



VI CONGRESO EÓLICO ESPAÑOL

Taller de Economía Circular

Igone Ugalde Sánchez (TECNALIA)
16 Junio 2021

Índice

1. Introducción e Identificación de la Situación
2. Origen de los materiales compuestos en el sector eólico
3. Soluciones existentes para la circularidad de las palas. Ejemplos de las iniciativas expuestas en el Taller.
4. Principales Conclusiones
5. Próximos Pasos.

Organización del Taller de Economía Circular

Taller de Economía Circular, 8 Junio, 16:00-18:00 h		Horario
AEE	<i>Introducción al Taller. Contexto de la Economía Circular en el sector eólico.</i>	16:00
LM Wind Power	<i>Necesidades de reciclaje para los excedentes en la fabricación de palas</i>	16:15
Universidad de Mondragón	<i>Proyecto CISTE</i>	16:25
GE y LM	<i>Developing Circular Wind Turbine Blades</i>	16:35
Surus Inversa	<i>Desmantelamiento de parques eólicos de manera circular</i>	16:45
Marco Asesoría Ambiental	<i>Reutilización de Palas como Reservas de Agua</i>	16:55
ENDESA	<i>Reparación de componentes eólicos</i>	17:05
CARTIF	<i>LIFE REFIBRE. Recuperación de fibra de vidrio para su uso en pavimentos asfálticos.</i>	17:15
Reciclaia	<i>Economía Circular en el Sector Eólico. Reciclaje Térmico</i>	17:25
Vestas	<i>Soluciones de economía circular en el reciclaje de palas</i>	17:35
Siemens Gamesa	<i>Proyectos e iniciativas en relación al reciclaje de palas</i>	17:45
TecNALIA	<i>Experiencias en reciclaje de materiales</i>	17:55
Iberdrola	<i>Proyecto Life BRIO</i>	18:05
AEE	CONCLUSIONES	18:15

A photograph of a wind farm with several tall, white wind turbines standing in a green field under a blue sky with scattered clouds. The turbines have three blades each and a red stripe near the base of the tower.

1. Introducción e Identificación de la Situación

Antecedentes

La 1ª generación de aerogeneradores está llegando al fin de su vida operativa, lo que significa que en los próximos años serán desmantelados o sustituidos por turbinas más modernas.

Una vez desinstalado, es posible reutilizar o reciclar hasta el 83% de los materiales de un aerogenerador (acero, cobre y aluminio).



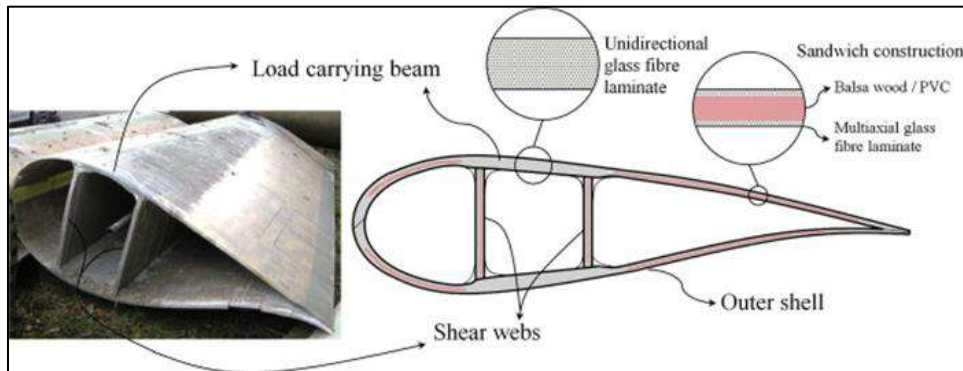
Componente/ Material (% de peso)	Hormigón	Acero	Aluminio	Cobre	Materiales Compuestos	Otros (p.e. Madera de Balsa)
Rotor						
Buje		100%				
Palas		3%			67%	30%
Góndola						
Multiplicadora		96%	2%	2%		
Generador		65%		35%		
Marco, Maquinaria, Otros		84%	9%	4%	3%	
Torre	2%	98%				

Los materiales compuestos también se utilizan en otros sectores, como el sector naval, automoción, aeronáutico y construcción.

Antecedentes

Problemática

Las palas presentan un reto para su reciclaje debido a que están fabricadas de materiales compuestos. Estos son una combinación de fibras reforzadas (vidrio o carbono), junto con una matriz a base de resinas poliméricas, que resultan difíciles de separar.



Los **Materiales Compuestos** son la unión de dos o más materiales distintos, cada uno de los cuales conserva sus propiedades, obteniéndose un nuevo material con mejores propiedades que las de sus constituyentes por separado. Alta resistencia y menor peso.

Esta composición ha permitido mejorar el rendimiento de los aerogeneradores al permitir la fabricación de palas más largas y ligeras, con formas aerodinámicas optimizadas.

A photograph of a wind farm with several large wind turbines standing in a green field under a blue sky with light clouds. The turbines are white with red accents on the tower. The text is overlaid in the center.

2. Origen de los Materiales Compuestos en el Sector Eólico

Desmantelamiento y Repotenciación - España

Datos actuales España

1.267 Parques Eólicos

20.940 Aerogeneradores

62.820 Palas

256.229 Toneladas

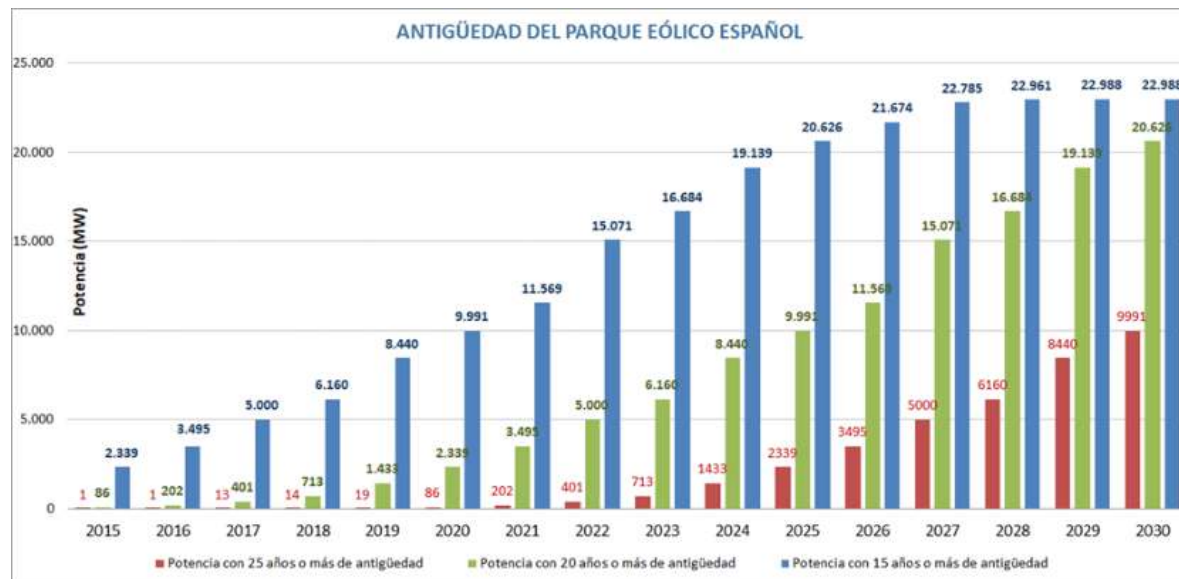
De ellos: 36 % > 15 Años

7.500 Aerogeneradores

22.500 Palas

Vida de Diseño: 20 Años

- Extensión de Vida
- Repowering
- Desmantelamiento

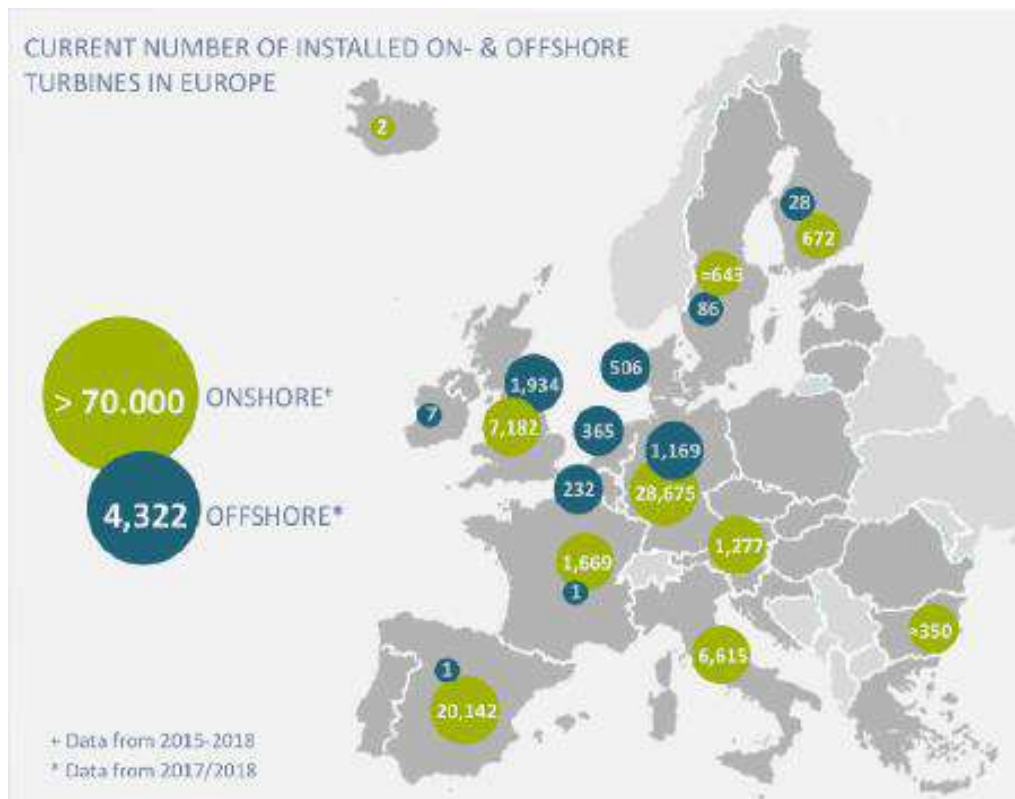


Si en 2025 se **repotenciaran el 100%** de los parques eólicos con más de 20 años de vida útil, sería necesario desmantelar **33.294 palas**, con un peso de **63.255 Toneladas**

	VOLÚMEN PALAS A DESINSTALAR					Total	MATERIALES COMPUSTOS A RECICLAR (Ton)
	2021	2022	2023	2024	2025		
Nº Palas	12.009	5.109	5.328	4.089	6.759	33.294	22.307
Peso (Ton)	15.348	8.028	11.261	8.969	19.649	63.255	42.381

(*) % Materiales Compuestos a reciclar: **67%**

Desmantelamiento y Repotenciación - Europa



1 MW = 12-15 toneladas de material compuesto

Más de **70.000 turbinas** instaladas en Europa con una capacidad combinada de 189 GW y un inventario estimado de materiales compuestos de 2,5 millones de toneladas

42.000 aerogeneradores desinstalados hasta 2020

FUENTE: BAX&COMPANY

Excedentes de Fabricación. Caso



El proceso de fabricación de palas también es fuente de residuos de materiales compuestos.

En España existen varias fábricas de palas de diferentes fabricantes. En el proceso productivo una de las principales materias primas utilizadas es la fibra de vidrio, que a su vez genera cantidades significativas de residuo en forma de:

- Recortes de telas.
- Rollos de telas.
- Palas scrap (no conformes).

Problemas identificados por los fabricantes de palas:

- Dificultad para encontrar colaboradores para reciclado de la fibra de forma estable.
- No existe una figura a nivel comercial que absorba el volumen generado en el proceso de fabricación y lo transforme en subproducto (reciclado y reutilización).

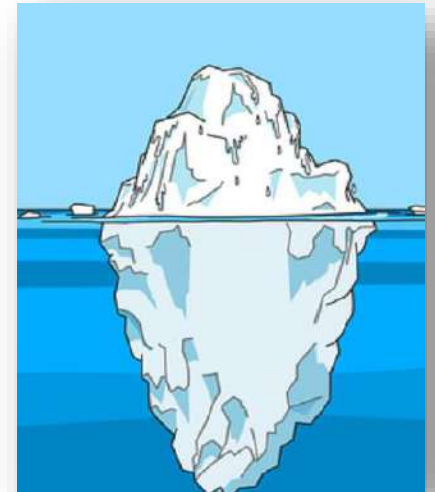


Los residuos procedentes de la fabricación de palas generan un suministro continuo, que garantiza un volumen mínimo de materiales a procesar.

Contextualización del Problema

En comparación con otros sectores, la eólica genera un volumen de residuos **prácticamente insignificante**

- El peso de todas las palas a reciclar durante un año representa solo el **1.4% del peso de los envases no reciclados** en España.
- **Las palas de aerogeneradores no son tóxicas**, no producen lixiviados que puedan ser perjudiciales para el medioambiente, como si ocurre con muchos otros productos que se desechan a vertedero y acaban generando contaminación de acuíferos y aguas subterráneas.



No obstante, las empresas del sector eólico están decididas a contribuir a que ese pequeño porcentaje pueda ser reciclado y contribuir así a la Economía Circular.

A photograph of a wind farm with several tall, white wind turbines standing in a green field under a blue sky with scattered clouds. The turbines have three blades each and a red stripe near the base of the tower. The text "4. Soluciones para el Fin de Vida de las Palas" is overlaid in white on the center of the image.

4. Soluciones para el Fin de Vida de las Palas

Jerarquía de los Residuos

Las palas de aerogeneradores pueden ser tratadas mediante diferentes soluciones.

La jerarquía de los residuos establece una clasificación de diferentes estrategias de gestión de residuos, de más a menos eficiente:

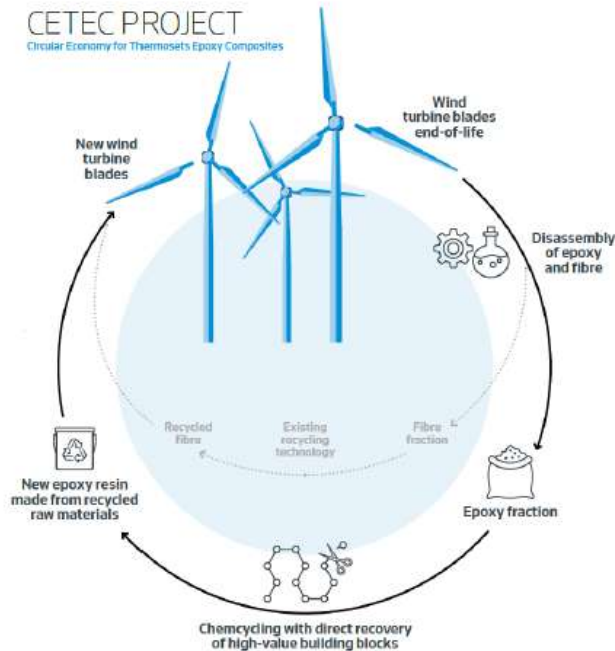
1. Prevención de Residuos
2. Reutilización
3. Reciclaje del material
4. Recuperación de energía
5. Incineración
6. Entrega a vertedero como última alternativa.



VESTAS. Contexto y retos del reciclado de palas

CETEC PROJECT

- Recuperar la fibra y la fracción de resina epoxi y poder utilizar esa resina en fabricación de nuevos componentes.



DECOMBLADES

- Mejorar el proceso energético de los procesos reciclaje.
- Conseguir productos con un coste menor que la materia virgen.



UNIVERSIDAD MONDRAGON. Proyecto CISTE:

Circularidad y Sostenibilidad de Tecnologías Eólicas

DOCUMENTO DE REFERENCIA PARA GENERAR ROAD MAP

Tres Preguntas

- ¿Cuál es la circularidad y sostenibilidad del sistema eólico y barreras a superar? (Tecnologías, Modelos de Negocio y Cadena de Valor)
- ¿Hasta qué punto se puede aumentar la circularidad en el futuro (2030-2050)?
- ¿Impacto medio ambiental, económico y social del potencial aumento?

Dos Grandes Módulos

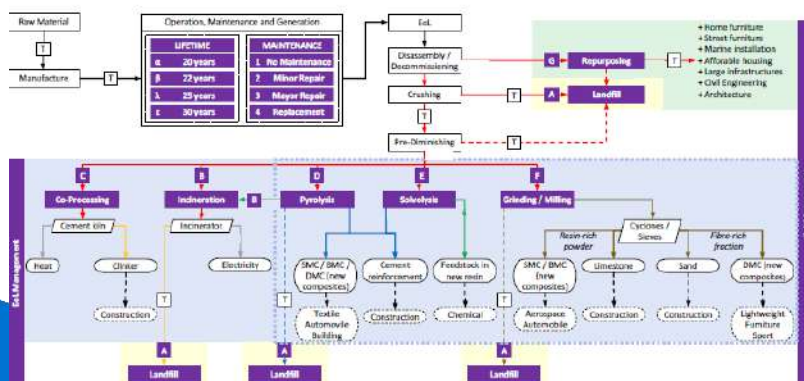
1. Innovación en Modelos de Negocio (Octubre)

- Generar Clusters de información agrupando tipologías de negocio, propósito y soluciones.
- Actores que arrastra cada modelo de negocio.
- Pautas para innovar.

2. Innovación para Tecnologías (Diciembre)

- Cálculo de indicadores de circularidad para diferentes tecnologías eólicas y componentes.
- Mapeo de la gestión de fin de vida de las palas.
- Cálculo de indicador de circularidad para los 7 escenarios de reciclado de palas.

Gestión del ciclo de vida de las palas de turbinas



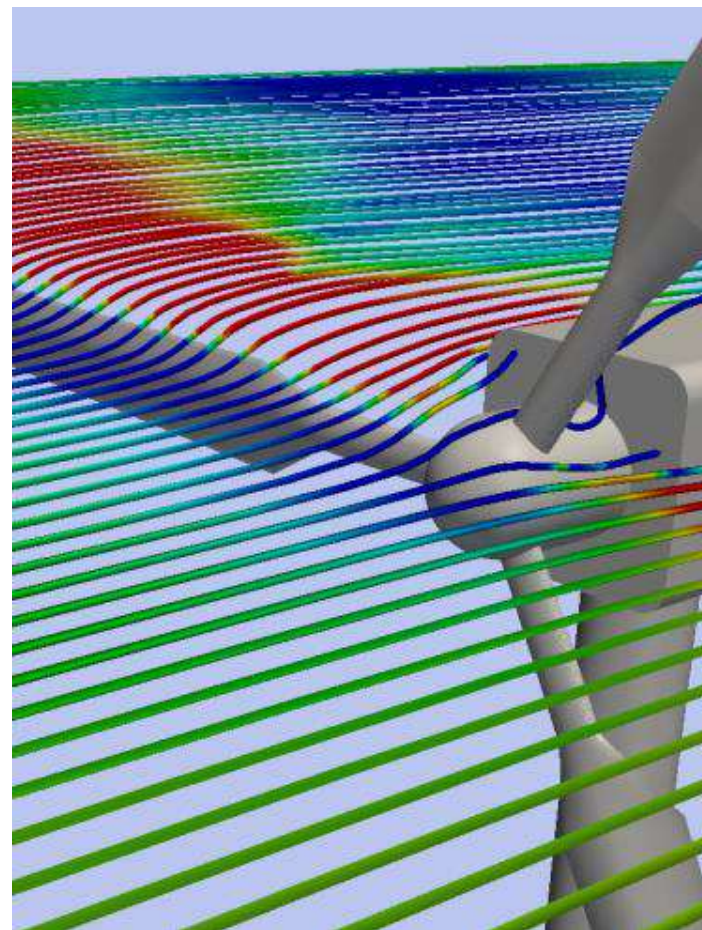
1. PREVENCIÓN DE RESIDUOS

Prevención de Residuos

Se basa en **evitar la generación de residuos**, y para que sea eficaz debe ser considerada **durante el diseño de la pala**.

Puede alcanzarse mediante alguno de estos tres objetivos, complementarios entre sí:

- Conseguir la **reducción del material utilizado en la fabricación**, lo que supondrá un menor volumen de residuos y de materiales a reciclar;
- **Aumento en la eficiencia** de los productos fabricados, que impliquen una menor tasa de fallo y un alargamiento de la vida útil de las palas;
- **Sustitución de materiales** tóxicos o difíciles de reciclar por otros más ecológicos.



Prevención de Residuos: Opciones

Extensión de Vida

1. Polímeros autorreparables.
2. Mejora de la ductilidad, resistencia a la fatiga y de la adhesión fibra-resina.
3. Gelcoats y revestimientos superficiales.

Disminución del Uso de Materiales

1. Eco-Diseño.
2. Criterios de Economía Circular en diseño.
3. Algoritmos de optimización de diseño multicriterio.

Diseño para Reciclabilidad

1. Matrices Termoplásticas.

Mejora de Separación de Componentes

1. Adhesivos Termoplásticos.
2. Reticulación reversible de resinas termoendurecibles.



GE - LM WIND POWER: Proyecto ZEBRA

ZEBRA = Zero waste ReseArch

Groundbreaking project to create zero waste wind turbine blades by connecting 2 priorities:

- 1.forward-thinking technology to reduce impacts, and
- 2.partnerships with the full value chain to make it a reality.



Los proyectos de economía circular deben contemplar la cadena de valor en su conjunto, desde el origen del residuo hasta el desarrollo del mercado de los productos resultantes

ENDESA. Economía Circular en el mantenimiento de parques eólicos

Establece un **proceso de reparación para gran componente y pequeño componente y posterior reutilización** en lugar de equipos nuevos.

- Reducir costes operativos,
- Reducir el consumo de materias primas asociados a equipos nuevos,
- Reducir generación de residuos,
- Se evita obsolescencia técnica,
- Conocer el modo de fallo de componentes y causas
- Acciones de mejora sobre los propios componentes y realimentamos el proceso predictivo, entendiendo mejor los modos de fallo y puntos de avería,
- Proceso de reparación en el proceso global de servitización de mantenimiento de componentes.



MULTIPLICADOR:

- peso entre 8 y 20 Tm
- Cambio de algunos componentes en taller
- Para monitorizar el estado, detectar averías y evitar la irreparabilidad es fundamental aplicar una correcta estrategia de Mantenimiento Predictivo



REDUCTORA GIRO:

- peso entre 25 y 120 kg
- Cambio de algunos componentes en taller



CILINDRO PITCH:

- peso entre 15 y 50 kg
- Cambio de algunos componentes en taller y rectificado



TARJETA ELECTRÓNICA CONTROL



ANEMO



TARJETA ELECTRÓNICA POTENCIA

En 2020:

150 reparación de grandes componentes
3.000 pequeños componentes

2. REUTILIZACIÓN

Reutilización dentro del sector eólico

Solución más sencilla: Rehabilitar y reutilizar la pala en otro parque eólico.

Es la primera consideración para recuperar las palas que, por su naturaleza y estado, siguen manteniendo un valor importante.

La segunda opción más eficiente desde el punto de vista de la jerarquía de tratamiento de residuos, es la reutilización de las palas. Se pueden distinguir dos enfoques:

- **Reaprovechamiento de los equipos desmantelados para su instalación en otros parques eólicos, o como repuestos.**
- **Reaprovechamiento de las palas para otros usos.**

Una vez realizada la **evaluación técnica**, diversas empresas se dedican a la venta de activos de segunda mano procedentes de parques eólicos desmantelados. Usos:

- Nuevos proyectos
- Repuestos



SURUS INVERSA. Desimplantación de activos: Circularidad y alargamiento vida

- Modelo basado Reutilización-empleo activos industriales-energético
- En el caso de **Parques Eólicos**, se procede al desmantelamiento de los equipos y valorizarlos por su composición. Impacto que tendría un desmantelamiento tradicional: 2.000 Tn de residuos.
- Venta de activos de ORIGEN ESPAÑA Y PORTUGAL.
- **Subastas especializadas**: puesta en valor de los equipos. Plataforma ESCAPALIA.COM
- **Resultados Economía Circular** (si se vende el equipo completo):
 1. Impacto económico positivo
 2. 0 Residuos
 3. CO2 no se absorbe
 4. Energía y agua ahorrada
 5. Esperanza de vida



Reutilización en Usos Distintos

Reutilización para propósitos estructurales o arquitectónicos, no relacionados con eólica, aprovechando sus características mecánicas.

Aunque permite alargar la vida de una pala con poco esfuerzo, **aplicaciones excepcionales**.

Usos alternativos propuestos:

- barreras acústicas
- torres de telecomunicación
- techos,
- Mobiliario urbano (marquesinas, equipamiento para parques infantiles, etc)
- Refuerzo de infraestructuras marítimas submarinas
- Construcción. Vigas para puentes
- Otros....



Marco Asesoría Ambiental - Argentina

Reutilización de palas como reservorio de agua

Proyecto de reutilización de palas como reservorio de agua para usos distintos.

- Una Pala de 70 m de altura puede almacenar 150 m³ de agua.
- Con una planificación adecuada puede tener un coste similar a la disposición final del material como residuos.



RIEGO

Pequeños cultivos, huertas familiares y comunitarias, áreas en revegetación, espacios verdes, predios deportivos (canchas de fútbol, golf, etc.)



HIGIENE

Higiene personal, limpieza de utensilios de cocina, lavado de la ropa y limpieza de la casa, ya sea mediante reservorios exclusivos para cada hogar o comunitarios.



COMBATE DE INCENDIO

Instalación de reservorios de agua en puntos estratégicos previa coordinación con instituciones correspondientes según zonas de alto riesgo o puntos de abastecimiento.

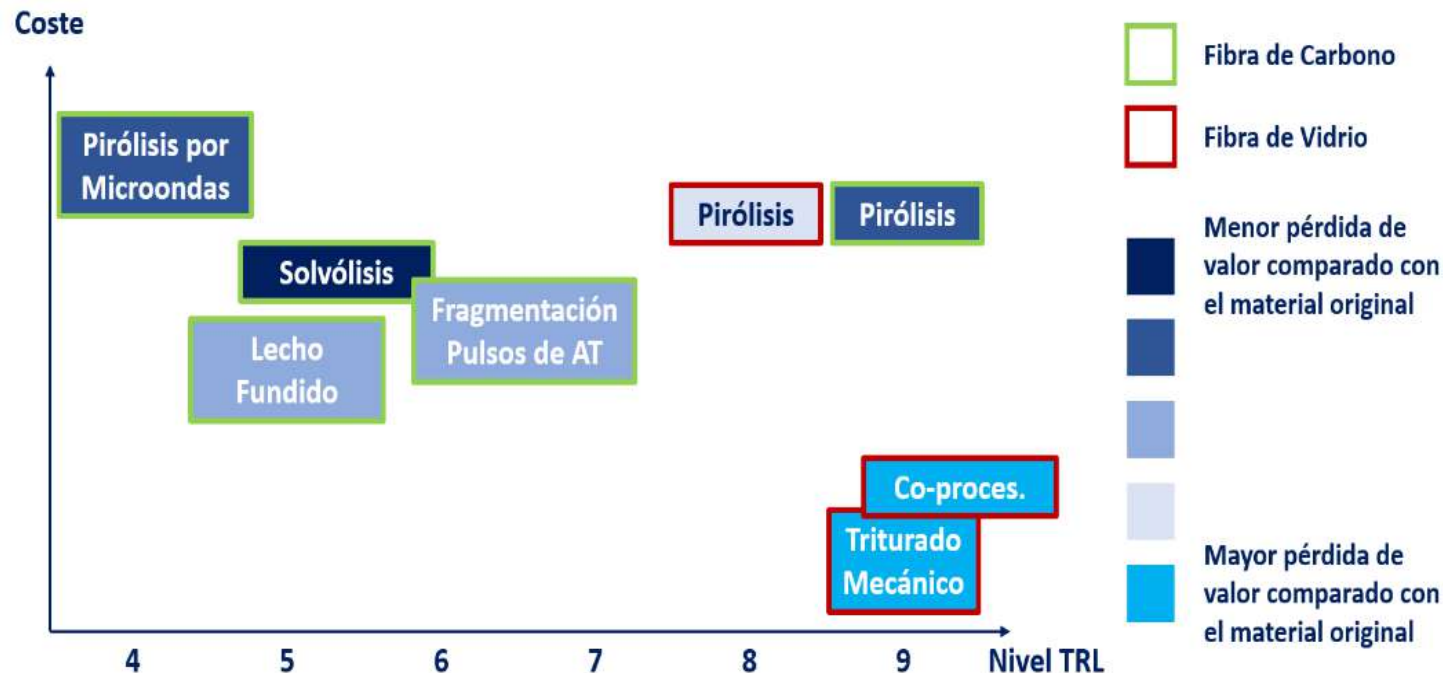
4. RECICLAJE DEL MATERIAL

Reciclaje del Material

Cuando la pala no pueda ser reutilizada, se procede al **reciclado del material**.

Al utilizar resinas termoestables en la fabricación de palas, no pueden ser fundidas y es complicado separar la matriz de las fibras. Dos tipos:

- **Reciclaje Mecánico**
- **Reciclaje Térmico / Químico**



Tecnologías de reciclaje por su TRL y coste. Adaptado de WindEurope.

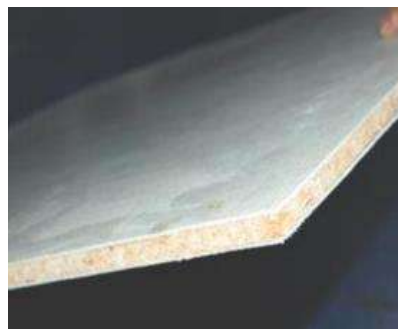
Reciclaje Mecánico

El reciclado mecánico de las palas consiste en triturarlas hasta obtener porciones pequeñas de material, de milímetros de tamaño.

El **triturado mecánico** tiene una gran eficiencia pero disminuye drásticamente el valor del material reciclado.

El compuesto triturado resultante puede ser posteriormente usado en **nuevas aplicaciones**, entre las cuales destaca la producción de cemento, prefabricados de hormigón y materiales para la construcción. Ejemplos:

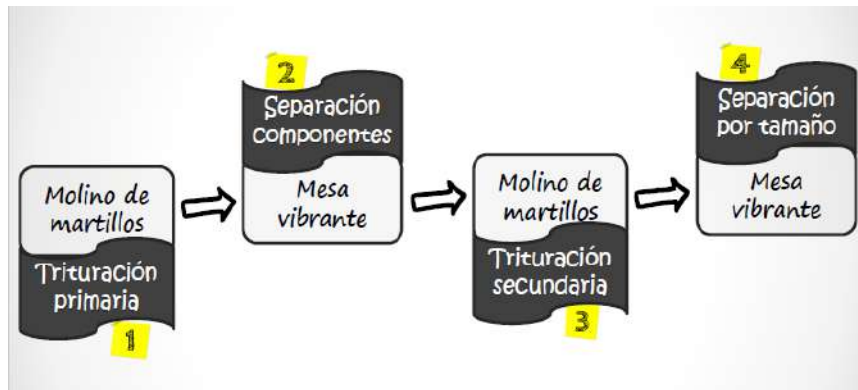
1. Co-procesamiento del Cemento
2. Firmes de Carretera
3. Paneles Acústicos
4. Aislamientos para la construcción



CARTIF. LIFEREFIBER. Recuperación de fibras de palas de aerogenerador para su uso en pavimentos asfálticos



Acopio de las palas (12 palas, 40 Tn de residuo)



Fibra de vidrio menor de 2 cm

Porcentaje de dosificación no puede superar 1%

Tramo demostrador 1 Km entrada de Toro
Monitorizado durante 1 año

RESULTADOS

- Mejora de las propiedades mecánicas de la carretera.
- Mejora la durabilidad de la carretera.
- Aumenta la resistencia a la deformación un 23,25%.
- Resistencia a la fatiga un 12%.
- Mayor resistencia a la rigidez.
- Mayor resistencia a las temperaturas extremas (menos grietas).



Reciclaje Térmico

Todavía en distintas fases de investigación y desarrollo. Se tienen las siguientes alternativas:

1. Pirólisis
2. Pirólisis por microondas
3. Proceso de lecho fundido
4. Solvólisis.

En general, las temperaturas que se alcanzan suponen una degradación de las fibras, lo que supone una pérdida de sus propiedades mecánicas. Esta degradación varía entre las diferentes tecnologías.

RECICLALIA. Procesos eficientes en costes que faciliten la integración de los materiales en soluciones industriales



Reactor de Pirólisis, entre otras:

- Elimina la materia orgánica de los composites.
- Alta calidad de la fibra reciclada Se preserva buena parte de la longitud de las fibras y las características mecánicas del material
- Es un proceso low cost, bajo en cuanto a demandas energético



SIEMENS GAMESA. Proyectos para dar solución a palas existentes y nuevos materiales para palas del futuro

FIBERUSE

- Reciclaje de materiales compuestos, de fibra en general.
- Consorcios 20 socios, 7 países de la UE.
- Demostradores para ver la potencial vida de fibras (automoción, domésticos, sanitarios, deportes).
- Estudio exhaustivo de nivel de fibras que a nivel europeo (no solo palas, sino los sector en general).
- Incorporación de tecnologías informáticas.

DIGIPRIME

- Proyecto crear una plataforma digital de economía circular.
- Los usuarios tendrán acceso a información de:
 - Materias primas existentes, potenciales segundos usos, precios de ventas
 - La información generada
- 36 organizaciones europeas involucrados, 25 empresas, 8 centros de investigación, varios sectores

DECOMBLADES

- Estudiar la cadena de valor en torno al reciclaje de valor.
- Generar Business Case positivo en torno a esta problemática.

OTRAS INICIATIVAS

1. **Nuevos materiales** para las palas del futuro.
2. Ser activos desde el diseño y no desde la etapas finales de la vida.
3. **Planta de reciclaje de palas** en la antigua planta de palas de Aoiz.
4. Buscar una salida a esa planta y una salida a la problemática del reciclaje.

TECNALIA. Tecnologías para el Reciclado y Valorización de Residuos.

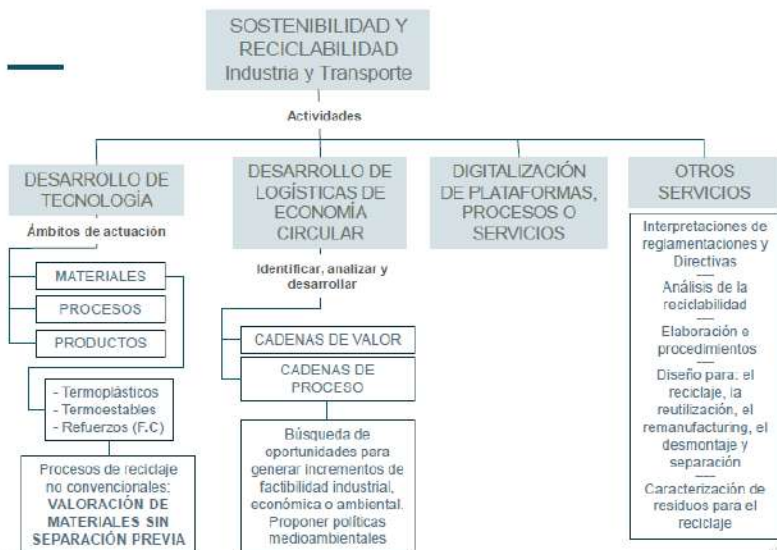
Línea de reciclado y valorización de residuos

tecnalia inspiring business



Demostración de nuevas cadenas de valor de economía circular basadas en la reutilización de compuestos reforzados con fibra al final de su vida útil. H2020-CIRC-01-2016-2017, GA nº 730323

tecnalia inspiring business



LÍNEAS ESTRATÉGICAS I+D A MEDIO O LARGO PLAZO, entre otras

- Recuperación de fibra de carbono y vidrio desde palas de aerogeneradores mediante solvólisis con líquidos iónicos y disolventes eutécticos profundos.
- Estudio de nueva tecnología de reciclado de composites basado en electroquímica a nivel de laboratorio
- Aplicación de fibras de vidrio recicladas en hormigones para impresión 3D
- Recuperación y valorización de fibra de carbono de palas de nueva generación para aplicaciones estructurales

6. VERTEDERO

Vertedero

Tras la desinstalación de una pala eólica, **su traslado a un vertedero o su incineración sin recuperación de energía** sería la solución más baja en la jerarquía de residuos pero la **menos deseable** debido al importante impacto ambiental que supondría.

El sector eólico tiene como prioridad el desarrollo de alternativas viables al traslado a vertedero.

4. Conclusiones

CONCLUSIONES

El sector eólico tiene como prioridad el desarrollo de alternativas viables al traslado a vertedero.

- Existen múltiples soluciones para dotar de circularidad a las palas eólicas, pero todavía no están totalmente consolidadas a escala comercial.
- Falta trabajar con una visión holística para el desarrollo de mercados. Es clave garantizar flujo constante de materiales para consolidar tecnologías y reducir costes.
- Para ello es necesario avanzar en la integración de diferentes actores que cubran toda la cadena de valor, desde la generación del residuo, hasta el producto final, generando una entramado de industria nacional que permita la escalabilidad industrial y comercial.
- Fundamental el apoyo de la administración en la estandarización de soluciones y consolidación del mercado, integrando materiales procedentes del reciclado de las palas. (ej: Pliegos de condiciones)
- Colaboración intersectorial

5. Próximos Pasos

Próxima Regulación

Estrategia Española de Economía Circular 2021-2023

Sienta las bases para impulsar un nuevo modelo de producción y consumo.

Alineada con los objetivos de los planes de acción de economía circular de la UE:

- “Cerrar el círculo: un plan de acción de la UE para la economía circular” de 2015
- “Un nuevo Plan de Acción de Economía Circular para una Europa más limpia y competitiva” de 2020.



Plan de Acción de Economía Circular 2021-2023

Aprobado el 25 de Mayo de 2021 el I Plan de Acción de Economía Circular (PAEC) 2021-2023. Dentro de las medidas del Plan, algunas de las cuales afectan al sector, se incluyen dos específicas para la eólica:

3.5.2. Elaboración de una **“Guía para el desarrollo de criterios ambientales a tener en cuenta en el desmantelamiento y repotenciación de instalaciones de generación de energía eólica”**. Se desarrollarán unos criterios básicos, facilitando la aplicación de la EC.

7.1.8. Incentivar y fomentar **Proyectos de I+D+i incentivadores de soluciones de EC para las palas de los aerogeneradores eólicos**. Se plantea fomentar también los proyectos de I+D+i enfocados a la utilización de nuevas palas diseñadas y fabricadas con criterios de EC.

IBERDROLA. Un gran proyecto de cooperación nacional

Antecedentes, entre otros:

LIFE+ BRIO: desmantelamiento y reciclaje de palas eólicas

- Período: 2014 – 2017
- Presupuesto: 1,1 M€
- Procesos realizados:
 - ✓ **Pretratamiento**
 - ✓ **Recuperación** de materiales y clasificación
 - ✓ **Reducción y separación** secundaria (Concentrado de fibras y Fracción heterogénea)
- **Reutilización de materiales** para la fabricación de productos para construcción: tres tipos de prefabricados de **hormigón** y material de núcleo en la fabricación de **paneles sandwich**
- **Recuperación total** de los materiales de la pala eólica
- **Reducciones en el consumo** de otros materiales y mejora de propiedades (cemento y áridos)



Project's implementors:



In collaboration with:



Fondos Next Gen EU: MDI proyecto tractor industrial liderado por Iberdrola

Área	Proyecto	EEFP	gran empresa	pymes	CCAA
	RECICLAJE DE PALAS Creación de una nueva industria nacional	5	7	12	9

- Mejora de la competitividad y la sostenibilidad del sector eólico mediante el empleo de **tecnologías de reciclado de materiales compuestos** (fibras de vidrio y carbono) y su **digitalización**, lo que permitirá una economía circular casi completa del sector
- **4 plantas** posibles en diferentes CCAA
- El proyecto definirá las tecnologías óptimas de reciclado, desarrollará el proyecto industrial y establecerá los usos de los productos reciclados que den valor a todo el proceso
- Contribución a la **innovación tecnológica, industrialización, transición energética, economía circular, digitalización y desarrollo rural**.
- **400 empleos directos** -utilizando datos del PNIEC-

Principales socios:



Sustainability Platform
[Sustainability | WindEurope](#)



Public platform for wind energy stakeholders to identify common Research & Innovation (R&I) priorities and to foster breakthrough innovations in the sector
[European Technology & Innovation Platform on Wind Energy \(etipwind.eu\)](#)





C/ Sor Ángela de la Cruz, 2. planta 14 D
28020, Madrid

Tel. +34 917 451 276

aeeolica@aeeolica.org

www.aeeolica.org

