physical properties of some nylon (PA) netting samples before and after use. *Fisheries Research*, 69(2), 181-188. https://doi.org/10.1016/j.fishres.2004.05.005

Schneider, F. 2020. A Life Cycle Assessment (LCA) on the retrieval and waste management of derelict fishing gear. PhD Doctor of Philosophy thesis, University of Bath, Department of Mechanical Engineering, Water Innovation and Research Centre (WIRC), 214 págs.

Schneider, F., Parsons, S., Clift, S., Stolte, A., Krüger, M. y McManus, M. 2023. Life cycle assessment (LCA) on waste management options for derelict fishing gear. *The International Journal of Life Cycle Assessment*, 28(3), 274-290. 10.1007/s11367-022-02132-y

Schwarz, A. E., Ligthart, T. N., Godoi Bizarro, D., De Wild, P., Vreugdenhil, B. y van Harmelen, T. 2021. Plastic recycling in a circular economy; determining environmental performance through an LCA matrix model approach. *Waste Management*, 121, 331342. https://doi.org/10.1016/j.wasman.2020.12.020

Serranti, S. y Bonifazi, G. 2019. *2 - Techniques for separation of plastic wastes. En*: Pacheco-Torgal, F., Khatib, J., Colangelo, F. & Tuladhar, R., eds. Use of Recycled Plastics in Eco-efficient Concrete, 9-37. Woodhead Publishing, 9-37 págs. Disponible en www.sciencedirect.com/science/article/pii/B9780081026762000025

Sharuddin, S. D. A., Abnisa, F., Daud, W. M. A. W. y Aroua, M. K. 2018. Pyrolysis of plastic waste for liquid fuel production as prospective energy resource. IOP Conference Series: *Materials Science and Engineering*, 334(1), 012001. 10.1088/1757-899X/334/1/012001

Sihvonen, S. y Ritola, T. 2015. Conceptualizing ReX for Aggregating End-of-life Strategies in Product Development. *Procedia CIRP*, 29, 639-644. https://doi.org/10.1016/j.procir.2015.01.026

Simon, J. M. 2019. *A Zero Waste hierarchy for Europe* [en línea]. Disponible en https://zerowasteeurope.eu/2019/05/a-zero-waste-hierarchy-for-europe/

Simon, J. M. y Martin, S. 2019. El Dorado of Chemical Recycling - State of play and policy challenges. *Zero Waste Europe* (zerowasteeurope.eu), 27 págs.

Singh, N., Hui, D., Singh, R., Ahuja, I. P. S., Feo, L. y Fraternali, F. 2017. Recycling of plastic solid waste: A state of art review and future applications. *Composites Part B: Engineering*, 115, 409-422. https://doi.org/10.1016/j.compositesb.2016.09.013

Solis, M. y Silveira, S. 2020. Technologies for chemical recycling of household plastics – A technical review and TRL assessment. *Waste Management*, 105, 128-138. https://doi.org/10.1016/j.wasman.2020.01.038

Speight, J. G. 2019. 3 - Unconventional gas. En: Speight, J. G., ed. *Natural Gas (Second Edition)*, 59-98. Boston, Gulf Professional Publishing, 59-98 págs. Disponible en www.sciencedirect.com/science/article/pii/B9780128095706000035

Stöfen-O'Brien, A., Ambrose, K. K., Alleyne, K. S. T., Lovell, T. A. y Graham, R. E. D. 2022. Parachute science through a regional lens: Marine litter research in the Caribbean Small Island Developing States and the challenge of extra-regional research. *Marine Pollution Bulletin*, 174, 113291. https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2021.113291

Stolte, A., Lamp, J., Dederer, G. y Schneider, F. 2018. *Recycling options for derelict fishing gear*. Interreg Baltic Sea Region Programme 2014-2020, Project report, 105 págs.

Stolte, A., Lamp, J., Dederer, G. y Schneider, F. 2019. *A treatment scheme for derelict fishing gear*. Interreg Baltic Sea Region Programme 2014-2020, MARELITT Baltic Project report, 32 págs.

Sung, K. 2015. A review on upcycling: current body of literature, knowledge gaps and a way forward. *En:* The ICECESS 2015, ed. 17th International Conference on Environmental, Cultural, Economic and Social Sustainability, Venecia, Italia, 13-14 de abril de 2015, 2015. World Academy of Science, Engineering and Technology (WASET), 13 págs.

Swedish Agency for Marine and Water Management. 2022. Producer responsibility for fishing gear. Disponible en www.havochvatten.se/en/facts-and-leisure/environmental-impact/producer-responsibility-for-fishing-gear.html

Swedish Environmental Protection Agency. 2023. Producer responsibility for fishing gear. Disponible en www.naturvardsverket.se/vagledning-och-stod/producentansvar/producentansvar-for-fiskeredskap

Ten Brink, P., Lutchman, I., Bassi, S., Speck, S., Sheavly, S., Register, K. y Woolaway, C. 2009. *Guidelines on the Use of Market-based Instruments to Address the Problem of Marine Litter*. Instituto para una Política Europea del Medio Ambiente (IEEP), Bruselas, Bélgica, y Sheavly Consultants, Virginia Beach, Virginia, EE.UU., 60 págs.

The Consumer Goods Forum. 2022. *Chemical Recycling in a Circular Economy for Plastics*. A Vision and Principles Paper, 33 págs.

TrinamiX GmBH. 2023. TrinamiX's Mobile NIR Spectroscopy Solution. Identify plastic types at the push of a button. Anytime, anywhere. trinamiX Mobile NIR Spectroscopy Solution for Plastic Sorting / trinamiX GmBH (trinamixsensing.com).

UICN, Searious Business, Iniciativa Global contra las Redes de Pesca Fantasmas, PNUMA y Ellen MacArthur Foundation. 2021. Position paper: Advocating Extended Producer Responsibility for fishing gear. La Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza (UICN), Searious Business, la Iniciativa Global contra las Redes de Pesca Fantasmas (GGGI) y el Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA) en consulta con la Organización Mundial del Comercio (OMC), la Conferencia de las Naciones Unidas sobre Comercio y Desarrollo (UNCTAD), la Unión Europea y el WWF Alemania, 6 págs.

Van Fan, Y., Friedler, F., Tan, R. R. y Varbanov, P. S. 2022. Reducing resource use and emissions by integrating technology and policy solutions. *Clean Technologies and Environmental Policy*, 24(1), 1-2. https://doi.org/10.1007/s10098-021-02237-2

Van Meel, G. 2022. *Establishing port reception facilities for plastic waste*: tools to undertake economic assessments and technoeconomic feasibility studies. Organización Marítima Internacional (OMI), GloLitter Partnerships, 77 págs.

Wong, A. M. 2022. Valued waste/wasted value: Waste, value and the labour process in electronic waste recycling in Singapore and Malaysia. *Geography Compass*, 16(4), e12616. https://doi.org/10.1111/gec3.12616

WWF e IEEP. 2020. How to implement Extended Producer Responsibility (EPR) - A briefing for governments and businesses. Fondo Mundial para la Naturaleza (WWF) e Instituto para una Política Europea del Medio Ambiente (IEEP), 34 págs.

WWF. 2020. Ghost Gear Legislation analysis. Informe de Ocean Outcomes, Iniciativa Global contra las Redes de Pesca Fantasmas (GGGI) y Fondo Mundial para la Naturaleza (WWF), 56 págs.

Yan, J. y Feng, C. 2014. Sustainable design-oriented product modularity combined with 6R concept: a case study of rotor laboratory bench. **Clean Technologies and Environmental Policy**, 16(1), 95-109. https://doi.org/10.1007/s10098-013-0597-3

Yassin, L., Lettieri, P., Simons, S. y Germanà, A. 2005. Energy recovery from thermal processing of waste: A review. Proceedings of the Institution of Civil Engineers: *Engineering Sustainability*, 2005. 97-103.

Zhang, C., Hu, M., Di Maio, F., Sprecher, B., Yang, X. y Tukker, A. 2022. An overview of the waste hierarchy framework for analyzing the circularity in construction and demolition waste management in Europe. *Science of The Total Environment*, 803, 149892. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.149892

Zheng, J. y Suh, S. 2019. Strategies to reduce the global carbon footprint of plastics. *Nature Climate Change*, 9(5), 374-378. https://doi.org/10.1038/s41558-019-0459-z

Zhu, J.-B., Watson, E. M., Tang, J. y Chen, E. Y. X. 2018. *A synthetic polymer system with repeatable chemical recyclability*. Science, 360(6387), 398-403. https://doi.org/10.1126/science.aar5498

Zia, K. M., Bhatti, H. N. y Ahmad Bhatti, I. 2007. Methods for polyurethane and polyurethane composites, recycling and recovery: A review. *Reactive and Functional Polymers*, 67(8), 675-692. https://doi.org/10.1016/j.reactfunctpolym.2007.05.004

Zych, A. 2020. *Extended Producer Responsibility Schemes* - What role for fishing gear producers?, Bruselas, 18 de febrero de 2020. Landbell Group. Disponible en https://webgate.ec.europa.eu/maritimeforum/en/system/files/landbell_aneta_zych_epr_schemes.pdf, 17 págs.

Anexo 1. Descripción de los principales procesos de reciclaje terciario

En este anexo se describen con mayor detalle los principales procesos de reciclaje terciario expuestos en la Sección 1.2.4.2. Estos procesos incluyen la despolimerización (Anexo 1.1), la conversión térmica (Anexo 1.2, observando que en algunas regiones como Europa no se incluyen estos procesos como reciclaje) y la disolución/purificación con disolventes (Anexo 1.3, observando que hay diversidad de opiniones en cuanto a si debería incluirse como reciclaje secundario o terciario). En el **Cuadro A1** se resumen también las ventajas e inconvenientes de estas tecnologías.

ANEXO 1.1. DESPOLIMERIZACIÓN

La despolimerización utiliza calor y agentes químicos para descomponer los polímeros de los residuos plásticos clasificados previamente en sus monómeros constituyentes o fragmentos más cortos de polímeros (conocidos como oligómeros). Los contaminantes restantes se eliminan tras la despolimerización de modo que los monómeros y oligómeros resultantes puedan utilizarse como materias primas secundarias para la producción de plásticos (CEFIC, 2023a; *The Consumer Goods Forum*, 2022). Los monómeros producidos actúan como componentes básicos para la producción de plásticos y, por ello, los productos plásticos creados a partir de la despolimerización son casi idénticos a los plásticos vírgenes por lo que se refiere a sus cualidades físicas y químicas.

La despolimerización requiere polímeros individuales, recogidos de manera separada y preclasificados (es decir, polímeros monocomponentes) en forma de polímeros de "condensación" (o policondensados),[24] los cuales incluyen poliésteres (PET), poliamidas (PA, como el nilón) y poliuretanos (PU). Por lo general, la despolimerización no puede aceptar muchos polímeros de "adición",[25] como el polietileno (PE), el polipropileno (PP) y el policloruro de vinilo (PVC) (BPF, 2023; *The Consumer Goods Forum*, 2022). Por tanto, esta tecnología de reciclaje químico **se limita a artes de pesca preclasificadas de un solo polímero compuesto de policondensados**, y no está disponible para otras artes compuestas de polímeros mixtos o de adición. A la fecha de este informe, la despolimerización es el único proceso que emplea el reciclaje químico para reciclar artes de pesca a gran escala y utiliza el flujo de materiales secundarios para la producción de fibras de alta calidad que pueden utilizarse en artes de pesca nuevas.

A escala industrial, la despolimerización es una tecnología ampliamente aplicada que requiere instalaciones de tamaño suficiente para un volumen adecuado de flujos de entrada y suficiente material de entrada para ser viable desde el punto de vista económico (Simon y Martin, 2019). Por consiguiente, puede ser difícil de llevar a cabo a pequeña escala y, dependiendo de la cantidad de residuos sólidos que necesitan ser reciclados y la infraestructura y los recursos disponibles, no siempre resulta viable desde el punto de vista económico (Comisión Europea, 2020a). Esto puede conllevar

[24] Proceso de polimerización en el que los monómeros se unen con una pequeña molécula, como agua o metanol, que se pierde como subproducto (Clark, 2021).

[25] Polímeros de doble enlace formados por reacciones de enlace/cadena con otros monómeros sin producción de subproductos (Bishop, 2013).

limitaciones para el reciclaje de artes de pesca si el suministro total de EOLFG recogidas o ALDFG recuperados (limpios y clasificados) no es suficiente para la gran escala industrial necesaria. Es más probable que se utilicen soluciones de infraestructuras de reciclaje centralizadas para los procesos de despolimerización que requieren volúmenes más grandes de flujos de residuos de artes de pesca no deseadas, en comparación con las soluciones descentralizadas a pequeña escala (véase la Sección 1.3.4 sobre Infraestructura de gestión de residuos centralizada y descentralizada).

ANEXO 1.2. CONVERSIÓN TÉRMICA

Existe una variedad de procesos de conversión térmica. Los principales procesos disponibles para las EOLFG y los ALDFG recuperados incluyen la **pirólisis** y la **gasificación** (incluido el reformado con vapor), que pueden utilizarse para **polímeros mixtos y más contaminados**. Por lo tanto, las EOLFG de polímeros mixtos o más contaminadas y los ALDFG recuperados que no pueden ser reciclados mediante procesos mecánicos (primario y secundario) o despolimerización (terciario) pueden ser procesados usando estas tecnologías de conversión térmica.

La **pirólisis** también suele denominarse "craqueo térmico"[26] y utiliza calor en condiciones anóxicas (es decir, sin oxígeno) para transformar los insumos de materiales plásticos secos en hidrocarburos básicos. Estos se transforman posteriormente en una variedad de productos, incluidos aceites, gases ligeros (utilizados a veces para alimentar actividades de tratamiento térmico) y cenizas (en forma de "coque" para su eliminación) (BPF, 2023; *The Consumer Goods Forum*, 2022). Los aceites producidos a partir de la pirólisis pueden utilizarse como fuentes de energía basadas en combustibles (*The Consumer Goods Forum*, 2022).[27] Las fracciones relativas de componentes sólidos, líquidos y gaseosos se determinan mediante la temperatura, las curvas de calentamiento y enfriamiento y el tiempo.

La materias primas de polímeros objetivo de la pirólisis incluyen el polietileno (PE), el polipropileno (PP), el polibutileno (PB), el poliestireno (PS) y el polimetilmetacrilato (PMMA) (BPF, 2023). Mientras que los procesos de pirólisis son adecuados para los flujos de residuos contaminados y de polímeros mixtos más complicados que no pueden ser reciclados mediante procesos de reciclaje mecánico (primario y secundario), algunos polímeros no objetivo, como el tereftalato de polietileno (PET), la poliamida (PA) y el policloruro de vinilo (PVC), pueden dar lugar a subproductos y emisiones no deseados y a veces peligrosos. Como muchas artes de pesca no deseadas están compuestas de PET y PA, se ha manifestado preocupación con respecto a la necesidad de abordar los altos niveles de toxicidad que resultan si estos polímeros se someten a pirólisis (Stolte y Schneider, 2018). La presencia de estos polímeros no objetivo puede exigir requisitos de niveles máximos de insumos de estos polímeros,[28] así como etapas de limpieza o filtración posteriores a la combustión. Las grandes cargas de sal y otros contaminantes encontrados en los materiales de EOLFG y ALDFG recuperados también exigen garantías de que no se transfiere ningún contaminante a los productos objetivo y los aceites, cenizas (coque) y gases resultantes. En el caso de cloro y alta carga de metales, la limpieza de los gases de combustión y los procedimientos posteriores al lavado deben planearse de manera apropiada. Los metales residuales de las artes de pesca,

[26] Los procesos de pirólisis ocurren a temperaturas entre 400 °C y 800 °C (Dogu *et al.*, 2021).

[27] Como se menciona anteriormente en el informe, en Europa la definición de reciclaje químico sólo incluye la producción de sustancias que pueden utilizarse en la fabricación de productos (es decir, productos o materias primas) y no incluye la producción de combustibles. En otras regiones como América del Norte, el reciclaje químico sí incluye el combustible en la definición de productos "reciclados" (*Chemical Recycling Europe*, 2019).

[28] Por ejemplo, debido a que el tereftalato de polietileno (PET) se cristaliza en los tubos de condensación y puede atascar los canales de salida, algunos reactores de pirólisis utilizados a nivel industrial funcionan actualmente con mezclas de polímeros dominadas por poliolefinas con un máximo de 10% de PET en el material de entrada (Stolte *et al.*, 2018).

especialmente la contaminación por plomo asociada a las redes de enmalle perdidas, también pueden recuperarse en el residuo de cenizas sólidas de la pirólisis (coque), que puede procesarse posteriormente para el reciclaje de metales.

La **gasificación** utiliza altas temperaturas con cantidades limitadas de oxígeno para descomponer los insumos de residuos mixtos,[29] incluidos todos los tipos de plásticos, en gases sintéticos (es decir, gas de síntesis). Estos se componen de mezclas de hidrógeno (H_2), monóxido de carbono (CO) y dióxido de carbono (CO_2) (BPF, 2023; *The Consumer Goods Forum*, 2022). Normalmente se requiere una etapa de pretratamiento para eliminar la humedad de los materiales de desecho y aumentar su valor calorífico, así como un sistema de limpieza de gases antes de que el gas de síntesis pueda utilizarse para producir nuevas sustancias químicas. El gas de síntesis producido puede utilizarse en una variedad de aplicaciones, incluida la producción de sustancias químicas que pueden usarse en la producción de plásticos, así como combustibles que pueden quemarse para producir energía (BPF, 2023; *The Consumer Goods Forum*, 2022). Por lo general, la gasificación sólo se recomienda si otras tecnologías de reciclaje no son posibles, ya que estos procesos requieren grandes cantidades de energía debido a las altas temperaturas necesarias y a las múltiples etapas para asegurar la completa gasificación/combustión de los subproductos carbonizados (carbono fijo y ceniza).

Existe una variedad de tecnologías de gasificación, que varían, principalmente, en la etapa secundaria que ocurre tras la semipirólisis/vaporización inicial de la materia prima y la producción de subproductos carbonizados. Durante esta segunda etapa, el carbono restante puede quemarse con aire u oxígeno puro (lo que suele denominarse informalmente "**combustión**") para producir un gas combustible rico en nitrógeno y de baja unidad térmica británica (BTU) (procedente de la combustión del aire) o una mezcla de mayor calidad de monóxido de carbono (CO) e hidrógeno. El carbono también puede reaccionar con vapor a través de un proceso denominado normalmente "**reformado con vapor**" para producir un gas de síntesis rico en energía.

El **reformado con vapor** es un tipo de procesamiento hidrotérmico que se ha examinado como una opción prometedora para el reciclaje de EOLFG y ALDFG recuperados. El reformado con vapor es un método de vaporización a alta temperatura que utiliza la energía contenida en los polímeros u otros residuos orgánicos para separar los fuertes enlaces de hidrógeno entre las moléculas de agua y transformar estas moléculas en un gas de síntesis rico en energía (Stolte *et al.*, 2018).[30] El carbono residual se une al oxígeno, generando CO_2, o al hidrógeno, formando CH_4, dejando en gran parte partículas metálicas y sedimentos en el residuo sólido.

El reformado con vapor necesita un nivel de humedad de 25-30 % (Dogu *et al.,* 2021), por lo que puede utilizarse para objetos de EOLFG y ALDFG recuperados saturados de agua, ya que este proceso absorbe gran parte del agua que podría encontrarse empapada en estas artes. Por el contrario, el reformado con vapor de materiales secos requiere una inyección de agua que proporcione el oxígeno y el hidrógeno necesarios para descomponer los complejos de polímeros en moléculas gaseosas de carbono y oxígeno o de carbono e hidrógeno. **Cuando los materiales de EOLFG y ALDFG recuperados están mezclados y tienen un alto nivel de saturación de agua y un grado considerable de contaminación por plomo o materias orgánicas, el reformado con vapor puede ser un método útil para la valorización energética de estos materiales, además de recuperar cualquier componente de metal o plomo para su posterior reciclaje**. Las altas temperaturas empleadas en el reformado con vapor también pueden eliminar las emisiones nocivas que resultan de los procesos con temperaturas más

[29] Los procesos de gasificación ocurren normalmente a temperaturas entre 700 °C y 1 500 °C (IGES y ICLEI, 2021; BPF 2023).

[30] Los procesos de reformado con vapor ocurren a temperaturas entre 1 000 °C y 1 300 °C (Dogu *et al.*, 2021).

bajas, como la pirólisis, y que requieren procedimientos de filtración adicionales. Por ejemplo, los experimentos en los que se utilizó un reactor de reformado con vapor a temperatura ultra-alta (UHTH, por sus siglas en inglés) a 1 100 °C para tratar muestras de redes de enmalle muy contaminadas dieron lugar a la disolución de compuestos de cadena larga en sustancias químicas constituyentes básicas sin emisiones nocivas (Stolte *et al.* (2018)). No obstante, no es posible convertir el 100 % del valor calorífico de las materias primas en gas de síntesis y la proporción de energía que entra en el gas de síntesis no está clara en muchos procesos. Además, el contenido calorífico de algunas artes recicladas sólo es capaz de compensar parcialmente el elevado consumo de energía que requieren estos métodos de tratamiento térmico a altas temperaturas (Schneider, 2020).

ANEXO 1.3. DISOLUCIÓN/PURIFICACIÓN CON DISOLVENTES

En la disolución o purificación con disolventes (términos que suelen utilizarse indistintamente) se sumergen materiales de residuos plásticos preclasificados en disolventes selectivos junto con un poco de calor para disolver los plásticos en soluciones de sus polímeros constituyentes, y aditivos; las estructuras de los polímeros no sufren ninguna alteración. Tras la eliminación de los aditivos y cualquier contaminante, estos polímeros se reformulan con nuevos aditivos en productos de plástico nuevos (BPF, 2023; CEFIC, 2023b). Las tecnologías de disolución son todavía relativamente nuevas, en fases piloto y de desarrollo, y dependen en gran medida de disolventes que actúan de forma selectiva para separar los polímeros deseados. Las materias primas objetivo incluyen el policloruro de vinilo (PVC), el poliestireno (PS), el polietileno (PE) y el polipropileno (PP) (BPF, 2023; Dolan, 2022). Como se destaca en la Sección 1.2.4.2, según el conocimiento de los autores y en base a la investigación disponible, a la fecha de este informe la disolución no se ha probado para el reciclaje de artes de pesca. No obstante, se ha incluido en virtud de su aplicabilidad al reciclaje de plásticos y la posibilidad de que estas aplicaciones pueden probarse o ampliarse a las artes de pesca en el futuro.

Aunque esta tecnología de procesamiento de plásticos suele incluirse en las descripciones resumidas de los procesos de reciclaje químico (terciario), se trata realmente de un proceso físico y no químico. Por tanto, muchos sostienen que no debería incluirse en el marco de las tecnologías de reciclaje químico (véase la Sección 1.2.4.2). No obstante, su amplia inclusión y las frecuentes referencias a ella en la bibliografía técnica y la literatura gris, y por supuesto en los debates sobre reciclaje químico (Dolan, 2022; Hann y Connock, 2020; Manzuch *et al*., 2021; The Consumer Goods Forum, 2022), justifican su breve inclusión en este informe.

ANEXO 1.4. VENTAJAS E INCONVENIENTES DE LAS TECNOLOGÍAS DE RECICLAJE QUÍMICO

En el **Cuadro A1** se resumen las principales ventajas e inconvenientes de las tres tecnologías de reciclaje químico examinadas en este informe. Debido a que este cuadro se modificó de Hann y Connock, 2020, algunos de los términos son ligeramente distintos a los empleados anteriormente. La despolimerización química en el cuadro se refiere sobre todo al uso de la despolimerización (Anexo 1.1), la despolimerización térmica se refiere a las técnicas de pirólisis (Anexo 1.2) y la purificación con disolventes se refiere a la disolución/purificación con disolventes (Anexo 1.3). Este cuadro se incluye para resumir los procesos de reciclaje químico en líneas generales y no es específico de las artes de pesca.

CUADRO A1. RESUMEN DE LAS VENTAJAS E INCONVENIENTES DE LAS TECNOLOGÍAS DE RECICLAJE QUÍMICO

Despolimerización química		Despolimerización térmica		Purificación con disolventes	
Ventajas	**Inconvenientes**	**Ventajas**	**Inconvenientes**	**Ventajas**	**Inconvenientes**
Los monómeros resultantes pueden utilizarse para producir productos plásticos de igual calidad que sus equivalentes vírgenes. Ejemplos demostrados de sistemas que permiten la recuperación y la reutilización de reactivos químicos, como catalizadores y disolventes. Altos rendimientos demostrados para una variedad de tecnologías. Demostración de la viabilidad comercial para los insumos de botellas y fibras.	Las tecnologías suelen requerir flujos de residuos homogéneos como insumo, lo que a menudo exige amplias tecnologías de pretratamiento y clasificación. Falta de información con respecto a las cantidades de reactivos químicos y otros materiales suplementarios, como, por ejemplo, catalizadores. Falta de claridad en cuanto al consumo total de energía asociado con las tecnologías; los procesos suelen requerir un alto consumo de energía. Falta de información sobre el rendimiento a nivel de planta. Desconocimiento general del nivel de contaminación que pueden soportar las tecnologías y de cómo se tratan los contaminantes tras la purificación de los monómeros. Se presta poca atención a los insumos y subproductos peligrosos. Falta de datos verificados sobre el comportamiento ambiental de la mayoría de las tecnologías.	La tecnología puede aceptar normalmente mezclas más heterogéneas de residuos como insumo, pero a costa de la calidad y utilidad de los productos de salida (recuperación como combustible). Puede aplicarse a flujos de residuos que no pueden ser reciclados en la actualidad. Una vez purificados, los productos de salida pueden utilizarse para fabricar plásticos y otras sustancias químicas de alto valor y de igual calidad que las materias primas vírgenes. Se utilizan altas temperaturas para descontaminar eficazmente los insumos de residuos.	Requiere una fuente homogénea de residuos plásticos para proporcionar productos de salida de mayor nivel (es decir, monómeros). La naturaleza aleatoria del proceso de despolimerización da lugar a una compleja mezcla de productos, que requiere costosos sistemas de purificación para aislar los productos utilizables. Los resultados actuales de la despolimerización térmica están orientados a la producción de combustible de bajo costo. Falta de claridad en cuanto al reciclaje de subproductos y reactivos como parte del proceso. El craqueo al vapor del aceite de pirólisis para crear monómeros suele dar lugar a que una proporción del insumo se convierta en energía (recuperación) para hacer funcionar el proceso. Requiere la cadena de valor de los polímeros vírgenes existentes para producir monómeros. En la actualidad, la mayoría de los proveedores de la tecnología no dispone de datos sobre el comportamiento ambiental.	Se ha demostrado que separa las mezclas textiles de polialgodón. Se han probado con éxito disolventes respetuosos con el medio ambiente a escala de laboratorio. Por lo general, permite la recuperación del disolvente para su reutilización. Se ha demostrado que recupera subproductos no objetivo para su valorización.	En la actualidad, sólo puede tratar insumos de materiales de naturaleza principalmente homogénea. A menudo requiere rigurosas fases de preclasificación o pretratamiento para preparar la purificación. Suele requerir grandes cantidades de energía, especialmente en las etapas de secado posteriores a la purificación. Por lo general, no puede eliminar los contaminantes por completo. No se ha demostrado que proporcione productos aptos para uso alimentario. Falta de claridad con respecto a los tipos de disolventes y la toxicidad de las tecnologías a gran escala. No permite el reciclaje ilimitado del material, debido a la degradación térmica de las cadenas durante el reprocesamiento para formar nuevos plásticos. Falta de claridad actual con respecto al comportamiento ambiental. Aún no se ha demostrado la viabilidad económica a escala comercial.

Fuente: Hann y Connock (2020). *Chemical Recycling: State of Play*. Eunomia, C. Trust. Disponible en https://chemtrust.org/wp-content/uploads/Chemical-Recycling-Eunomia.pdf



© FAO/Bureo

Anexo 2. Seminarios web de la FAO sobre reciclaje de artes de pesca

Los días 10 y 11 de octubre de 2022 se organizaron dos seminarios web para apoyar la elaboración de este informe y rellenar las lagunas de conocimiento que suscitó. El primer seminario web se centró en debates técnicos y científicos relacionados con los métodos de reciclaje de artes de pesca, las políticas, la responsabilidad ampliada del productor (EPR), la circularidad de los productos y la recepción de artes de pesca no deseadas en los puertos. En el segundo seminario web, los oradores invitados presentaron ejemplos prácticos de iniciativas de reciclaje de artes de pesca en todo el mundo e identificaron los retos y las oportunidades asociados con la recogida y el reciclaje de artes de pesca.

Aunque los conocimientos clave obtenidos en los seminarios web se han integrado a lo largo de este informe, en esta sección se resume una serie de elementos adicionales analizados por los participantes que no se han explorado con detalle y que se incluyen aquí dada su relevancia para la cuestión del reciclaje de artes de pesca. Entre ellos cabe citar consideraciones sobre **las tecnologías de reciclaje de artes de pesca no deseadas en los países en desarrollo; iniciativas de educación y concienciación** en apoyo al reciclaje de artes de pesca; **normas para mejorar la circularidad** de las artes de pesca; **artes de pesca biodegradables**; y la determinación de **prioridades de financiación para apoyar el reciclaje de artes de pesca**.

Muchos países en desarrollo se enfrentan a retos relacionados con la gestión de artes de pesca no deseadas debido a la falta de financiación, incluso para la infraestructura de reciclaje y la formación necesarias. Esto puede dar lugar a sistemas inadecuados de recogida de residuos, incluidas las artes de pesca no deseadas, el vertido y la quema de residuos en espacios abiertos, el funcionamiento de vertederos incontrolados o controlados y la escasa o nula recuperación y reciclaje de residuos. Los gobiernos tienen un importante papel que desempeñar en la mejora de la gestión de artes de pesca no deseadas mediante la elaboración y la aplicación de políticas apropiadas. **Es importante que los encargados de la gestión de residuos en los países en desarrollo compartan y publiquen su trabajo de modo que otros puedan aprender de su conocimientos. Se puede brindar apoyo a las comunidades de práctica mundiales destinadas a mejorar la gestión de residuos en los países en desarrollo**. La plataforma digital establecida por la Global Partnership on Plastic Pollution and Marine Litter (Asociación mundial para la contaminación por plásticos y la basura marina) (https://digital.gpmarinelitter.org/about-us), dirigida por el PNUMA, proporciona una plataforma completa para este intercambio de conocimientos e información.

Los participantes de los seminarios web también destacaron **la importancia de las iniciativas de educación y concienciación** sobre los nocivos efectos ambientales y socioeconómicos de los ALDFG, la recogida y reciclaje responsables de artes de pesca no deseadas y las oportunidades que proporciona el reciclaje de artes de pesca **para motivar una mejor administración de las artes de pesca y mejorar las oportunidades de recogida y reciclaje**. Los pescadores que devuelven sus artes de pesca no deseadas para el reciclaje al final de su vida útil también pueden recibir información con respecto a los productos resultantes fabricados a partir de sus artes recicladas, así como los métodos de reciclaje que se han llevado a cabo.

Otro tema de debate a lo largo de los seminarios web sobre el reciclaje de artes de pesca, que no se ha examinado con detalle en este informe, fue la oportunidad de **elaborar normas comunes sobre circularidad y reciclabilidad de las artes de pesca a escala nacional, regional y mundial**. Por ejemplo, los participantes de los semanarios web comunicaron que, en Europa, el Comité Europeo de Normalización (CEN) estableció un comité técnico para abordar distintos aspectos de la elaboración de normas sobre artes de pesca circulares. Existen varias normas en desarrollo en los grupos de trabajo del Comité Europeo de Normalización (CEN, 2020); **en particular, el** CEN/TC 466/WG 2 **proporciona normas sobre reciclabilidad de materiales plásticos de las artes de pesca y los equipos de acuicultura** (CEN, 2020).[31] Igualmente, la Institución Británica de Normalización constituyó un comité (SCP/1/4/1) para establecer normas sobre circularidad y reciclabilidad de las artes de pesca y los equipos de acuicultura que contribuyan a las normas del Comité Europeo de Normalización. Algunos participantes de los seminarios web señalaron la oportunidad de elaborar una norma mundial para el diseño circular de las artes de pesca, incluido un "pasaporte del producto" que requiere un etiquetado claro de los materiales que contienen las artes de pesca. Se mencionó a la Organización Internacional de Normalización (ISO) como posible punto de partida para esta iniciativa, observando que la norma ISO 14021:2016 (Etiquetas y declaraciones ambientales: Afirmaciones ambientales autodeclaradas) incluye actualmente normas sobre etiquetado ambiental, así como declaraciones de productos y huella de carbono (ISO, 2016).

Los participantes también debatieron sobre las oportunidades y los retos relacionados con el desarrollo de **artes de pesca biodegradables**, a fin de reducir al mínimo los impactos ambientales si se abandonan, pierden o descartan en el medio marino. Los participantes observaron que los pescadores necesitan tener la seguridad de que el material que utilizan tendrá un buen rendimiento para la pesca. Si el material utilizado se biodegrada en el medio marino, puede ser que los pescadores tengan que sustituir sus artes con mayor frecuencia. Los participantes de los talleres también manifestaron preocupación por el hecho de que los materiales biodegradables para las artes de pesca pudieran carecer de la durabilidad de sus equivalentes de plástico, ser más costosos o contener una mezcla de materiales biodegradables y no biodegradables que pudiera dar lugar a unos esfuerzos de reciclaje más complicados y costosos. Estas limitaciones pueden retrasar la acogida y aceptación de estos cambios por parte del sector.

Los participantes de los seminarios web comunicaron que el actual proyecto "E-Redes" en Portugal fomenta el uso de redes biodegradables. Este proyecto proporciona redes de enmalle y trasmallo fabricadas con una resina biodegradable a la comunidad pesquera local para reducir la pesca fantasma y la introducción de materiales plásticos sintéticos en el océano. En el estudio realizado por el proyecto se evalúan las propiedades físicas y la durabilidad de monofilamentos innovadores, la viabilidad de la fabricación de artes de pesca con monofilamentos biodegradables y la eficacia pesquera de las redes construidas con monofilamentos biodegradables en comparación con las redes convencionales. La iniciativa de colaboración Dsolve también está explorando la posibilidad de sustituir los materiales plásticos tradicionales de las artes de pesca por materiales biodegradables.

Finalmente, si bien en este informe se analizan las oportunidades para apoyar financieramente las iniciativas de reciclaje de artes de pesca mediante instrumentos basados en el mercado, sistemas de responsabilidad ampliada del productor y medidas de política y reglamentarias (Secciones 1.3.51.3.7), así como las oportunidades y

[31] El CEN/TC 466/WG 2 (*Environmental and circular requirements for fishing gear and aquaculture equipment*) (Requisitos ambientales y circulares de las artes de pesca y los equipos de acuicultura) es un grupo de trabajo adscrito al Comité técnico CEN/TC 466 (Circularity and recyclability of fishing gear and aquaculture equipment) (Circularidad y reciclabilidad de las artes de pesca y los equipos de acuicultura).

retos para los modelos de negocio circulares que apoyan el reciclaje de artes de pesca (Sección 1.4.4), no se hacen recomendaciones con respecto a las prioridades de financiación en apoyo al reciclaje de artes de pesca. También se pidió a los participantes de los seminarios web que determinaran y analizaran estas prioridades de financiación. A fin de facilitar el desarrollo y el rediseño de las artes de pesca y sus materiales constituyentes, los participantes destacaron que se necesitan **ensayos adecuados y financiación específica para la investigación y la innovación**. Es necesario brindar apoyo a los ensayos y los estudios piloto sobre artes de pesca destinados a comprender mejor los recursos que requieren las nuevas tecnologías que apoyan el reciclaje de EOLFG y ALDFG recuperados, así como su eficacia, sin que ello repercuta en la eficiencia pesquera y la vida útil de las artes de pesca. Los participantes observaron que se deberá seguir invirtiendo en la **formación de los fabricantes y montadores de artes de pesca en relación con un diseño circular respetuoso con el medio ambiente**. Entre las prioridades de financiación mencionadas por los participantes cabe citar: la investigación y el desarrollo de materiales reciclables o biodegradables para las artes de pesca; la realización de ensayos sobre la utilidad de usar materiales reciclados de alta calidad en la producción de nuevas artes de pesca; y los proyectos que desarrollan métodos de diseño que **aumentan la vida útil de las artes de pesca**.

GloLitter partnerships

Este documento es parte de la serie de productos de conocimiento Asociaciones GloLitter Fase I. El proyecto Asociaciones GloLitter es implementado por la Organización Marítima Internacional (OMI) y la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO). GloLitter ayuda países en desarrollo en la reducción de la basura plástica proveniente de los sectores del transporte marítimo y la pesca.

ISBN 978-92-5-139050-4

9 789251 390504

CC8317ES/1/09.24

www.imo.org
www.fao.org