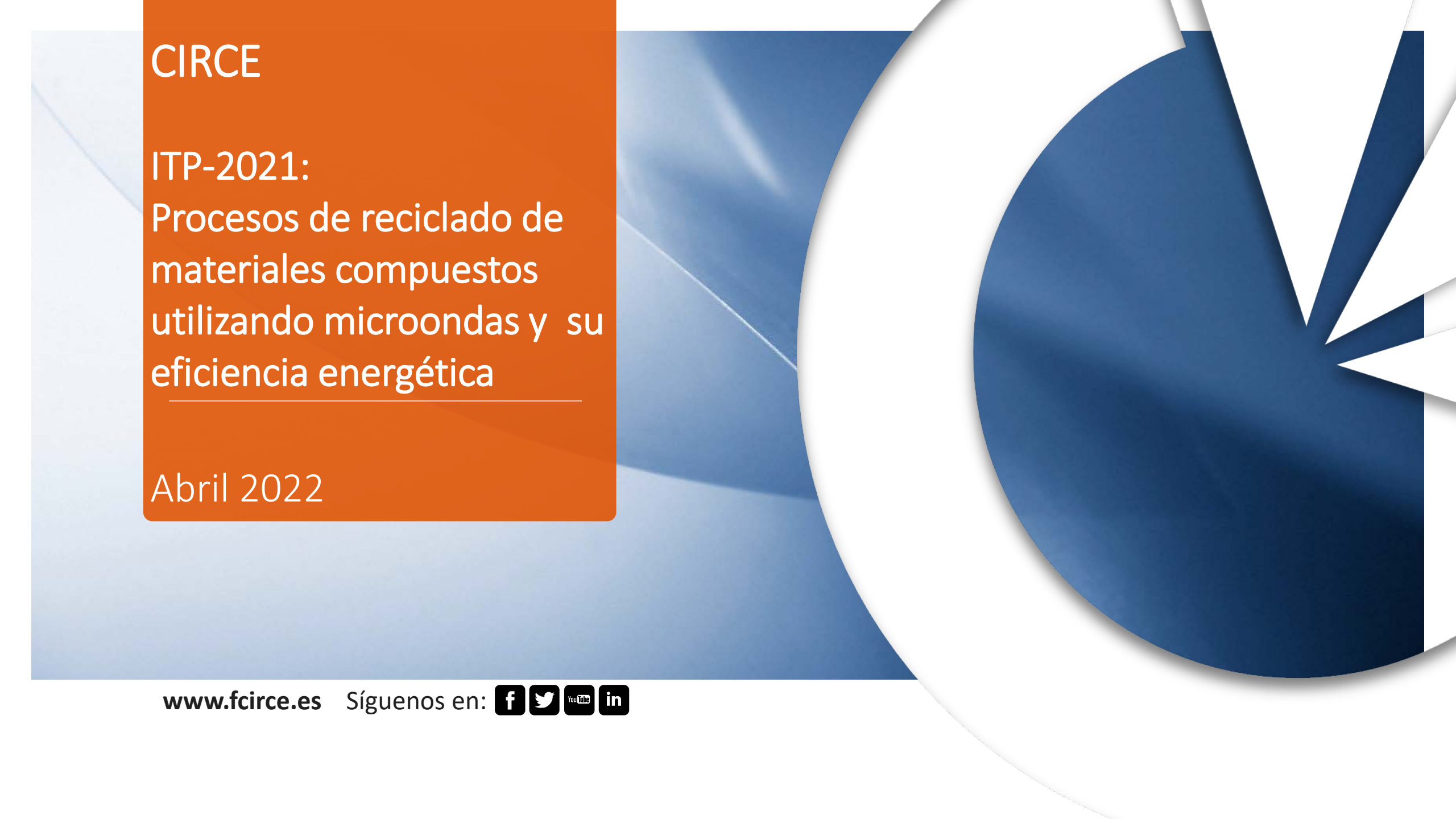




CIRCE

ITP-2021:
Procesos de reciclado de
materiales compuestos
utilizando microondas y su
eficiencia energética

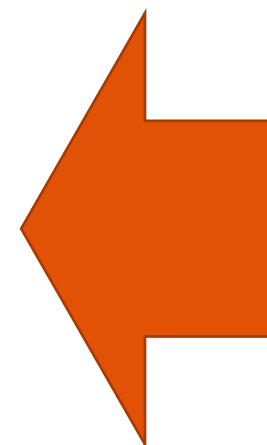
Abril 2022

www.fcirce.es Síguenos en:    

Webinar PTE-ee: EL PERTE de Economía Circular y Eficiencia Energética, 8 de abril

PROGRAMA

Hora	Ponencia
10:00	Bienvenida y presentación de la agenda. • Armando Uriarte. Presidente de la PTE-ee.
10:10	PERTE de Economía Circular y próximas convocatorias. • Carmen Durán Vizán. Subdirección General de Economía Circular. MITERD.
10:30	Nuevas tecnologías que aúnan Economía Circular y Eficiencia Energética en las Iniciativas Tecnológicas Prioritarias de la PTE-ee y Fundación CIRCE Moderador: Guillermo J. Escobar. Coordinador técnico de la PTE-ee • Reciclado de Materiales compuestos por pirólisis asistida por microondas (ITP-01-2021). Nelson García-Polanco e Ignacio Julián. CIRCE. • Reciclado de Baterías de ión-litio (ITP-01-2022). Franco Di Persio. Fundación CIRCE Preguntas
11:10	Conclusiones y cierre Luis Pérez Heras, Director Grupo de Industria Fundación CIRCE



CIRCE is energy

25 YEARS OF R&D&i SERVICE TO COMPANIES,
THE SOCIETY AND THE ENVIRONMENT



MISSION

To improve the competitiveness of **companies** by generating and transferring **technology** through market-oriented R&D&i and training activities in the field of sustainability and resource efficiency, energy networks and renewable energies.



VISION

- International **reference** in energy.
- Investment **multiplier** in R&D&i.
- Focus on **talent**.
- Generator of ideas and **solutions**. Innovative and competitive.



VALUES

- **Quality** and agility
- **Commitment** and responsibility
- Passion for challenge and **innovation**
- **Transparency**
- Enthusiasm for **collaborative** work
- **Vocation** for economic, social and environmental sustainability



We are a technology centre funded in 1993, seeking to provide innovative solutions for a **SUSTAINABLE DEVELOPMENT**.

Our research centre consists of a highly qualified and multidisciplinary team, composed by **more than 185 professionals**.

We work towards improving the competitiveness of enterprises through **generation of technology transfer** by means of R+D activities and market-oriented training within the field of resource sustainability and effectiveness, energy grids and renewable energies.



Pacto Mundial
Red Española



PTE-ee: Iniciativa Tecnológica Prioritaria 2021(ITP)

DESARROLLOS EN LOS PROCESOS DE RECICLADO Y VALORIZACIÓN DE MATERIALES COMPUESTOS UTILIZANDO MICROONDAS Y ANÁLISIS DE LA EFICIENCIA ENERGÉTICA DE ESOS PROCESOS

Autores

Carlos Arenal, Victoria Campos, Tomás Romagosa (AEE)

Ferrán Martí, Eva Verdejo (AIMPLAS)

Yolanda Díaz, Georgina Galera, Zulima Martín, Juan P. Díaz (AIRBUS)

Alicia Aguado, Anabel Ruiz (CARTIF)

Ángel López Buendía (CEINNMAT)

Álvaro Calero, Nuria Fanegas, Bernardo López (FIDAMC)

Nelson Rene García, Ignacio Julián (FUNDACIÓN CIRCE)

Juan Ramón Ayuso (IDAE)

David Romero (RECICLALIA COMPOSITES)

Coordinador

Guillermo José Escobar (PTE-ee)



AIMPLAS
INSTITUTO TECNOLÓGICO
DEL PLÁSTICO

CARTIF

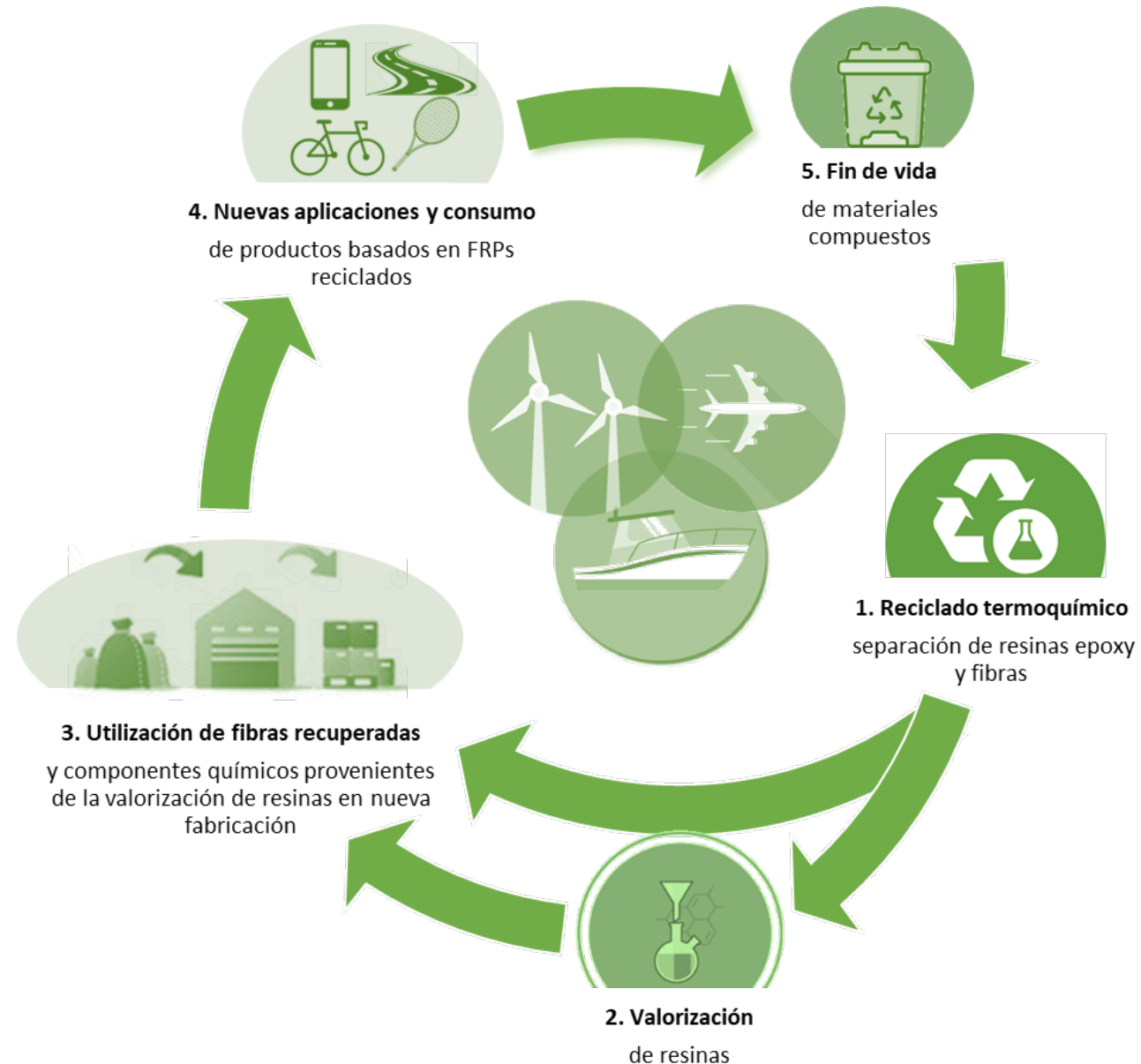


Contenido de la ITP (Iniciativa Tecnológica Prioritaria):

- o Excelencia de la propuesta
- o Análisis del sector: industrias y mercado
- o Horizontes temporales
- o Tecnologías disponibles para el reciclado de FRP
- o Propuesta de valor: Pirolisis asistida por microondas
- o Recursos necesarios para su implementación: Análisis PESTEL
- o Conclusiones
- o Bibliografía

Objetivo de la ITP

- Estudiar el estado del la problemática del reciclaje de materiales compuestos y evaluar el potencial de la pirólisis asistida por microondas como proceso de reciclado.
- Evaluar los sectores con materiales compuestos que deben ser reciclados y el volumen de estos.
- Estudiar la legislación en relación al reciclado a nivel europeo.
- Estudiar las tecnologías disponibles para el reciclado de materiales compuestos
- Analizar la pirólisis asistida por microondas como proceso alternativo, con sus características y potencial
- Realizar un análisis DAFO y PESTEL de las tecnologías presentadas



Los materiales compuestos

Los materiales compuestos utilizados contienen principalmente fibras de vidrio, fibras de carbono y otros materiales como resinas.



Industria Eólica



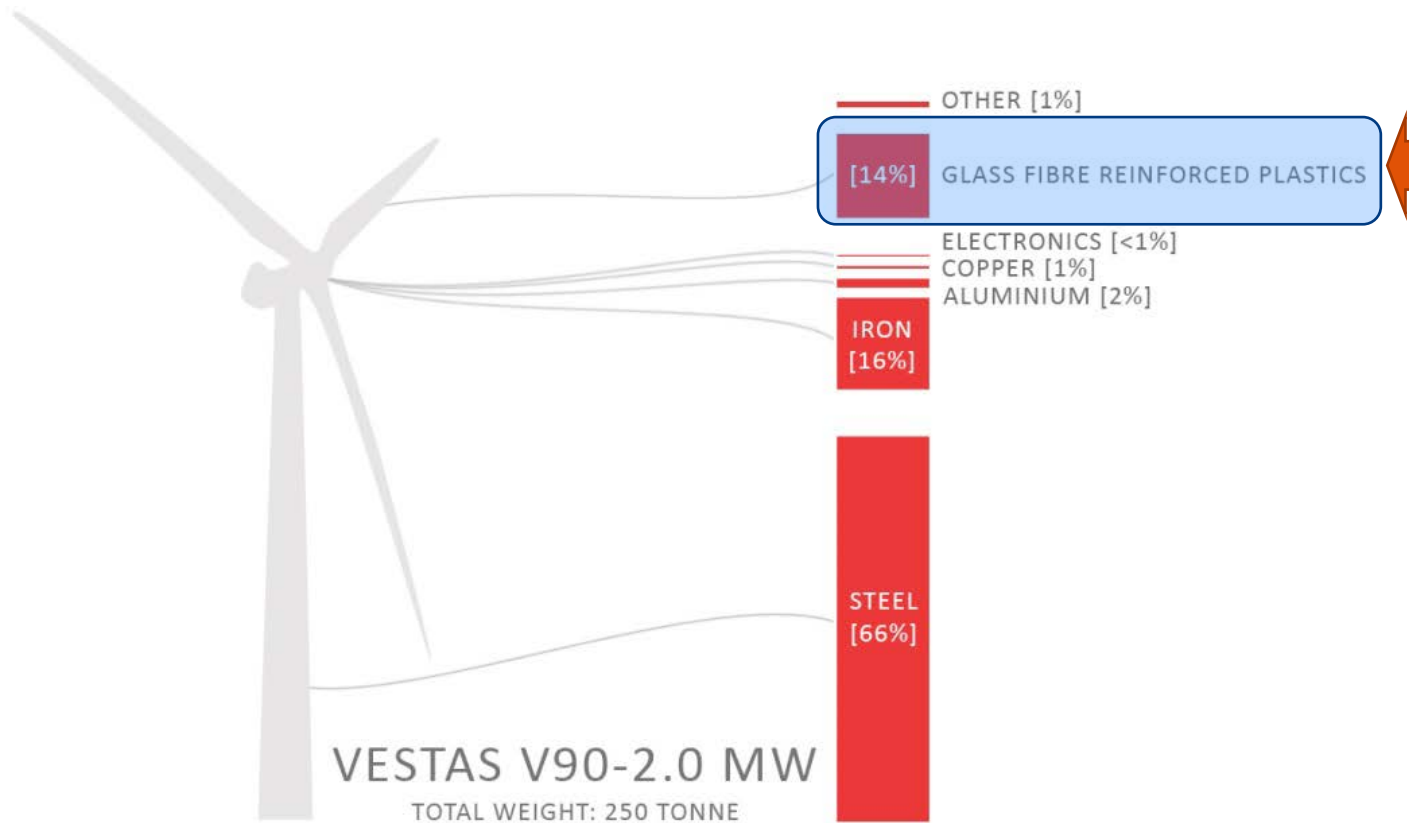
Industria Aeronáutica



Industria Naval

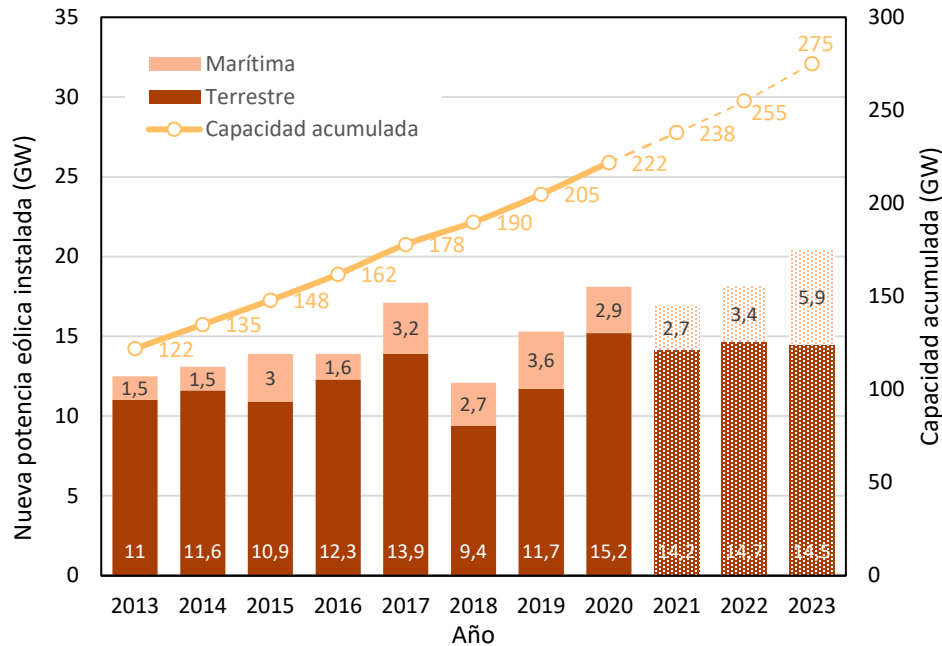
- Materiales compuestos basados en resinas poliméricas reforzadas con fibras de carbono (FC), de vidrio (FV) o fibras híbridas (carbono-vidrio, FCV)
- Glass fiber reinforced plastic (GFRP)
- Carbon fiber reinforced polymer (CFRP)

Uso de materiales compuestos en la industria: eólica

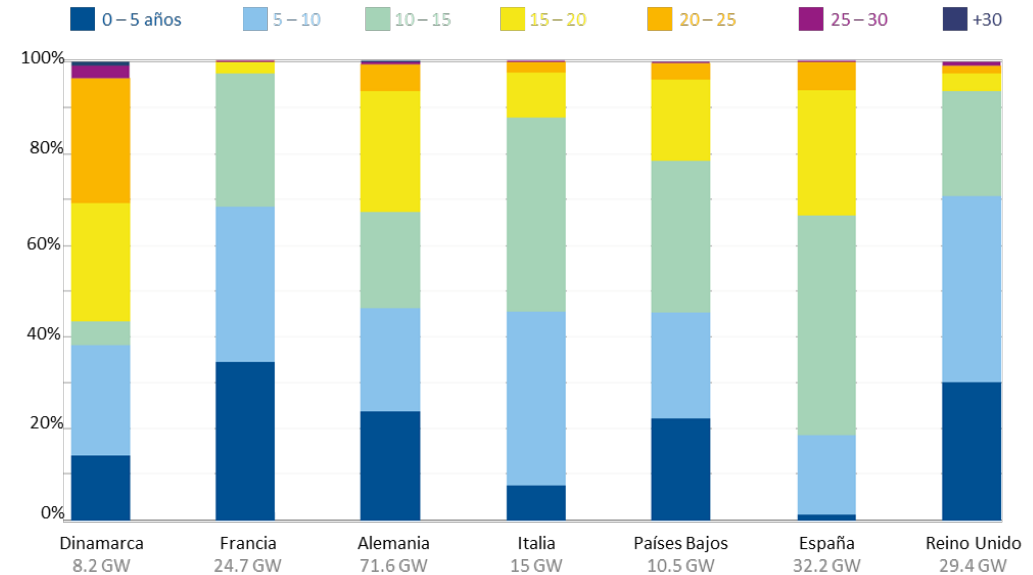


Hoy en día, alrededor del 85 al 90 % de la masa total de las turbinas eólicas se puede reciclar. Es decir, la mayoría de los componentes, como la base, la torre y los componentes de la góndola, tienen prácticas de reciclaje establecidas. **Sin embargo, las "palas de aerogeneradores" son más difíciles de reciclar debido a los materiales compuestos que se utilizan en su fabricación.**

Uso de materiales compuestos en la industria: eólico

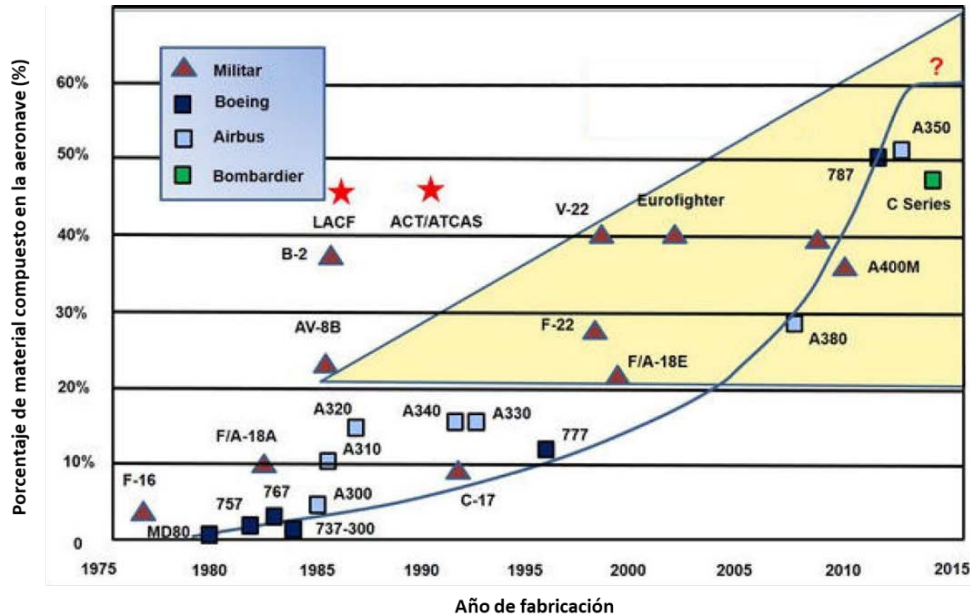


Evolución anual de la potencia eólica instalada en Europa en el periodo 2013 – 2020. La evolución 2020 – 2023 se ha estimado en base al escenario de mayor incremento de capacidad contemplado por la plataforma europea de energía eólica Wind Europe

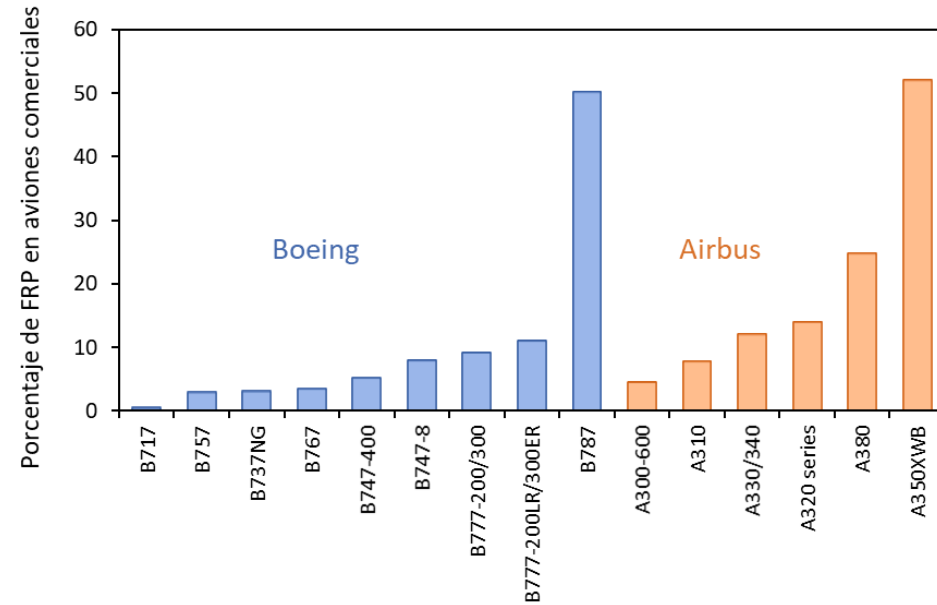


Distribución de antigüedad de la instalación eólica terrestre por naciones (Agosto 2019) y estimación de potencia total instalada en 2023. Adaptación del informe “Wind Energy in Europe: Outlook to 2023”

Uso de materiales compuestos en la industria: Aeronáutica



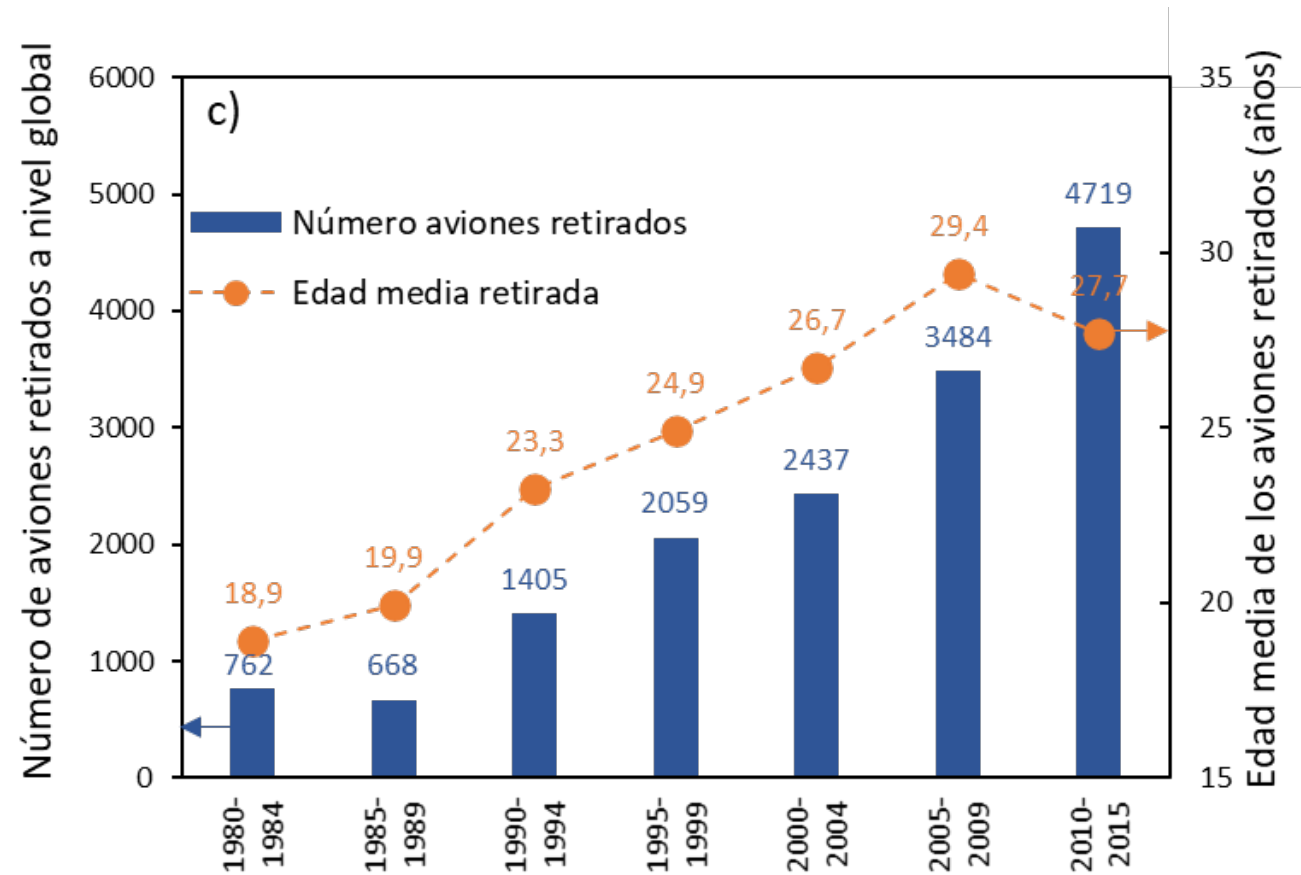
Aumento del porcentaje de materiales compuestos en la estructura de los aviones desde 1975 hasta 2015, para aviones comerciales y militares



Porcentaje de materiales compuestos en función del peso, para aviones comerciales de los fabricantes Boeing y Airbus (los más grandes fabricantes de aviones a nivel mundial)

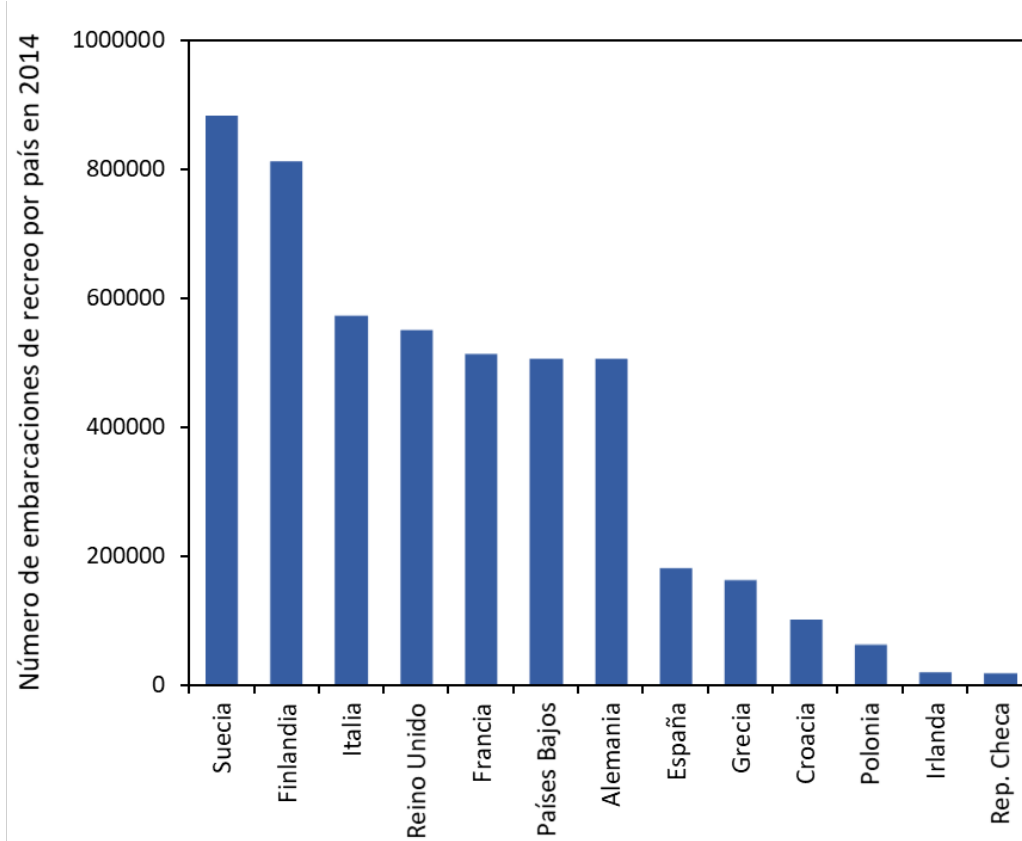
La vida útil de un avión comercial estándar es de aproximadamente 30 años y, en este sentido, la Asociación Internacional de Transporte Aéreo (IATA) estimó la retirada de 11.000 aviones en los próximos 10 años, es decir hasta 2030, cada uno presentando 20 toneladas de materiales compuestos. Ello resulta en 220.000 toneladas de residuos de estos materiales.

Uso de materiales compuestos en la industria: Aeronáutico



Distribución del número de aviones retirados y edad media por franjas temporales de 5 años en el periodo 1980-2015 a nivel global

Uso de materiales compuestos en la industria: Naval



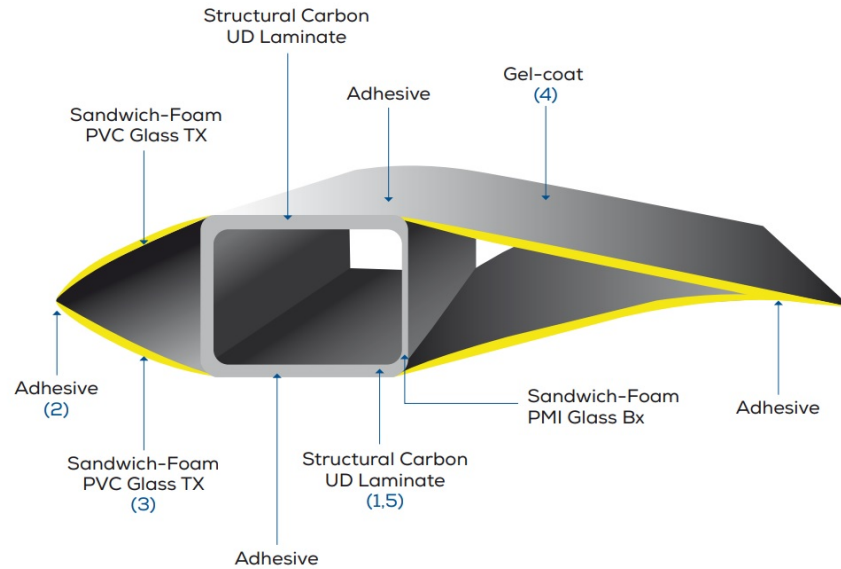
Número total de embarcaciones de recreo por países de EU en 2014



Embarcación de 150 pies, fabricada en FRP basados en carbono por la empresa Brødrene

El volumen de embarcaciones de recreo en Europa se estima en casi 6 millones, de los que unos 140.000 deben ser desmantelados cada año, según un informe de la IMO (International Maritime Association).

Problemática del reciclaje de materiales compuesto



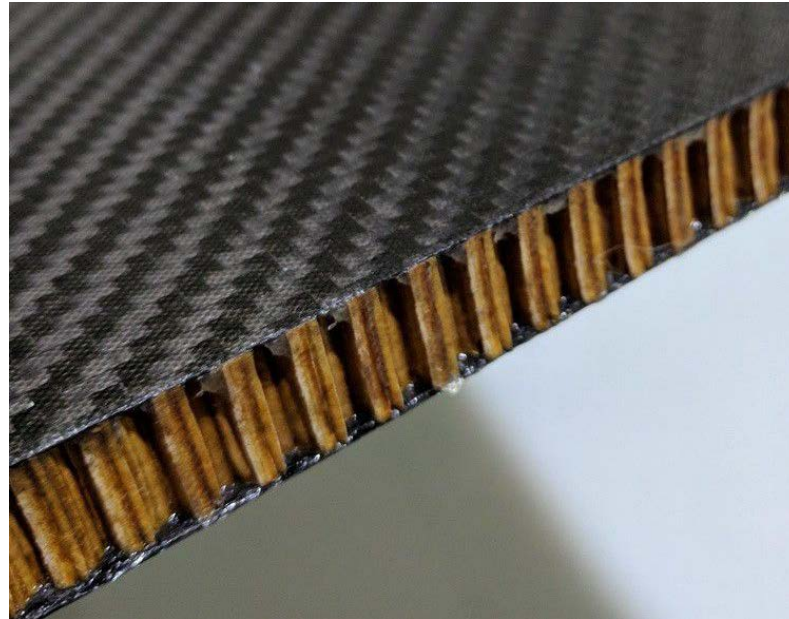
Complejidad de las estructuras de materiales compuestos



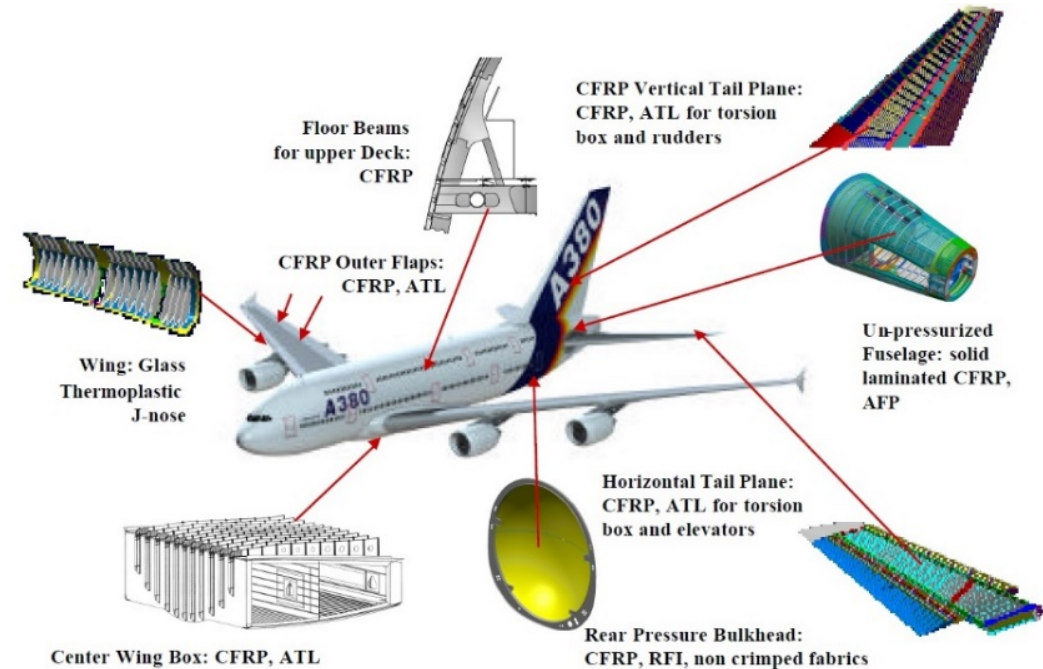
Actualmente, la mayoría de los residuos de FRP se depositan en vertederos

El reciclaje de los FRP convencionales supone un gran reto técnico debido a su compleja composición (fibras, matriz y cargas), la naturaleza reticulada de las resinas termoestables (que no se pueden volver a moldear), y debido a que usualmente se aplican en combinación con otros materiales (fijaciones metálicas, panales, compuestos híbridos, etc).

Problemática del reciclaje de materiales compuesto



Complejidad de las estructuras de materiales compuestos



Porcentaje de materiales compuestos en función del peso, para aviones comerciales de los fabricantes Boeing y Airbus (los más grandes fabricantes de aviones a nivel mundial)

Los materiales compuestos convencionales usualmente utilizados en la industria se componen de un refuerzo (fibra continua) y una matriz (polimérica) que transfiere las cargas entre las fibras. Las fibras comúnmente usadas son FV y FC, embebidas en una resina termoestable.

Marco legislativo y de ayudas a nivel europeo

La legislación europea reciente impone un control estricto de la eliminación de compuestos; la responsabilidad de desechar los compuestos EoL (end of life) ahora recae en el fabricante del componente, el vertido legal de FRP en vertederos es limitado y, por ejemplo, se requiere que los vehículos automotores desechados después de 2015 sean 85% reciclables (EU 1999/31 / EC; EU 2000/53 / EC)

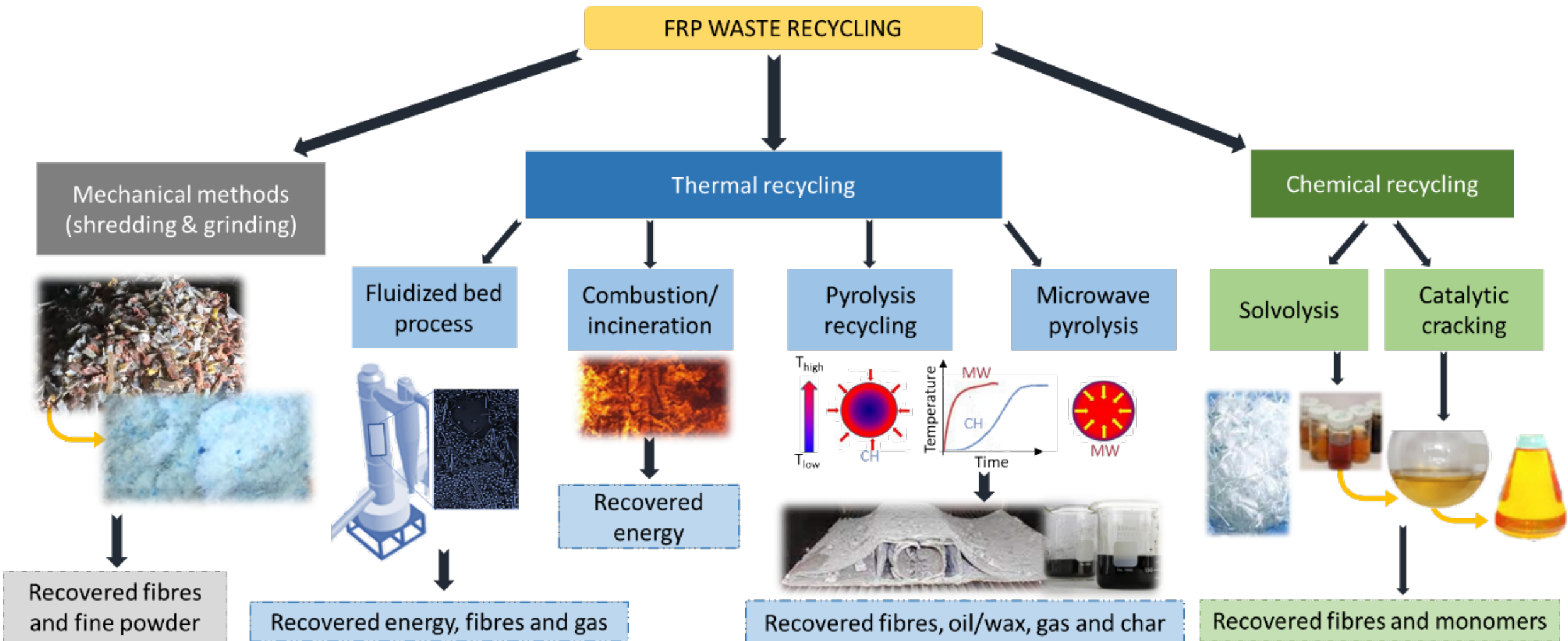
EÓLICO

En lo que respecta al sector eólico, la patronal europea del sector (WindEurope) y la Asociación Empresarial Eólica (AEE), en el marco del VI Congreso Eólico, han hecho un llamamiento a la Comisión Europea para proponer la prohibición en toda Europa del vertido de palas y góndolas de aerogeneradores fuera de servicio con objeto de acelerar el desarrollo de tecnologías de reciclaje sostenibles. Dicha prohibición, vigente ya en Austria, Finlandia, Alemania y Países Bajos, desea extenderse a toda Europa para 2025.

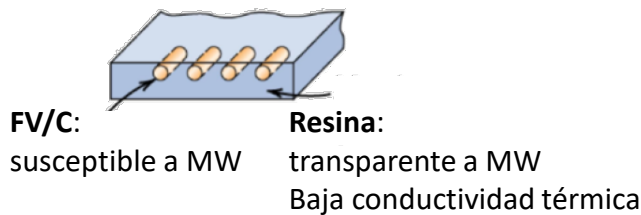
AERONÁUTICO

En cuanto al sector aeronáutico, el reciclaje de aeronaves es completamente voluntario y no está sujeto a regulación dado que el volumen de residuo generado es considerablemente menor al de otros vehículos (EU 2000/53 /EC). No obstante, las actividades de desmantelamiento de aviones sí deben atender a la normativa de gestión de residuos y buenas prácticas en actividades de reciclado reguladas por la Organización Internacional de Aviación Civil (International Civil Aviation Organization, ICAO) y la Asociación Internacional de Transporte Aéreo (International Air Transport Association, IATA)

Tecnologías existentes para el reciclado de materiales compuestos



Reciclado/valorización de materiales compuestos asistido por microondas



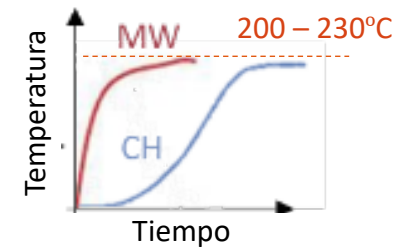
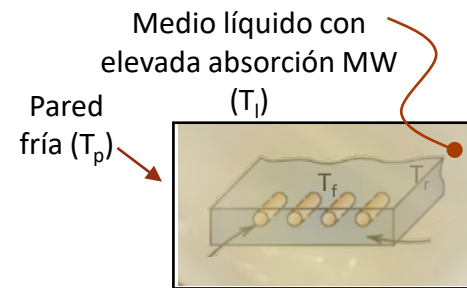
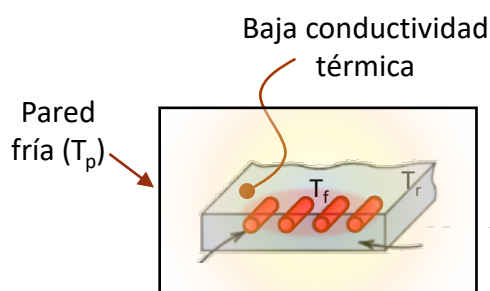
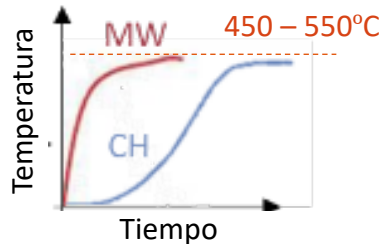
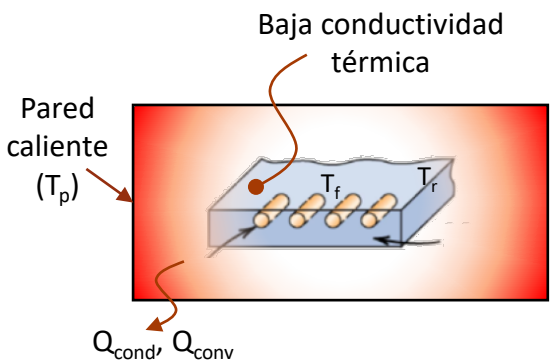
RECICLADO DE FIBRAS Y VALORIZACIÓN DE RESINAS

RECICLADO (QUÍMICO) DE FIBRAS Y RESINAS

Pirólisis - calentamiento convencional (CH)

Pirólisis asistida por microondas (MW)

Solvólisis asistida por microondas



- Alto consumo E
- $T_p \gg T_r > T_f$
- Pérdidas de calor

- ✓ Fibras
- ✓ Bio-oil
- ✓ Gas
- ❖ Residuo sólido

- Consumo E moderado
- $T_f > T_r > T_p$
- Menor degradación fibras
- Mejor purificación fibras

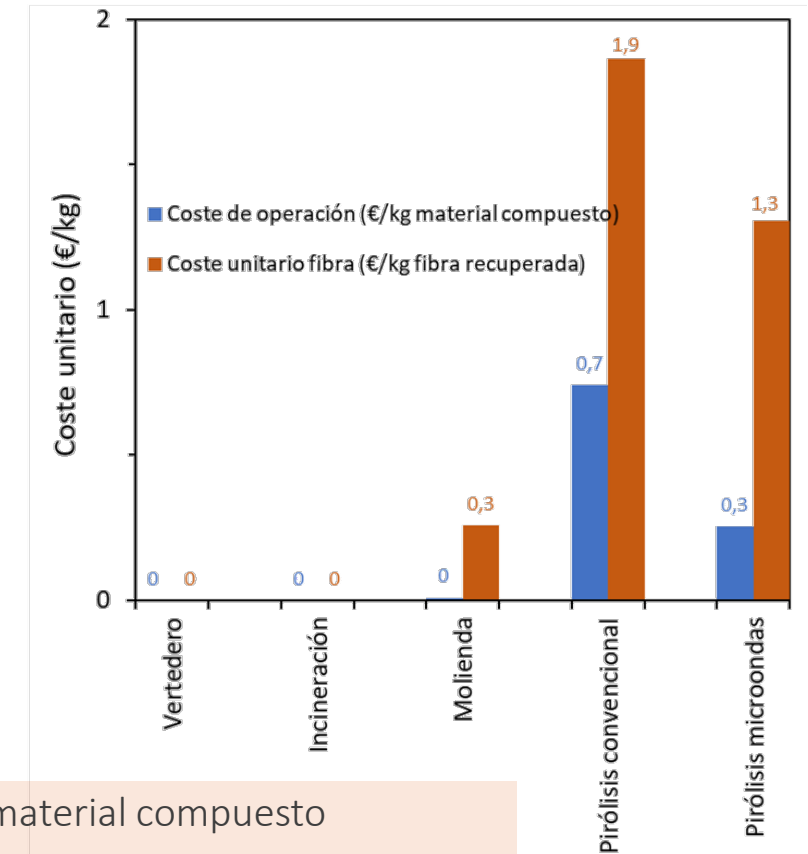
- ✓ Fibras (mejores caract.)
- ✓ Bio-oil (+ calidad)
- ✓ Gas
- ❖ Residuo sólido (- cantidad)

- Bajo consumo E
- $T_l > T_r = T_f$
- Recuperación monómeros
- Tratam. residuo líquido

- ✓ Fibras (+ cortas)
- ✓ Monómeros (proven. resinas)
- ❖ Residuo líquido (neutralizar)

Tecnologías de reciclado: demanda energética y huella de C

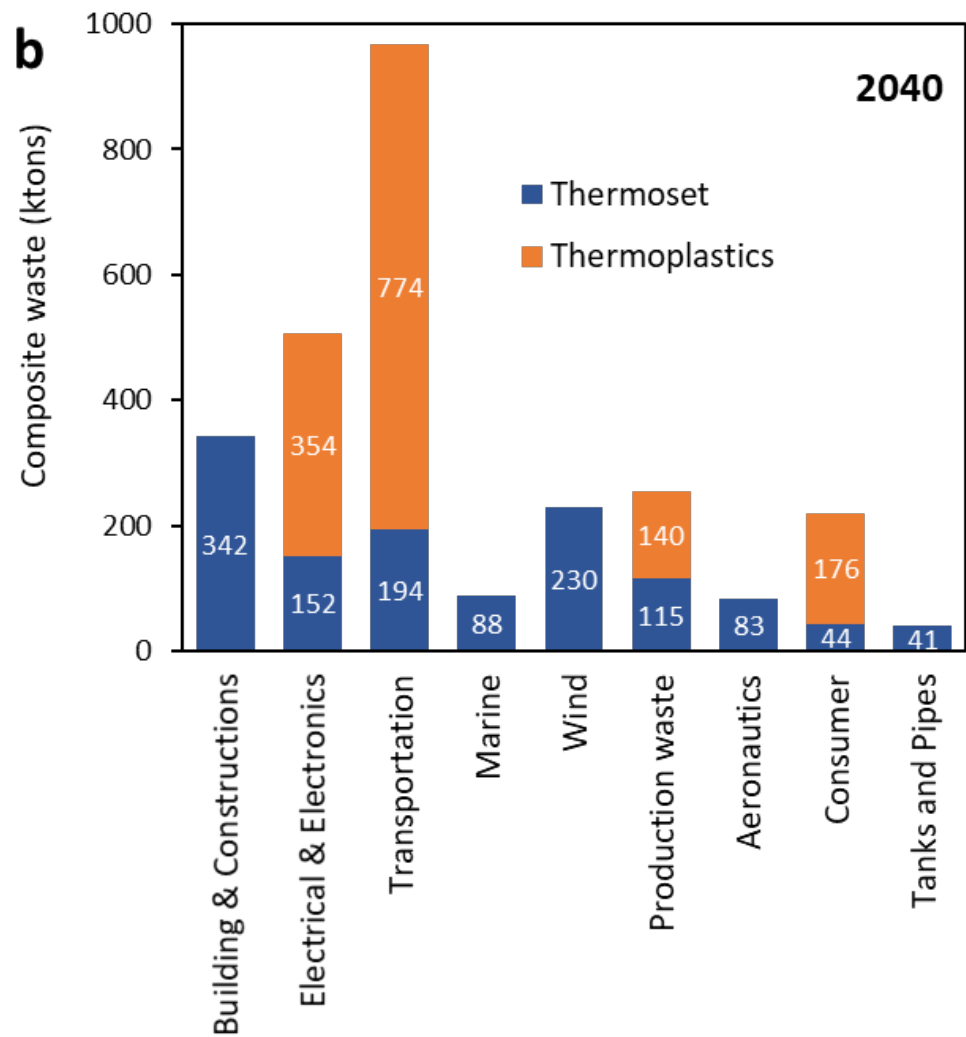
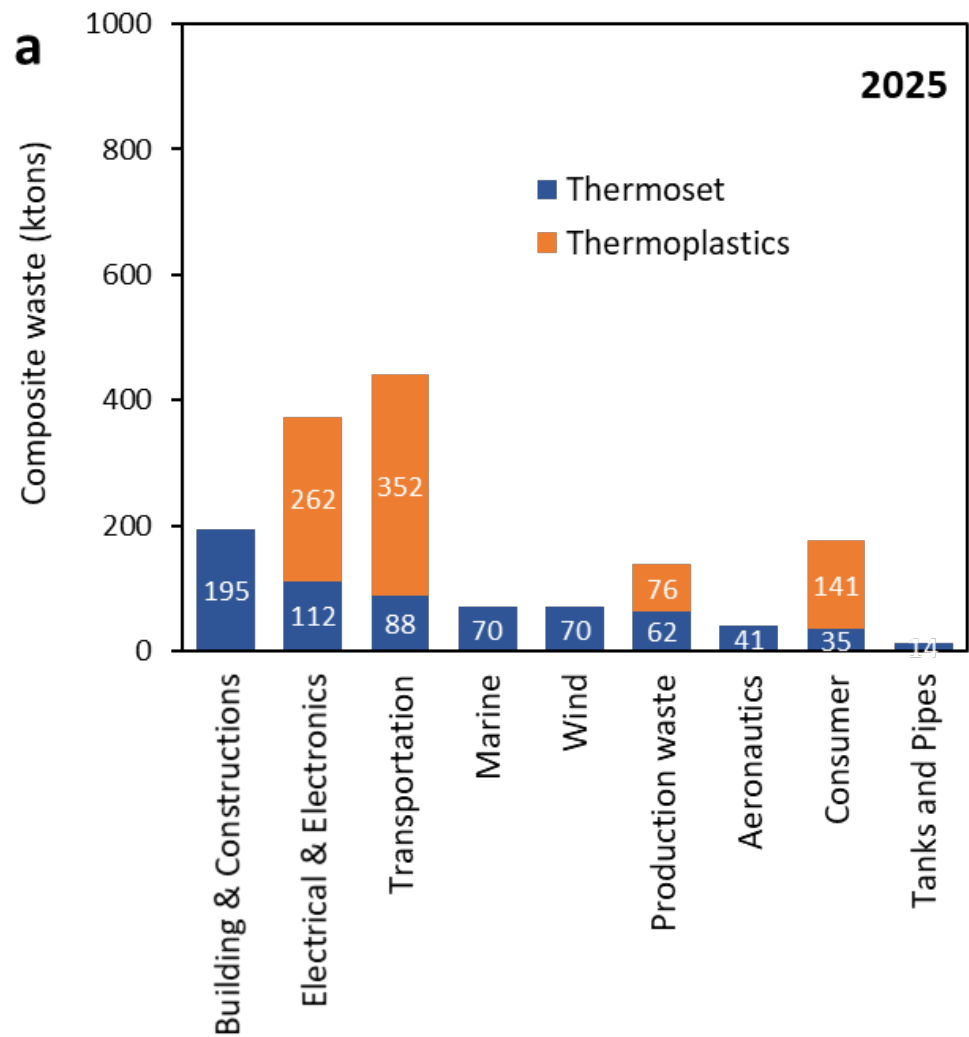
Tecnología de reciclado	Demanda energética (MJ/kg MC)	Ahorro CO ₂ equivalente anual (tCO _{2eq} /año)	Materia prima	Producto reciclado (kg/kg MC)
Reciclado mecánico	0.1 – 4.8	1.9	Electricidad	Fibra corta y polvo de fibra
Reciclado químico	21 – 91	16.4	Electricidad, ácido acético, agua y sosa	Fibra y resina epoxi
Pirólisis convencional	24 – 30	18.5	Electricidad, gas natural	Fibra, hidrocarburos en fase gas (parafinas C ₁ -C ₃) y líquida (C ₄ -C ₆), ésteres y alcoholes
Pirólisis asistida por microondas	5 – 10	20.4	Electricidad	Fibra, hidrocarburos en fase gas (parafinas C ₁ -C ₃) y líquida (C ₄ -C ₆), ésteres y alcoholes



- ✓ La **pirólisis asistida por microondas** es **3-5 veces menos intensiva** en uso de energía por kg de material compuesto
- ✓ **No requiere combustibles fósiles** ni el uso de productos químicos o susceptores microondas
- ✓ Permite **preservar** en gran medida las **propiedades mecánicas** de las **fibras**
- ✓ Permite **obtener bio-oils** bajo **condiciones más controladas** a partir de las resinas

➤ Viabilidad económica sujeta a disminución de CAPEX (estandarización) y evolución de la legislación en circularidad

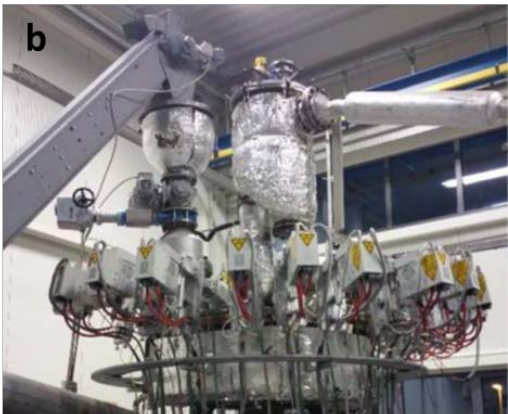
Estimación de la generación de residuos de material compuesto por sector



➤ 80% de crecimiento estimado multi-sectorial en la producción de residuos de materiales compuestos en el periodo 2025 – 2040.

Reciclaje de plásticos asistida por microondas: demostradores industriales

Prototipos de hornos microondas para reciclado/valorización de plásticos



Fabricante	Características	Potencia	Capacidad
Fricke-Mallah GmbH (Alemania)	Reactor MW pirolítico rotatorio	6 magn. – 6 kW @ 2.45 GHz	250 kg/h (< 1000 °C)
Muegge GmbH (Alemania)	Reactor MW para depolimerización	20 magn. – 3 kW @ 2.45 GHz	1000 kg/h (< 350 °C)
Enval Ltd. (Reino Unido)	Reactor MW para recuperación de Al laminado de envases plásticos	100 kW	500 kg/h (450 – 550 °C)

- ✓ No existen prototipos de reactor microondas a escala de demostración para reciclaje de materiales compuestos a nivel Europeo
- ✓ Oportunidad de liderazgo tecnológico nacional basado en el músculo de I+D+i existente en este ámbito

Desarrollo tecnológico: actores



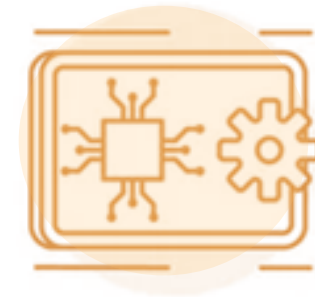
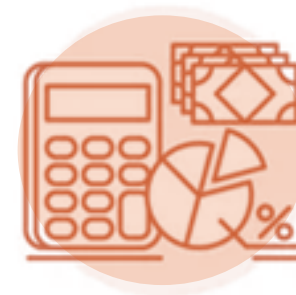
➤ Principales entidades a nivel nacional trabajando en tareas de desarrollo tecnológico en la cadena de valor del reciclaje de materiales compuestos por pirólisis asistida por microondas y actores públicos y privados asociados a la problemática en los sectores eólico y aeronáutico

Análisis DAFO para el reciclaje de FRP asistido por microondas

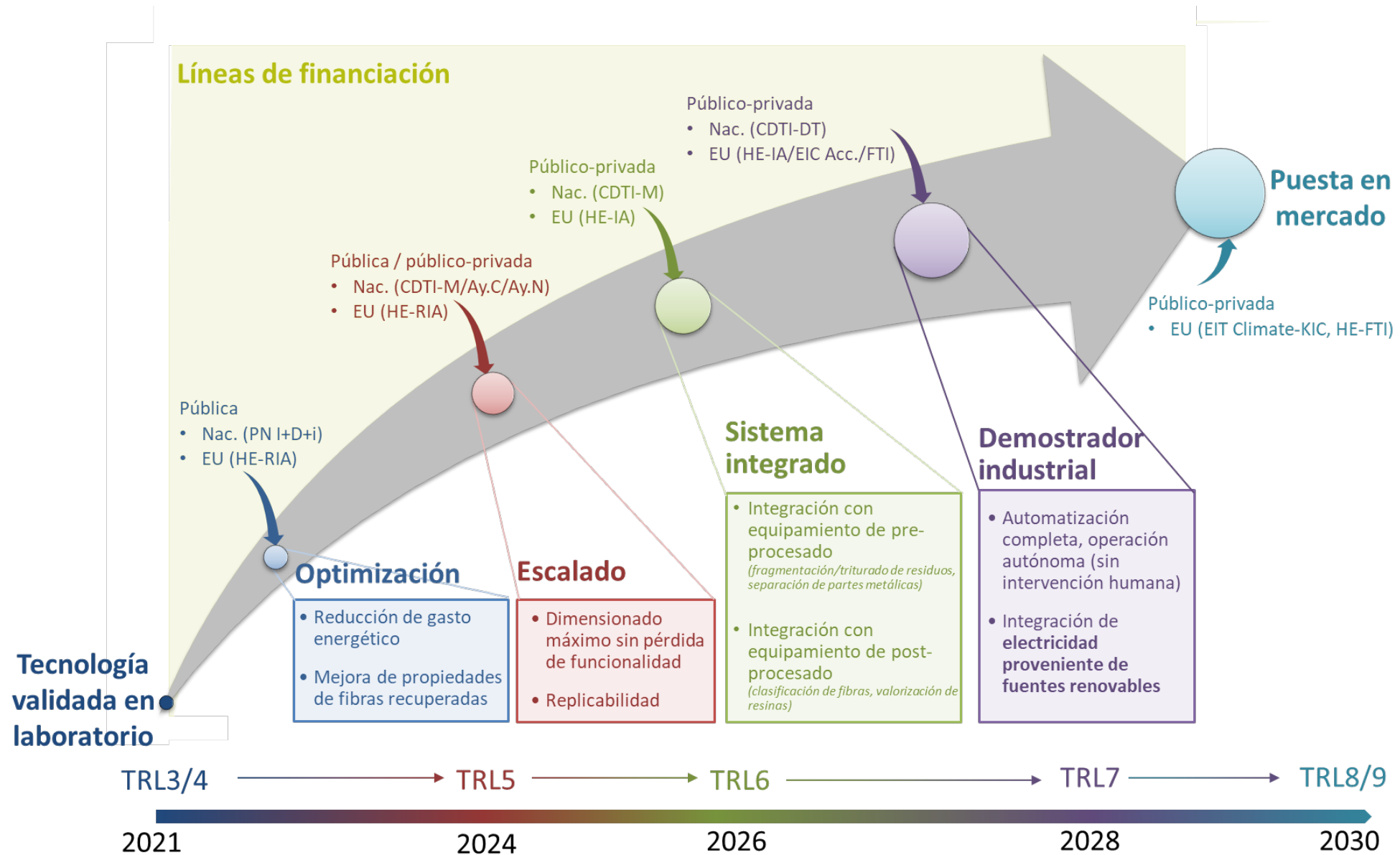
FORTALEZAS	DEBILIDADES
- Calentamiento selectivo - Eficiencia energética - Mejora en el control de proceso - Electrificación: operable a partir de fuentes renovables y compatible con industria 4.0. - Reducción de huella de CO₂ - Control electrónico - Prueba de concepto satisfactoria - Reducción de tiempos y temperaturas de operación - Bajo impacto en las propiedades mecánicas de las fibras - Adaptabilidad de productos generados a partir de resinas - Cortos periodos de amortización	- Dependencia de los materiales - Desarrollo de prototipos complejo - Reducido número de equipos industriales en funcionamiento - Alto coste de inversión en equipamiento - Escalabilidad no inmediata - Eventual formación de puntos calientes y heterogeneidades térmicas en la muestra
OPORTUNIDADES	AMENAZAS
- Gran cantidad de FRP a valorizar a corto-medio plazo - Normativa favorece inversión en procesos de reciclado - No hay ninguna otra tecnología de reciclado de FRP que presente mejores perspectivas - 2º país de Europa con mayor volumen de desmantelamiento previsto en sector eólico - Liderazgo mundial en reciclado de aeronaves - Calentamiento selectivo microondas: idóneo para separar fibras de resinas con bajo impacto en propiedades mecánicas - Valorización de resinas adaptable a necesidades de mercado (control térmico) - Promoción de tecnologías que garantizan circularidad, eficiencia energética, electrificación y reducción de huella de carbono - Posibilidad de convertirse en tecnología de referencia exportable a otros territorios, creando empleo y riqueza en España - Avance tecnológico: reducción de costes y mejora de eficiencia en generadores microondas de estado sólido	- Elevada complejidad para diseñar y desarrollar de instalaciones de gran capacidad - Estado del arte muy alejado de la implementación industrial - Difícil réplica de instalaciones para distintos materiales a tratar - Necesidad de una alta interdisciplinariedad en el diseño de los equipos. - Investigación intensiva en este campo: posibilidad de perder el “tren” de la innovación en favor de territorios con mayor apuesta por I+D+i

Análisis PESTEL

POLÍTICOS	- Apuesta decidida por estrategias de circularidad y sostenibilidad medioambiental (<i>Estrategia Española de Economía Circular 2030, Plan Nacional Integrado de Energía y Clima 2021-2030</i>)			●
	- Ayudas CDTI y programas de colaboración público-privada			●



Hoja de ruta para el desarrollo de la tecnología propuesta



Conclusiones

- Es importante desarrollar una estrategia de **economía circular** capaz de impulsar el **reciclaje** y la **valorización de materiales compuestos** que finalizan su vida útil, por el gran volumen de estos sectores como el eólico, aeronáutico y naval, entre otros.
- Actualmente se estima una generación de 220.000 toneladas de residuos procedentes del sector aeronáutico en los próximos 10 años a nivel europeo, un desmantelamiento anual en Europa de 140.000 embarcaciones de recreo con alto contenido en materiales compuestos, así como unas 500.000 – 550.000 toneladas de material compuesto proveniente de aerogeneradores a nivel europeo en el periodo 2020 – 2030.
- Por otro lado, es preciso desarrollar **nuevas opciones de reciclado** y valorización de materiales compuestos, técnica y económicamente viables para que puedan estar disponibles en el mercado para los agentes con activos asociados al final de su vida útil. La recuperación de fibras resulta energéticamente muy costosa y consume energía de combustibles fósiles para el procesado.
- En particular, la tecnología basada en la **pirólisis asistida por microondas** muestra excelentes perspectivas debido a la posibilidad de llevar a cabo un calentamiento selectivo de las fibras para facilitar la volatilización local de la resina en contacto con la superficie de la fibra con un menor aporte energético (5 – 10 MJ/kg FRP frente a los 24 – 30 MJ/kg FRP de la pirólisis convencional). Además, esta tecnología **puede ser operada con un aporte energético directamente proveniente de fuentes renovables**, evitando así el consumo de combustibles fósiles y las emisiones asociadas.



Muchas gracias por su atención



Tel.: [+34] 976 976 859 · circe@fcirce.es

www.fcirce.es