



UNIVERSIDAD DE LA PATAGONIA SAN JUAN BOSCO  
FACULTAD DE HUMANIDADES Y CIENCIAS SOCIALES  
LICENCIATURA EN GESTION AMBIENTAL

**PROPUESTAS PARA LA GESTION DE  
PALAS DE AEROGENERADORES COMO  
RESIDUOS DEL PARQUE EOLICO  
MANANTIALES BEHR, YPF LUZ**



**TESIS DE GRADO**

TESISTA: Alvarez Gabriela Camila

DIRECTOR: Lic. Svoboda Anna

REFERENTE INSTITUCIONAL: Ing. Toledo Omar

Comodoro Rivadavia

## AGRADECIMIENTOS

*“Nuestra recompensa se encuentra en el esfuerzo y no en el resultado.*

*Un esfuerzo total es una victoria completa”*

**Mahatma Gandhi**

Quiero dedicar estas palabras de agradecimiento, principalmente, a mi familia y amigos, quienes son el motor y la motivación de todos mis objetivos por crecer en la vida.

Especialmente, a mi grupo de estudio de casi toda la carrera, personas que siempre desde el compañerismo impulsaron a seguir y avanzar constantemente, pese a los momentos difíciles.

Particularmente a Anna Svoboda, mi directora, quien con su paciencia y amabilidad me acompañó y alentó en este proceso final. Así también, a Omar Toledo, quien aceptó cálidamente ser el referente institucional y brindó, no solo el acompañamiento, sino su experiencia e interés en el transcurso de todo el proceso.

Fueron muchas las personas, espacios e instancias que hicieron posible que me encuentre finalizando esta etapa tan importante para mí. Ello me lleva a recordar cada momento transitado y afirmar que pude disfrutar de cada pasito de esta carrera que hoy felizmente llega a su fin.

Eternamente agradecida a cada persona que fue parte de este camino tan importante en mi vida y me quedo con todos aquellos buenos momentos vividos.

Finalmente, y no menos importante, esto fue posible a la educación pública y gratuita.

¡Gracias!

## RESUMEN

La presente propuesta de intervención profesional tiene la ambición de indagar sobre las diferentes alternativas que se han estudiado en distintos países del mundo para tratar el problema latente de las palas de aerogeneradores como residuos generados en la industria de la energía eólica.

El análisis de las distintas técnicas de tratamiento investigadas, para este tipo de residuo complejo de reciclar, pretende ser de aporte para la aplicación en el parque eólico Manantiales Behr, operado por la empresa YPF Luz ubicado en la ciudad de Comodoro Rivadavia.

En los siguientes apartados se pondrá de manifiesto la complejidad del reciclaje de las palas eólicas y como esto ha despertado la preocupación en países que se encuentran finalizando la vida útil de sus parques, las diferentes propuestas y estudios de técnicas para la recuperación de estos residuos, la valorización de la fibra de vidrio, componente principal de las palas, y cómo es posible contribuir a evitar la deposición en vertederos, y así dotarlos de un segundo ciclo de vida y finalmente aportar a la economía circular.

## INDICES

<b>INDICES</b>	4
<b>CAPÍTULO 1: INTRODUCCIÓN</b>	9
1.1. INSTITUCIÓN INVOLUCRADA	9
1.2. CONTEXTO Y CARACTERIZACIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO	9
1.2.1. Ubicación geográfica	9
1.2.2. Características ambientales	12
1.2.3. Funcionamiento del parque eólico	13
<b>CAPITULO 2: IDENTIFICACION Y DESCRIPCION DEL PROBLEMA</b>	15
2.1. DIAGNOSTICO DEL PROBLEMA	15
2.2. MARCO TEORICO:	24
2.3. ANTECEDENTES:	30
2.2. RELEVANCIA Y JUSTIFICACIÓN DEL PROYECTO	37
<b>CAPÍTULO 3: OBJETIVOS</b>	39
3.1. OBJETIVO GENERAL	39
3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS	39
3.3. META	39
3.4. DESCRIPCIÓN DE LAS ACTIVIDADES	40
<b>CAPÍTULO 4: DESCRIPCION DE LAS ACTIVIDADES</b>	42
4.1. DESARROLLO	42
4.2. ALTERNATIVAS:	48
4.3. ANÁLISIS DE RESULTADOS	60
<b>CAPÍTULO 5:</b>	68
5.1. IMPACTO ESPERADO	68
5.2. DESCRIPCIÓN DE LOS RECURSOS NECESARIOS	68
5.5. CONSIDERACIONES METODOLÓGICAS DEL PROCESO DE EVALUACIÓN	69
5.5. CRONOGRAMA	70
<b>CAPITULO 6: CONCLUSIONES</b>	71
<b>CAPITULO 7: BIBLIOGRAFIA</b>	74

SITIOS WEB CONSULTADOS .....	77
CAPITULO 8: ANEXOS.....	81

## INDICE DE FIGURAS

Figura 1.	Mapa de ubicación general.. .....	10
Figura 2.	Distribución de aerogeneradores en el parque manantiales behr.....	11
Figura 3.	Distribución de aerogeneradores en el parque manantiales behr. ....	11
Figura 4.	Distribución de aerogeneradores en el parque manantiales behr.....	12
Figura 5.	Palas de aerogeneradores en vertedero. ....	16
Figura 6.	Palas de aerogeneradores en vertedero regional de Casper. ....	16
Figura 7.	Distribución de la edad de los aerogeneradores en Europa. ....	17
Figura 8.	Materiales compuestos. ....	22
Figura 9.	Halos fibra de vidrio. ....	23
Figura 10.	Comparación entre economía lineal y economía circular. ....	29
Figura 11.	Posibilidades de fin de vida de palas eólicas. ....	32
Figura 12.	Aerogenerador del antiguo parque Antonio Moran derribado por fuertes vientos.....	34
Figura 13.	Aerogenerador del antiguo parque Antonio moran. ....	35
Figura 9:	Pala eólica reutilizada en ingreso a la ciudad de Comodoro Rivadavia.....	36
Figura 14.	Plaza en Comodoro Rivadavia con palas eólicas reutilizadas.. .....	36
Figura 15.	Pirámide gestión de residuos. ....	43
Figura 16.	Proceso de separación de los componentes de una pala eólica .....	49
Figura 17.	Producto obtenido y aportación a mezcla asfáltica. ....	50
Figura 18.	Mobiliario interior con fibra de vidrio recuperada. Fuente: Ventos Metódicos. ....	52
Figura 19.	Mobiliario exterior con fibra de vidrio recuperada. ....	52
Figura 20.	Barrera acústica absorbente formada por planchas de plástico reciclado. ....	53
Figura 21.	Proceso de reciclaje de palas a vigas para paneles solares. ....	54
Figura 22.	Propuesta de puente a partir de reutilización de palas eólicas. ....	55
Figura 23.	Propuesta de puente a partir de reutilización de palas eólicas.....	56
Figura 24.	Propuesta de reutilización de palas eólicas para tendido de líneas eléctricas. ..	56

Figura 25. Aerogeneradores y potencia instalada en argentina. ....58  
Figura 26. Jerarquía de gestión de residuos de la UE. . ....61  
Figura 27. Diferentes técnicas de gestión de palas eólicas analizadas. ....66

**INDICE DE TABLAS**

Tabla 1.	Composición de los elementos de un aerogenerador. ....	18
Tabla 2.	Componentes de un aerogenerador. ....	21
Tabla 3.	Objetivos específicos, metas asociadas y actividades desarrolladas. ....	41
Tabla 4.	Categorización de residuos en YPF Luz. ....	44
Tabla 5.	Plan de gestión ambiental para el parque Manantiales Behr. ....	47
Tabla 6.	Total de palas eólicas por la cantidad de parque eólicos de la empresa YPF Luz.....	59
Tabla 7.	Cronograma de la propuesta de intervención profesional.....	70

## **INDICE DE ACRONIMOS**

- ACV: Analisis de Ciclo de Vida, 29
- AEE: Asociacion Empresarial Eolica, 31
- CEA: Camara Eolica Argentina, 56
- CMASS: Calidad Medio Ambiente Seguridad y Salud, 43
- EPPs: Elementos de Proteccion Personal, 68
- EsIA: Estudio de Impacto Ambiental, 37
- ISO: International Standarization Ortanization, 29
- ONU:Organizacion de las Naciones Unidas, 27
- PNUMA: Programa de Naciones Unidas para el Medio Ambiente, 27
- RAE: Real Academia Española, 25
- SCPL: Sociedad Cooperativa Popular Limitada, 33
- SET: Subestacion Transformadora, 13

## CAPÍTULO 1: INTRODUCCIÓN

### 1.1. INSTITUCIÓN INVOLUCRADA

El presente trabajo se desarrolló en el ámbito de la empresa YPF S.A, compañía que se destaca por sus actividades principales dedicadas a la explotación y producción de hidrocarburos, refinería, marketing y química, desarrolladas en distintas provincias de Argentina, como así también en regiones de otros países como Chile y Bolivia.

El parque eólico Manantiales Behr, el cual es foco de investigación para el desarrollo de la presente Propuesta de Intervención Profesional, pertenece a YPF ENERGÍA ELÉCTRICA S.A, conocida como YPF Luz, la cual fue fundada en agosto de 2013 como resultado de una reestructuración y acuerdo de escisión entre YPF y Pluspetrol Energy S.A. El Parque Eólico Manantiales Behr consiste en la generación de energía eléctrica a partir de la operación de 30 aerogeneradores distribuidos en una superficie de 20 km<sup>2</sup>, los cuales ocupan una superficie total de 6.000 m<sup>2</sup> (200 m<sup>2</sup> cada aerogenerador). Dicho parque demandó una inversión de aproximadamente 200 millones de dólares con el propósito de diversificar la matriz energética con una fuente de energía renovable y segura.

La ubicación privilegiada del parque aprovecha los fuertes vientos patagónicos que marcan la zona con uno de los factores de ventilación más altos del mundo lo cual permitió instalar una de las mayores potencias. El yacimiento de Manantiales Behr se localiza dentro de la Cuenca del Golfo San Jorge, en el departamento de Escalante, Provincia de Chubut.

### 1.2. CONTEXTO Y CARACTERIZACIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO

#### 1.2.1. UBICACIÓN GEOGRÁFICA

El parque eólico se encuentra ubicado en la Cuenca del Golfo San Jorge, dentro del yacimiento Manantiales Behr, operado por YPF S.A, en el departamento de Escalante, provincia de Chubut, Patagonia, Argentina, aproximadamente a 45 km al Noroeste de la ciudad de Comodoro Rivadavia.

En la figura N° 1 se puede observar la ubicación general del área donde se encuentra establecido el parque eólico.

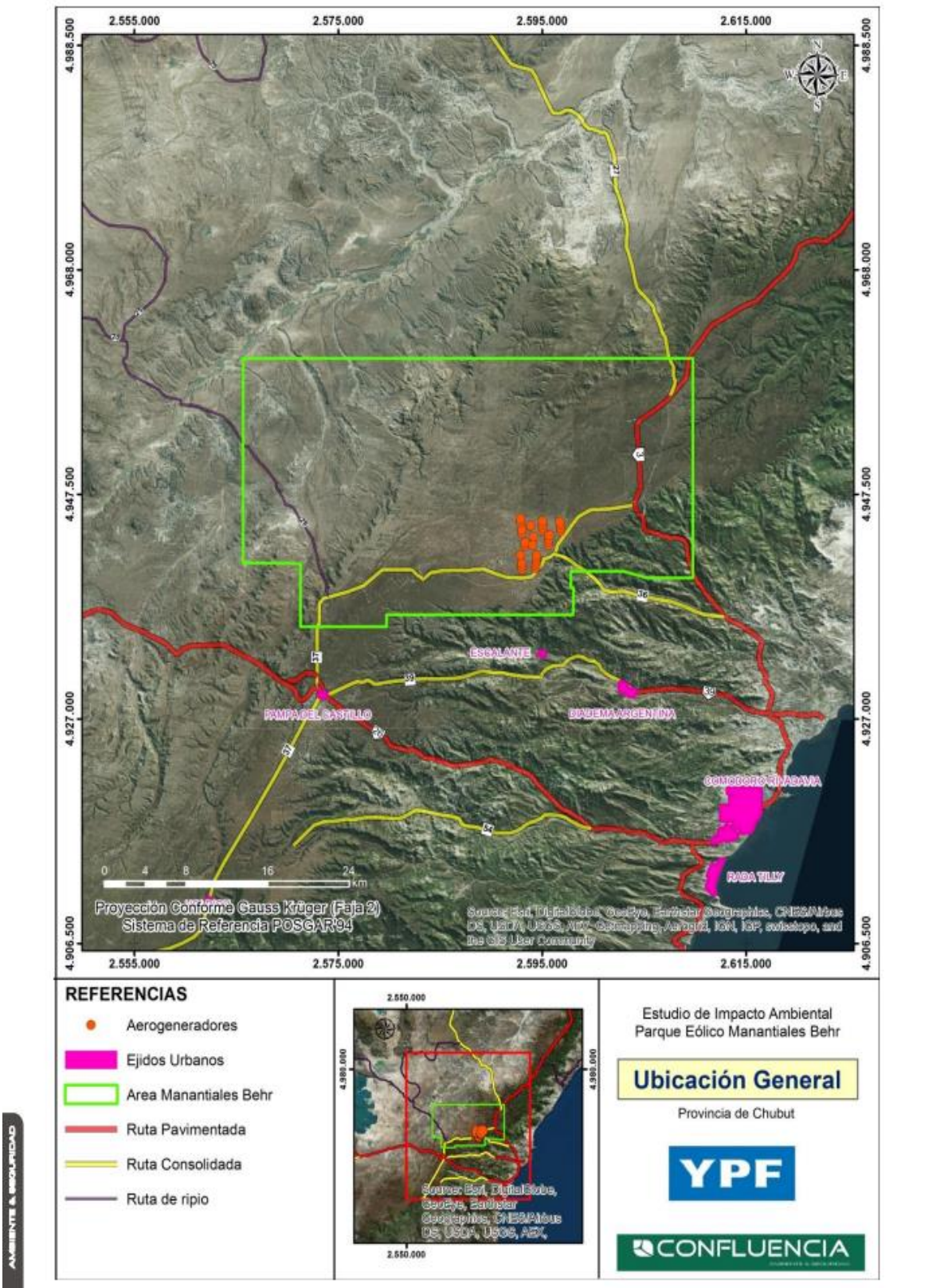


Figura 1. MAPA DE UBICACIÓN GENERAL. FUENTE: EIA PARQUE EÓLICO MANANTIALES BEHR.

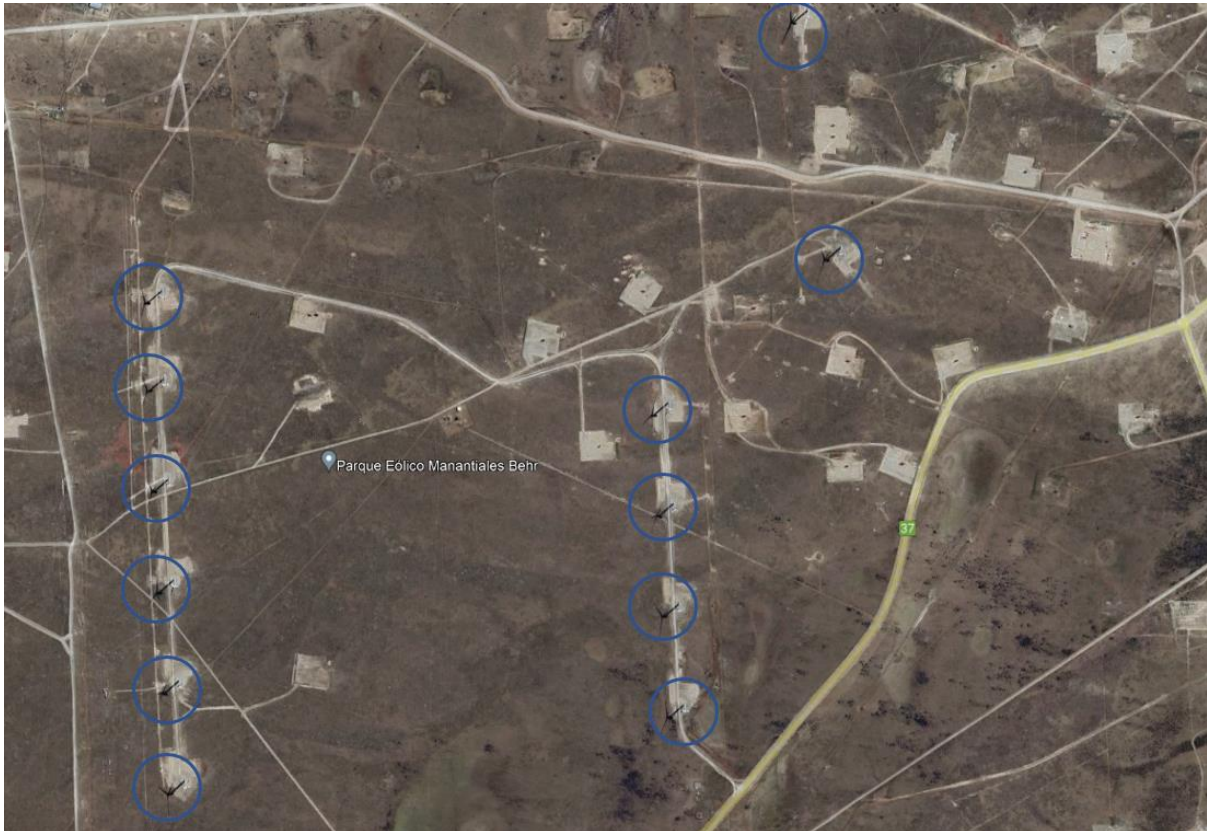
En las siguientes figuras obtenidas por imágenes satelitales a partir de la herramienta Google Earth, se puede apreciar la disposición actual de los 30 equipos aerogeneradores dentro del parque eólico Manantiales Behr.



**Figura 2. DISTRIBUCIÓN DE AEROGENERADORES EN EL PARQUE MANANTIALES BEHR. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA A PARTIR DE GOOGLE EARTH, 2022.**



**Figura 3. DISTRIBUCIÓN DE AEROGENERADORES EN EL PARQUE MANANTIALES BEHR. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA A PARTIR DE GOOGLE EARTH, 2022.**



**Figura 4. DISTRIBUCIÓN DE AEROGENERADORES EN EL PARQUE MANANTIALES BEHR. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA A PARTIR DE GOOGLE EARTH, 2022.**

### 1.2.2. CARACTERÍSTICAS AMBIENTALES

El sitio estudiado se encuentra dentro de las latitudes medias del hemisferio Sur (desde la latitud  $42^{\circ}$  S hasta  $46^{\circ}$  S) lo cual implica un condicionante importante en su clima árido patagónico.

El área que abarca el parque se asienta sobre depósitos correspondientes a pedimentos, sedimentos continentales de la Formación Sarmiento, depósitos marinos de la Formación Chenque, y los aterrazados de Pampa del Castillo acompañados en partes por sedimentos coluviales y aluviales. Esta área de emplazamiento se ubica al Oeste de la meseta de Pampa del Castillo que se caracteriza regionalmente por presentar una topografía suave e inclinada hacia el Noroeste. La altitud varía en el orden de los 676-647 m.s.n.m. Esta topografía es a su vez disectada por valles y cañadones fluviales en forma de “V”. Sobre los flancos de los mismos se desarrollan cárcavas. Estos valles presentan pendientes pronunciadas y profundidades de más de 10 metros. En el área donde se encuentra el Parque Eólico Manantiales Behr, la pendiente es en promedio del 3,5% a -10,6 %, de acuerdo al perfil Oeste-

Este. Mientras que en el caso del perfil Norte-Sur la pendiente tiende a ser más plana con un promedio del 2,6% a -2,4 %.

La vegetación que se encuentra comprendida en la zona de estudio pertenece a la Provincia Fitogeográfica Patagónica perteneciente al Dominio Andino Patagónico de la Región Neotropical. La vegetación en esta provincia es heterogénea como consecuencia de la variabilidad en la geomorfología, los suelos y el clima. La cobertura vegetal promedio es moderada a alta, alcanzando valores entre 68% y 80%. Los valores de Suelo Desnudo rondan entre 20% y 32%. Sobre la base de los resultados obtenidos en el relevamiento hecho en campo para el Estudio de Impacto Ambiental, se pudo definir a la comunidad vegetal como una Estepa Arbustiva Graminosa.

Paisajísticamente, el área del parque corresponde a una zona mayoritariamente de mesetas, con pendientes regionales muy bajas. Los procesos que modelaron el paisaje son predominantemente fluviales y eólicos. Cabe mencionar que el área de estudio corresponde a un área hidrocarburífera que se ha mantenido en producción durante las últimas décadas. Por ello, en términos generales, el sitio presenta abundantes disturbios e infraestructuras (locaciones de pozos, ductos, líneas eléctricas, caminos y picadas) que caracterizan el paisaje.

---

### 1.2.3. FUNCIONAMIENTO DEL PARQUE EÓLICO

Como se mencionó anteriormente, el parque eólico cuenta con 30 aerogeneradores, de los cuales cada uno de ellos tiene una potencia nominal de 3,4 MW, una altura de eje de 79,5 metros, un diámetro de barrido de 108 metros, cada uno de ellos posee 3 palas de diseño aerodinámico de aproximadamente 45 metros de longitud. El tiempo de vida útil que se estima por cada aerogenerador es de 20 años aproximadamente.

Dentro del parque se ubica el edificio de funcionamiento de la Subestación Transformadora (SET), en el mismo predio se encuentra el edificio de mantenimiento, la playa de estacionamiento, una playa de maniobra, una playa para la línea de tensión 132 kv, un sector de entrada de aerogeneradores de 35 kv, un tanque de bombeo de agua potable, un tanque enterrado de aguas servidas y una playa de entrada de equipos. El predio ocupado por todas las infraestructuras mencionadas ocupa una superficie total de 6.950 m<sup>2</sup> aproximadamente.

El principal cliente de YPF Luz es YPF S.A, quien compra más del 70% de la energía producida en el parque para sus operaciones, y de esta manera, logra ser una de las primeras empresas en cumplir con el requisito de la Ley de Energías Renovables, que establece que, en 2018 un 8% de la energía utilizada por grandes usuarios debe ser de fuente renovable.

## CAPITULO 2: IDENTIFICACION Y DESCRIPCION DEL PROBLEMA

### 2.1. DIAGNOSTICO DEL PROBLEMA

Desde comienzos del siglo XXI las sociedades se enfrentan al desafío de reducir las emisiones de gases de efecto invernadero para evitar una catástrofe global. La generación de energía a partir de fuentes fósiles representa una de las principales actividades responsables de estas emisiones. Es por ello, que la implementación de tecnologías renovables es una de las estrategias para lograr la diversificación energética que contribuya en la lucha contra el cambio climático.

En la actualidad, la producción de energía eólica ocupa los primeros lugares en referencia a generación eléctrica a partir de energías renovables. Producto del aumento en la capacidad instalada a nivel global, se ha experimentado un crecimiento en la industria eólica y un visible avance tecnológico aplicado a la fabricación de los aerogeneradores para hacerlos más eficientes.

Desde el punto de vista ambiental, los parques eólicos presentan varias ventajas comparativas sobre las centrales térmicas convencionales que utilizan carbón, derivados del petróleo o gas natural. Entre ellas, principalmente que no utilizan combustibles, no emiten contaminantes al aire, ni gases de efecto invernadero. La energía eólica se ha convertido en una de las fuentes renovables más prometedora en los últimos años para alcanzar la transición energética y la descarbonización de la matriz energética, impulsando su desarrollo y crecimiento.

No obstante, a nivel mundial, se han despertado ciertas preocupaciones ambientales en torno a la energía eólica. Y ello tiene lugar en la etapa final del ciclo de vida útil de los equipos aerogeneradores.

El problema de la gestión de los residuos de la industria eólica se ha sensibilizado en los últimos tiempos en países que fueron pioneros en el desarrollo de grandes proyectos y actualmente se enfrentan el cuestionamiento de la completa sostenibilidad de los parques eólicos, los cuales no pueden ser totalmente reciclados una vez que finalizan su vida útil.

Entre el 85% y el 90% de los componentes de una turbina eólica son reciclables según WindEurope, asociación que promueve el uso de la eólica en Europa. Sin embargo, el 10%

restante, específicamente las palas, su reciclaje puede ser sumamente complejo y costoso, debido a que están constituidas de materiales compuestos como resinas y fibra de vidrio que dificultan la reutilización de dicho componente. Actualmente, no hay legislación que considere a estos residuos como peligrosos y por lo tanto no hay regulación para su disposición final, lo cual conlleva a escenarios de cientos y miles de palas eólicas dispuestas o enterradas en extensos terrenos, tal como se puede visualizar en las siguientes imágenes.



**Figura 5. PALAS DE AEROGENERADORES EN VERTEDERO. FUENTE: ECODISEÑO DE UN AEROGENERADOR.**



**Figura 6. PALAS DE AEROGENERADORES EN VERTEDERO REGIONAL DE CASPER. FUENTE: WORL ENERGY TRADE, CONSULTADO EN [HTTPS://WWW.WORLDENERGYTRADE.COM/ENERGIAS-ALTERNATIVAS](https://www.worldenergytrade.com/energias-alternativas). CONSULTADO 21/08/2023.**

La primera generación de aerogeneradores, en muchos países, están llegando al fin de su vida útil, lo cual representa un gran volumen de residuos emergente en el corto plazo que requieren de un tratamiento adecuado para evitar que terminen en vertederos descontrolados.

Dada la problemática que se está generando a partir del envejecimiento de los aerogeneradores en el mundo, WindEurope ha planteado un modelo de desmantelamiento con el fin de conseguir, en un escenario futuro, un plan global de actuación. Dentro de los parques eólicos terrestres, cerca de 34 mil equipos en Europa tienen 15 años o más de antigüedad, lo que representa 36 GW de capacidad. Dentro de este grupo, aproximadamente 9 GW tienen 20 a 24 años o más y 1 GW más de 25 años. En la siguiente figura se puede apreciar la distribución de la edad que tienen los aerogeneradores instalados actualmente en Europa (Wind Europe, 2020).

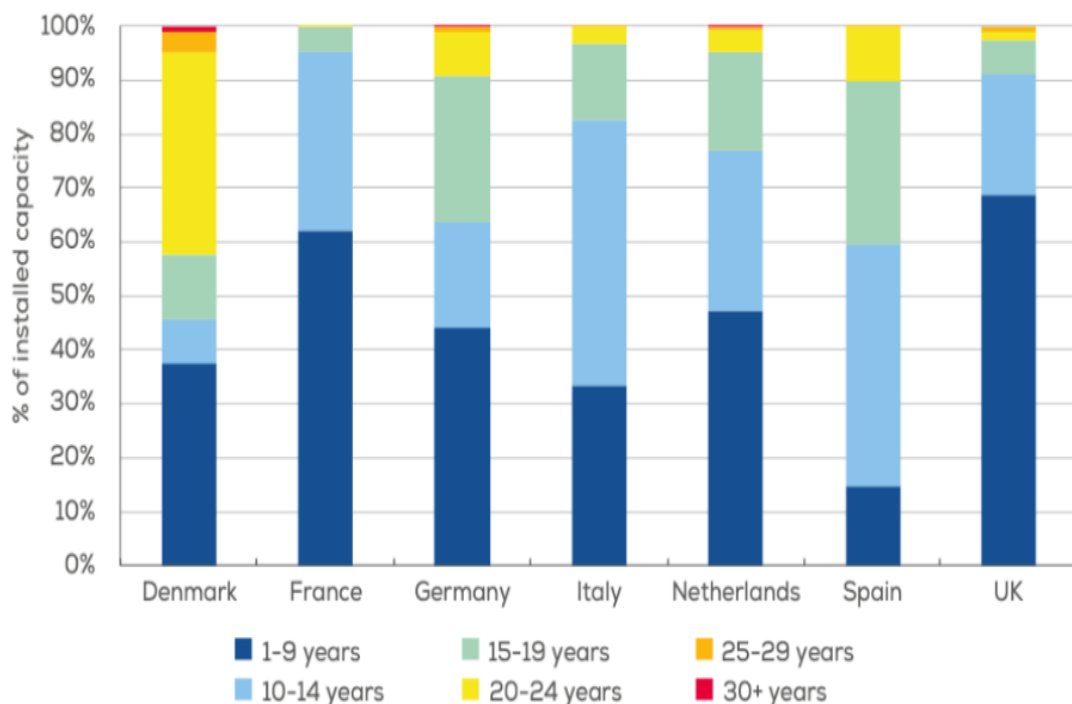


Figura 7. DISTRIBUCIÓN DE LA EDAD DE LOS AEROGENERADORES EN EUROPA. FUENTE: WIND EUROPE.

Por lo hasta aquí mencionado, las palas de aerogeneradores fuera de uso suponen un problema medioambiental para la industria debido a las elevadas cantidades y volumen de residuo que pueden implicar en el corto o mediano plazo. La preocupación por que estos voluminosos residuos terminen en vertederos, radica en que, si bien se puede considerar como un compuesto inerte y no biodegradable, si es cortado o triturado, el polvo de fibra de vidrio generado puede provocar graves riesgos para la salud humana. Su inhalación, ingestión o contacto con la piel puede causar irritación de la piel y dificultad para respirar. (Aguado. A 2021, pag.38).

A partir de lo anterior y apuntando a conseguir el 100% de reciclabilidad o reutilización de las máquinas, el sector eólico continúa trabajando en el desarrollo de soluciones que permitan avanzar hacia el aprovechamiento completo de los componentes de un aerogenerador, siendo los materiales compuestos, de los que están fundamentalmente fabricadas las palas, una de las principales líneas de investigación dentro del sector.

En la siguiente tabla 1 se refleja de manera simplificada la composición de los elementos de un aerogenerador.

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

Tabla 1. COMPOSICIÓN DE LOS ELEMENTOS DE UN AEROGENERADOR. FUENTE: FOX, 2016.

En la actualidad, el aerogenerador más implementado en el mundo y el tipo del cual se hará referencia en el presente documento es el aerogenerador de eje horizontal rápido, con rotor compuesto por tres palas.

Dentro de los principales componentes de un aerogenerador se destacan:

El buje, cuya principal función que acomete es la de alojar las palas en su posición sin variaciones, así como sus sistemas de cambio de orientación y giro.

El cono del buje, protege a este mismo y a los componentes que se encuentran en su interior para proporcionar una vida útil más duradera y cumple la función de desviar el viento incidente hacia las palas.

Las palas, están fabricadas con un perfil aerodinámico similar al usado en las alas de los aviones para conseguir un gran aprovechamiento del viento incidente para moverlas cuando así se requiera. Suelen estar compuestas de materiales ligeros y duraderos como la fibra de vidrio, fibra de carbono y resinas.

El tamaño de las palas es directamente proporcional a la potencia (que está relacionada con la superficie de barrido) y a la altura (al separar las palas del suelo, hay menos rozamiento con este y los vientos tienen velocidades mayores). Están unidas al rodamiento del buje mediante una corona de pernos que permite el eje longitudinal de la misma, y su longitud varía desde 45 metros y 66 metros. (Cobreiro, P, 2014, pág.16).

El freno de tipo mecánico consta de un disco y unas zapatas hidráulicas que están situadas en el eje de baja velocidad. Este tipo de freno es un freno de apoyo al aerodinámico y se usa para tareas de mantenimiento.

El eje de baja velocidad es el eje que está directamente conectado con el buje, y por lo tanto con las palas, por lo que la velocidad de giro de este eje es la misma que realizan las palas.

La caja de cambios es una caja de engranajes cuya función es la de multiplicar la velocidad de giro a la salida en el eje de alta velocidad frente a la velocidad que recibe del eje de baja velocidad para así conseguir el régimen de giro más alto que precisa el generador para hacer su función.

El controlador es el aparato encargado de transmitir a la persona responsable del mantenimiento del aerogenerador cualquier mensaje de error de funcionamiento o problema que pudiera surgir.

La góndola la cual tiene una forma de “caja” y cumple la función de albergar muchos de los componentes del aerogenerador como son la caja de cambios, los ejes y el generador entre otros elementos.

El bastidor de la góndola que actúa como bancada para todos los elementos situados dentro de la góndola, asegurando así que ninguno de estos elementos se desplace y se mantenga firmemente en el sitio en el que fueron colocados en su diseño e implementación iniciales.

El eje de transmisión o eje de alta velocidad que conecta la caja de cambios con el generador. Gira a una velocidad mucho más alta que el eje de baja velocidad en función de la relación de giro por la que haya sido multiplicada en la caja de cambios.

El generador es el aparato encargado de transformar la energía mecánica de giro que recibe del eje de alta velocidad en energía eléctrica, que más tarde pasará por toda la torre mediante cables eléctricos hacia el transformador para conseguir unas características específicas de esta electricidad que la hagan apta para el transporte.

El transformador, generalmente situado en la base del aerogenerador, es el encargado de proporcionar el voltaje adecuado a la electricidad que recibe desde el generador para que así pueda ser transportada a una subestación y de ahí a la red eléctrica.

Finalmente, la torre, que representa el elemento estructural que se encarga de soportar todo el peso de la góndola y el rotor. Tiene dentro de ella un ascensor y/o una escalera para el acceso a los elementos elevados y unos cables eléctricos para transportar la electricidad desde el generador hasta el transformador. (Imperial, 2010, pág.36).

Resulta importante describir también el proceso de cimentación, que tiene como función principal la de soportar el peso de todo el aerogenerador y de mantener su posición sobre la cota horizontal tras las diferentes fuerzas que pudieran surgir en su superficie. La cimentación consta del anclaje y de la zapata. El anclaje es diseñado como continuación de la torre, a la cual se atornilla por medio de una brida interior. La zapata es de planta cuadrada o

circular y está construida con hormigón y una armadura de acero con bajo contenido en carbono.

La siguiente tabla refleja los componentes de un aerogenerador promedio, el material que lo compone, el peso total por componente y el proceso de fabricación:

Cantidad	Componente	Material	Peso (kg)	Proceso de fabricación
3	Pala	Fibra de vidrio con resina epoxy	6500	Moldeo por compresión
1	Buje	Hierro de fundición nodular 350/22	$1,4 \cdot 10^4$	Fundición
1	Cono del buje	Fibra de vidrio con resina epoxy	310	Moldeo por compresión
1	Cimentación hormigón	Hormigón (cemento Portland)	$7 \cdot 10^5$	Ensamblaje
1	Cimentación Acero bajo carbono	Acero bajo carbono AISI 1010 recocido	$2,5 \cdot 10^4$	Forjado
1	Góndola	Acero bajo carbono AISI 1010 recocido	$1,5 \cdot 10^4$	Forjado
1	Torre	Acero bajo carbono AISI 1010 recocido	$1,43 \cdot 10^5$	Forjado
1	Bastidor de la góndola	Hierro de fundición nodular 350/22	$1,1 \cdot 10^4$	Fundición
1	Eje de la góndola	Acero de baja aleación AISI 3140 recocido	6100	Forjado
1	Transformador bobina	Cobre C12500 forjado duro	1500	Forjado
1	Transformador cuerpo	Acero bajo carbono AISI 1010 recocido	3300	Forjado
1	Generador bobina	Cobre C12500 forjado duro	2000	Forjado
1	Generador cuerpo	Acero bajo carbono AISI 1010 recocido	4290	Forjado
1	Eje de transmisión	Acero bajo carbono AISI 1010 recocido	8000	Forjado
1	Engranaje de transmisión	Hierro de fundición nodular 350/22	8000	Forjado
1	Carcasa góndola	Fibra de vidrio con resina epoxy	2000	Moldeo por compresión
<b>TOTAL</b>			<b><math>9,6 \cdot 10^5</math></b>	

Tabla 2. COMPONENTES DE UN AEROGENERADOR. FUENTE: (ASHBY M. F., 2009, PAG.29).

En el siguiente apartado se profundizará sobre la constitución de las palas eólicas para determinar dónde radica la especial dificultad para su reciclaje.

Las palas de los aerogeneradores están constituidas con una estructura central resistente y dos cubiertas exteriores que forman el perfil aerodinámico, de forma alabeada y anchura decreciente hacia la punta en dirección axial. Generalmente se encuentran fabricadas de materiales compuestos, es decir, aquellos que se obtienen de la unión de dos materiales para obtener uno nuevo con mejores propiedades que la de sus dos elementos por separado.

En un material compuesto se pueden diferenciar dos fases: una fase continua, la matriz, que es el elemento intersticial que actúa como soporte para moldear las fibras o para proteger al refuerzo frente a agentes externos (luz, humedad, agentes químicos, etc.) y, por otra parte, la fase dispersa, que es un refuerzo. Las funciones del refuerzo son básicamente las de aportar propiedades mecánicas resistentes.

El tipo de refuerzo en las palas eólicas suelen ser principalmente fibras inorgánicas como la fibra de vidrio. La función de este refuerzo es el de aportar resistencia y rigidez al material, debido a su comportamiento marcadamente direccional. Las estructuras compuestas de fibra de vidrio y resinas son muy empleadas en la industria al ser de bajo costo, ligeras y resistentes frente a la corrosión y el desgaste.

Tal como se mencionó, las dos fases que componen a estos materiales se pueden visualizar en la siguiente imagen:



Figura 8. MATERIALES COMPUESTOS. FUENTE: COMPOSITESLAB.

El material compuesto de fibra de vidrio y resinas de poliéster representan aproximadamente el 70% del peso de los componentes de una pala de aerogenerador (Toledo, 2015, pag.14).

Puntualmente, la fibra de vidrio como se puede apreciar en la figura 6 son halos de fibra de vidrio, estos pueden ser dispuestos en la matriz plástica de diversas formas, dependiendo de las características requeridas del producto resultante. Presentan muy buenas propiedades globales en una sola dirección. En la fabricación de palas eólicas se requiere que la disposición de las fibras en la matriz plástica presente un carácter casi-isotropico, es decir, varias capas de fibra de vidrio superpuestas en distintas direcciones, en función de los esfuerzos a los que tenga que estar sometido el material.



**Figura 9. HALOS FIBRA DE VIDRIO. FUENTE: TOLEDO 2015**

A nivel medioambiental, la fibra de vidrio en sí, es inerte y por lo tanto no se considera como residuo peligroso. Sin embargo, a nivel de seguridad y de salud, en procesos de corte que permiten el desprendimiento de partículas, las fibras resultan muy peligrosas para las vías respiratorias. En los procesos de fabricación y mantenimiento se suele trabajar con equipos de protección personal como el uso de máscaras y protección respiratoria. (Toledo, 2015, pag.11).

Para el caso de las resinas, el otro componente mayoritario de las palas, estas pueden ser polímeros termoestables, las cuales son cadenas de polímeros altamente cruzados, que forman una estructura de red tridimensional. Dado que las cadenas no pueden girar ni deslizarse, estos polímeros generalmente son más resistentes, aunque más frágiles, que los termoplásticos. Tienen la desventaja de no tener una temperatura de fusión fija y eso hace que sea difícil reprocesarlos una vez suceda la formación de enlaces cruzados. Esa característica es la especial dificultad que se encuentra para poder hacer un reciclado de un material compuesto de fibra de vidrio reforzado con una resina de este tipo. (Toledo, 2015, pag.12).

Entre los polímeros termoestables más comunes en las palas de los aerogeneradores se encuentran tanto las resinas de poliéster como las de epoxi.

La resina epoxi se utiliza generalmente para endurecer otros productos como pinturas y barnices para ganar resistencia. Y la resina poliéster son de menor coste, pero no son generalmente tan fuertes como las resinas epoxi. Los poliésteres insaturados son utilizados ampliamente como matrices de plásticos reforzados con fibras y son las resinas artificiales más comunes usadas como refuerzo en las palas de aerogeneradores.

## 2.2. MARCO TEORICO:

A continuación, se explicitan algunas de las teorías y conceptos claves que sustentan la base del presente trabajo.

Dado que el tema abordado se desarrolla dentro de la industria de la energía eólica, se considera pertinente partir desde el concepto de energía, el cual es campo de estudio de múltiples disciplinas y ha ido evolucionando y ampliándose con el transcurso de los años.

Las definiciones más generales del concepto, coinciden en que la energía de un cuerpo es su capacidad para hacer trabajo. Hoy en día esta definición es considerada bastante inexacta. En las ciencias físicas no tiene mucho sentido hablar de “energía” a secas, término que, aislado de algún otro que especifique el tipo de energía, no es una magnitud mensurable y carece de una definición concluyente. De acuerdo a lo que sostiene el autor Arias, existe una doble acepción del término energía; se puede utilizar tanto para: a) designar un tipo específico de

energía (cinética, magnética) como para: b) indicar el lugar de donde provienen o se almacenan los diferentes tipos de energía (eólica, solar). (Arias, 2020, pág.6)

En términos generales, la RAE, la define como la capacidad para realizar un trabajo. Su raíz etimológica, viene del término energía (del griego ἐνέργεια *enérgeia* ‘actividad’ ‘operación’; de ἐνεργός *energós*, ‘fuerza de acción’ o ‘fuerza de trabajo’) tiene diversas acepciones y definiciones relacionadas con la idea de una capacidad para obrar, surgir, transformar o poner en movimiento.

La energía, tiene múltiples definiciones, y dado la extensión y complejidad de las mismas, es pertinente para este trabajo, coincidir con el autor Arias y remarcar la importancia de referirse a magnitudes a la hora de definir cualquier tipo de energía. En el marco de las ciencias físicas, es necesario incluir en la definición la forma de medir, directa o indirectamente ese tipo particular de energía.

Como se dijo anteriormente, el término energía se puede utilizar para indicar el lugar de donde provienen los diferentes tipos de la misma, por lo que es de especial interés, para este trabajo en particular, definir el concepto de energía eólica. Así es, que la misma puede ser definida como un tipo de energía renovable que se genera al transformar el movimiento de las corrientes de aire en energía eléctrica. Hoy en día representa una de las fuentes energéticas más económicas y con una tecnología de aprovechamiento totalmente madura. (Jordi, 2020, pág.92).

Este tipo de energía se obtiene mediante el aprovechamiento de la energía cinética proveniente del viento. Estos molinos se encargan de transformar la energía cinética de las masas de aire en electricidad, por medio de aerogeneradores conectados a las grandes redes de distribución de energía eléctrica. El auge de la energía eólica ha provocado también la planificación y construcción de parques eólicos terrestres y marinos, que son una fuente de energía cada vez más barata y competitiva, en comparación con otras. (Riaño, 2020. Pag.36).

Dado que en el presente documento se trabajará sobre parques eólicos terrestres, se define a estos como instalaciones de producción de energía eléctrica, compuesto por una agrupación de aerogeneradores que transforman la energía del viento en electricidad y la transmiten a la red mediante una línea eléctrica de evacuación. Generalmente, se coloca una

serie de turbinas de gran tamaño y potencia, que pueden ser entre decenas y centenares, en un sitio con condiciones de viento favorables. (Romero L.2017, pág.19).

Mientras que un aerogenerador es definido como una máquina capaz de transformar la fuerza del viento en energía mecánica produciendo el giro de unas palas acopladas al eje de un generador que transforma, a su vez, la energía mecánica en energía eléctrica que adecuada y regulada se inyecta a la red eléctrica para su consumo. (Romero L.2017, pág.20).

Varios son los autores que coinciden en que la energía eólica es una de las energías renovables más prometedoras para la transición energética, es por ello que en este trabajo se tendrán en consideración ciertos conceptos fundamentales para desarrollar el análisis de propuestas de alternativas que busquen el 100% de la sostenibilidad de la actividad eólica.

Esto último, puede llevarse adelante mediante la gestión ambiental, la cual es definida como un proceso permanente y de aproximaciones sucesivas en el cual diversos actores públicos y privados y de la sociedad civil desarrollan un conjunto de esfuerzos específicos con el propósito de preservar, restaurar, conservar y utilizar de manera sustentable el medio ambiente. (...) La gestión ambiental, por lo tanto, puede ser abordada a distintos niveles de gobierno (federal o central, provincial o estatal, municipal, etc.), o de grupos del sector privado en su concepción amplia, o en diversos ámbitos territoriales (global, regional, subregional, nivel metropolitano, ciudades, barrios, poblados, cuencas hidrográficas, etc.) Los distintos actores públicos, privados y de la sociedad civil ponen en marcha políticas, planes, programas y proyectos para el cumplimiento de los objetivos planteados. En este proceso, los actores se desenvuelven en un determinado marco legal y movilizan los recursos económicos, técnicos y humanos para la aplicación de diversos instrumentos (Becerra & Espinoza, 2002, pág. 7).

Asimismo, es necesario partir de que en todo proceso de gestión ambiental se fijan objetivos a alcanzar actuando dentro de una realidad y un periodo de tiempo determinado. Así es que, el conjunto de soluciones y caminos que en mayor o menor medida satisfagan los objetivos se denominan alternativas. (Conesa F, 2004, pag.151).

La búsqueda de esas soluciones es complicada ya que no existe una metodología de aplicación general. Se define como evaluación de una alternativa, la valoración que se le atribuye, en función del grado de utilidad y de los resultados de la misma.

Un indicador de primera magnitud del valor (grado de utilidad) de una alternativa, es el grado de cumplimiento de los objetivos propuestos.

Puede existir una valoración apriorística, ex ante, o de carácter preventivo, y se aplicará como herramienta al servicio de los instrumentos de gestión preventivo (valoración de alternativas de un plan, o de un proyecto a realizar...) y una valoración posterior, ex post, o de vocación correctiva, que se usará como apoyo a los instrumentos de gestión correctivos (estudio comparado de procesos alternativos durante una auditoria medioambiental, alternativas de materias primas en un programa de eco etiquetado...).

Existe una estrecha interrelación metodológica, entre la fase de generación de alternativas y la de valoración de las mismas. La principal diferencia entre ellas estriba en que, mientras en la etapa de generación priman la creatividad, intuición y capacidad generadora del grupo de trabajo, en la fase evaluativa, estos aspectos subjetivos se subordinan a los técnicos (métodos de análisis, medición y ponderación).

Dado que, lo que se pretende en el presente trabajo es brindar un análisis de propuestas para la gestión de los residuos eólicos, resulta necesario determinar la concepción que tienen ciertos autores.

Por su parte, el autor Castell define residuo como “aquella sustancia u objeto generado por una actividad productiva o de consumo, de la que hay que desprenderse por no ser objeto de interés directo de la actividad principal” (Castells, 2009, pag.18). De manera interesante, se complementa que se conoce que no todos los residuos son iguales y que algunos son más contaminantes o tóxicos que otros, razón por la que requieren de un tratamiento particular (Federovisky, 2019, pág.20).

La Organización de Naciones Unidas, denomina residuos a “Todo material que no tiene un valor de uso directo y que es descartado por su propietario” (ONU, 1991, 19). Mientras que, el Programa de Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA), considera a los Residuos en relación al marco regulatorio que lo encuadra, describiéndolos como “cualquier material descrito como tal en la legislación nacional, cualquier material que figura como residuo en las listas o tablas apropiadas, y en general cualquier material excedente o de desecho que ya no es útil ni necesario y que se destina al abandono” (PNUMA en Martínez, 2005, pág. 16).

Dentro de los procedimientos que registra la empresa involucrada, se define a los residuos como aquella sustancia u objeto en cualquier estado físico, que resulta de la utilización, descomposición, transformación, tratamiento o destrucción de una materia y/o energía, y que carece de utilidad o valor para su dueño y cuyo destino natural debería ser su eliminación, y el generador tiene la obligación legal de su correcta eliminación. (PA-01, 2021, pag.5).

Por último, resulta conveniente mencionar dos grandes conceptos importantes en el análisis de las estrategias de gestión de residuos eólicos, la economía circular y el análisis de ciclo de vida. El primero nace a partir de debates públicos y empresariales sobre la importancia de la sostenibilidad en sistemas industriales, en escenarios de escasez de recursos, frente al crecimiento poblacional y a los riesgos del cambio climático (Ellen MacArthur, 2014, pag.18).

Asimismo, es definido por el Ministerio de Ambiente y Desarrollos Sustentable de Argentina como:

“La economía circular es un paradigma que busca modificar la forma en que producimos y consumimos. Frente a la economía lineal de extracción, producción, consumo y desperdicio, la economía circular alienta un flujo constante, una solución virtuosa, en la que los residuos puedan ser utilizados como recursos para reingresar al sistema productivo. De esta manera, reducimos nuestros desechos y extraemos menos bienes naturales del planeta” (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sustentable, 2021).

De igual manera, es definido como una filosofía de organización de sistemas inspiradas en los seres vivos, que persigue el cambio de una economía lineal, basada en producir, usar y tirar, cada vez más difícil de implementar por el agotamiento de los recursos. (Balboa y Somonte,2013, pag.38).

La siguiente figura representa la transición de una economía lineal hacia una economía circular.

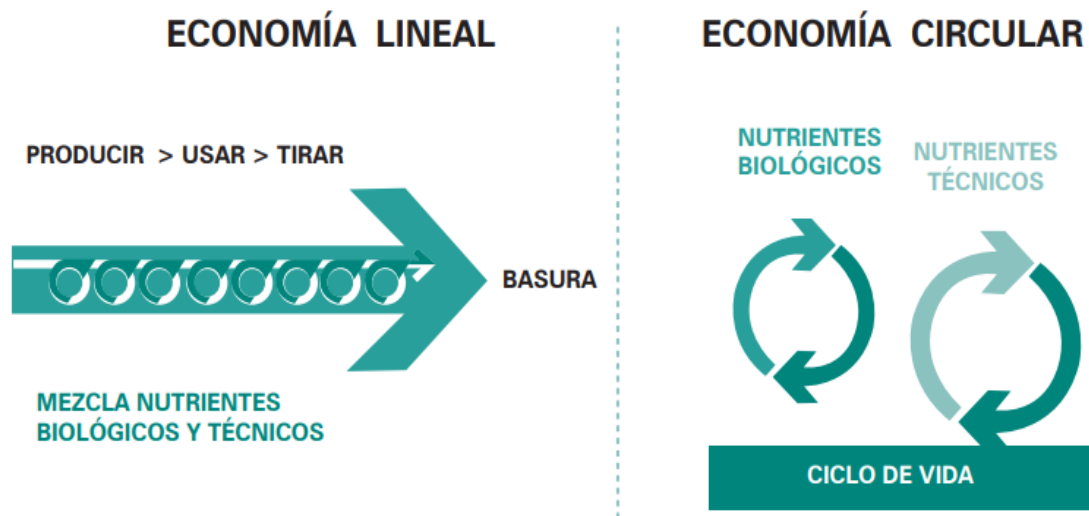


Figura 10. COMPARACIÓN ENTRE ECONOMÍA LINEAL Y ECONOMÍA CIRCULAR. FUENTE (BALBOA Y SAMONTE 2013)

El Análisis de Ciclo de vida (ACV) es abordado desde los años '90 por La International Standardization Organization (ISO) quien estandarizó una estructura de trabajo sistematizada para llevar a cabo el ACV dando lugar a las normas:

- UNE-EN ISO 14040: Gestión Medioambiental. Análisis de Ciclo de Vida. Principios y marco de referencia.
- UNE-EN ISO 14041: Gestión Medioambiental. Análisis de Ciclo de Vida. Definición del objetivo y alcance y el análisis del inventario.
- UNE-EN ISO 14042: Gestión Medioambiental. Análisis del Ciclo de Vida. Evaluación del Impacto del Ciclo de Vida.
- UNE-EN ISO 14043: Gestión Medioambiental. Análisis del Ciclo de Vida. Interpretación del Ciclo de Vida.

Sin embargo, en 2006 se aplicaron unas revisiones técnicas y las anteriores normas fueron anuladas y sustituidas por:

- UNE-EN ISO 14040. Gestión Ambiental. Análisis de Ciclo de Vida. Principios y marco de referencia.
- UNE-EN ISO 14044. Gestión Ambiental. Análisis de Ciclo de Vida. Requisitos y directrices.

A su vez, varios son los autores que proponen el ACV como metodología para evaluar las interrelaciones entre los sistemas de producción, productos o servicios y el medio ambiente. El ACV cuantifica, cualifica y valora los flujos de un sistema (entradas (materia y energía) y salidas (producto, coproductos, emisiones al aire, agua y suelo)) para posteriormente evaluar los impactos que éstos pueden causar al medio ambiente. Sus resultados, entre otras funciones, sirven como apoyo al desarrollo de productos considerados medioambientalmente correctos (Ceballos, 2009, pag.9).

En un estudio específicamente sobre energía eólica, se define el ACV como una herramienta que permite describir y evaluar los impactos ambientales totales de un aerogenerador, analizando todas las etapas del proceso completo desde la provisión de materia prima, producción, transporte y generación de energía, hasta el reciclado y las etapas de eliminación de desechos. El ciclo de vida de un aerogenerador comienza con la extracción de la materia prima (Berrios, G y etc. 2009 pag, 2).

Todos los autores hasta aquí mencionados, concluyen y coinciden en que el Análisis de Ciclo de Vida resulta la metodología más eficiente para el análisis exhaustivo de los aspectos ambientales de un aerogenerador y un panorama más exacto de las compensaciones ambientales verdaderas en la selección del mismo.

### 2.3. ANTECEDENTES:

Se realiza a continuación un análisis de trabajos previos para sentar las bases del caso de estudio en relación a otros similares, vinculados principalmente a la energía eólica y a la gestión de residuos eólicos.

A partir de lo revisado, a nivel internacional se han encontrado varios trabajos relacionados al cuestionamiento de cómo gestionar eficientemente los residuos eólicos. Entre ellos, en España, surgen interrogantes de cuáles son los procesos que podrían valorizar los residuos de palas de aerogeneradores (Toledo, 2015), dado que no existe directivas europeas

específicas que cataloguen a estos residuos como peligrosos o inertes y que son varios los parques que se acercan al final de vida útil de sus aerogeneradores, hay en marcha diversos proyectos de investigación en la búsqueda del proceso de reciclado más óptimo posible para este tipo de materiales.

Así también, la asociación empresarial eólica de España en 2021 publica un informe contribuyendo a propuestas sobre el desarrollo de soluciones que permitan avanzar hacia el aprovechamiento completo de los componentes de un aerogenerador, con el objetivo de lograr implementar prácticas de economía circular en el ciclo de vida de los aerogeneradores, principalmente las palas. En el año 2021, como respuesta a la falta de normativa europea, WindEurope y la Asociación Empresarial Eólica (AEE) lanzaron un llamamiento para que se proponga la prohibición en toda Europa el traslado de las palas de aerogeneradores desmantelados a vertederos. De esta manera, la industria eólica europea se ha comprometido activamente a reutilizar, reciclar o recuperar el 100% de las palas desmanteladas.

A nivel nacional, desde fines de la década de los 90, proliferan diferentes tipos de publicaciones sobre los antecedentes de la actividad eólica en Argentina (Gallegos, 1997, pag.18), el diagnóstico del potencial, factibilidad y las perspectivas del sector (Moragues y Rapallini, 2003, pag.23), el estado de la industria eólica argentina (Soares, Kind y Fernandez, 2009, pag.30), las consecuencias de la actividad eólica sobre la sociedad (Rivarola, Arena y Mattio, 2008, pag.82) y los aspectos legales que regulan la actividad (Valdez y Colomé, 2009, pag.29).

Específicamente, sobre palas eólicas, se halla un estudio realizado por un grupo de investigación del CONICET, abocado al análisis de diferentes alternativas de fin de vida de palas de aerogeneradores, en el mismo se predice que para el año 2034 habrán alrededor de 225.000 toneladas de material de palas que necesitarán ser recicladas anualmente a nivel mundial. Por ello, es que proponen el empleo de la metodología de Análisis de Ciclo de Vida para evaluar las diferentes alternativas de la disposición final de las palas.

De esta manera puede permitir describir y evaluar los impactos ambientales totales de un aerogenerador o de cualquiera de sus partes, analizando todas las etapas del proceso desde la provisión de la materia prima, producción, transporte y generación de energía, hasta el reciclado y las etapas de eliminación de desechos. En el mismo, se concluye que dentro de las

alternativas analizadas el material compuesto podrá ser recuperado, separado en sus materias primas originales total o parcialmente, otros solo serán reducido de tamaño, o enterrado y en otros casos reusado. (Rivarola, etc. 2011, pág. 2).

En la siguiente figura se muestran las alternativas evaluadas en el estudio mencionado para el final de vida de las palas de aerogeneradores:

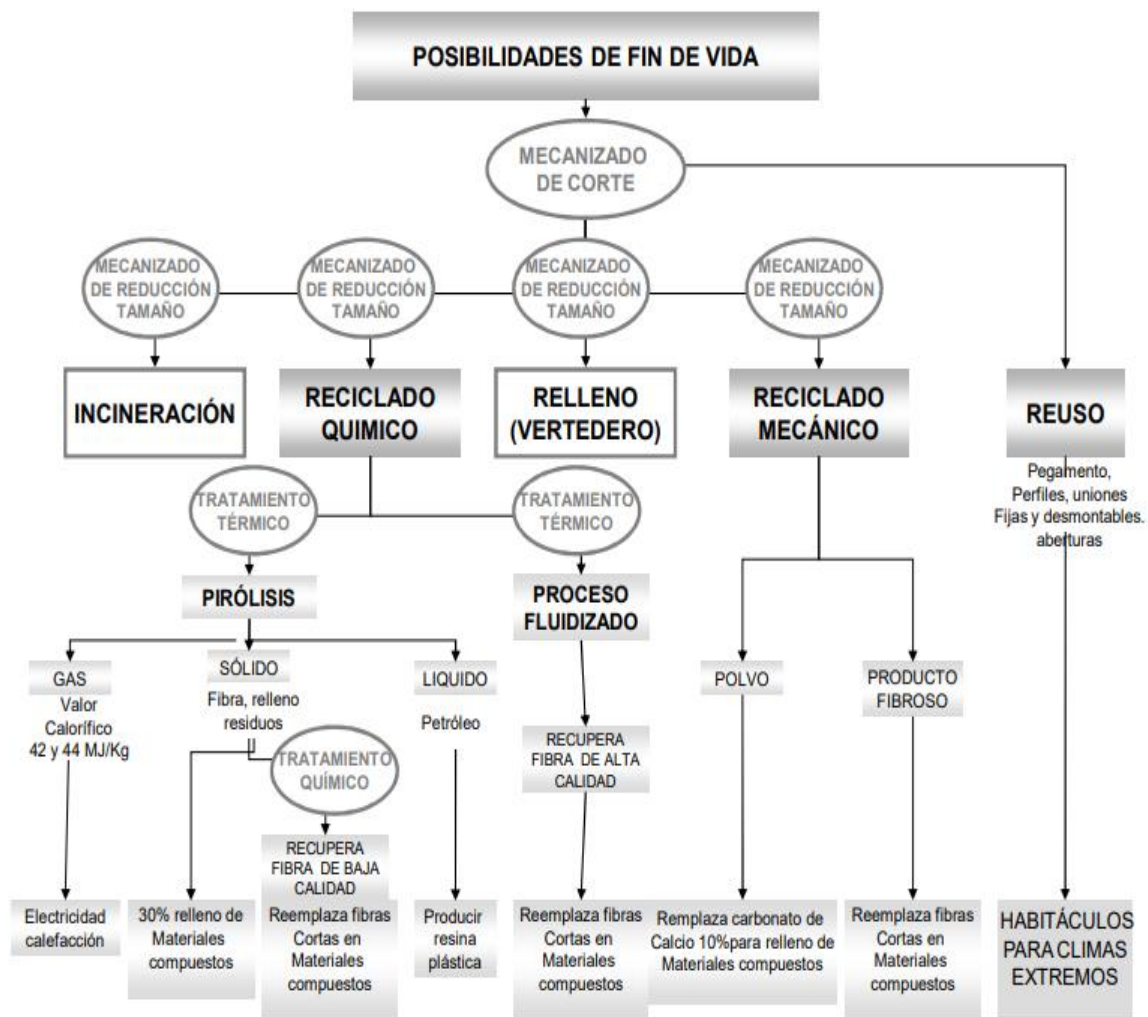


Figura 11. POSIBILIDADES DE FIN DE VIDA DE PALAS EÓLICAS. FUENTE: RIVAROLA, ETC. 2011.

Sin embargo, a lo que principalmente hace alusión el estudio mencionado hasta aquí, es a la importancia de evaluar los impactos ambientales de la tecnología eólica, dado el crecimiento que han tenido las instalaciones eólicas en los últimos años y las perspectivas de crecimiento futuro.

A nivel local, el parque eólico Antonio Moran de Comodoro Rivadavia, uno de los primeros y más importantes de Sudamérica, fue instalado en 1994, inicialmente con 8 aerogeneradores y posteriormente para el año 2000 creció con la instalación de 16 aerogeneradores más. Actualmente, dicho parque se encuentra fuera de funcionamiento y con decenas de equipos (molinos y líneas eléctricas) inmóviles en el paisaje patagónico. De acuerdo a información publicada por la Sociedad Cooperativa Popular Limitada (SCPL), empresa operaria del parque, en el año 2020 se debió haber llevado a cabo el desmantelamiento controlado de los aerogeneradores ubicados en los Cerro Arenal, Cerro Hermite y Cerro Chenque, sin embargo, esto no pudo ser completado en su totalidad.

De acuerdo a la información disponible, no se conocen procedimientos de gestión para los residuos desmantelados del parque Antonio Moran. A la fecha, aún se encuentran algunos aerogeneradores emplazados en la zona y fuera de operación. Un caso particular, ocurrido en el año 2020, fue el equipo aerogenerador derribado por las fuertes ráfagas de vientos y que actualmente se encuentra en el Cerro Hermite como se puede visualizar en las siguientes imágenes.



**Figura 12.** AEROGENERADOR DEL ANTIGUO PARQUE ANTONIO MORAN DERRIBADO POR FUERTES VIENTOS. FUENTE: EL CHUBUT, 2020.



**Figura 13.** AEROGENERADOR DEL ANTIGUO PARQUE ANTONIO MORAN. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA. AGOSTO 2023

Asimismo, dentro de la ciudad de Comodoro Rivadavia se puede reconocer la reutilización de palas eólicas en ingresos a la ciudad y como monumentos en plazas, aunque se desconoce de donde provienen estos componentes. También, es posible visualizar en algunos puntos de la ciudad el acopio de decenas de palas.

En las siguientes imágenes se puede ilustrar lo mencionado anteriormente:



**FIGURA 9: PALA EÓLICA REUTILIZADA EN INGRESO A LA CIUDAD DE COMODORO RIVADAVIA. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA.**



**Figura 14. PLAZA EN COMODORO RIVADAVIA CON PALAS EÓLICAS REUTILIZADAS. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA.**



Figura 15. PLAZA EN COMODORO RIVADAVIA CON PALAS EÓLICAS REUTILIZADAS. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA.

## 2.2. RELEVANCIA Y JUSTIFICACIÓN DEL PROYECTO

Lo abordado hasta aquí pretende reafirmar la importancia y la necesidad de comenzar a evaluar alternativas eficientes de gestión para las palas de los aerogeneradores como residuos potenciales del parque eólico Manantiales Behr.

Teniendo en cuenta la complejidad que presentan estos residuos para su reciclaje y considerando que en menos de una década los aerogeneradores del parque eólico estarán alcanzando el fin de su vida útil, se encuentra relevante el aporte de un análisis de las diferentes técnicas probadas y propuestas en varios países del mundo con las ventajas y desventajas de cada una de ellas. De esta manera, será posible trabajar sobre una base de línea de investigación para gestionar el enorme volumen de residuo eólico generado.

Es importante remarcar que el estudio de impacto ambiental (EsIA) realizado, si bien contempla la etapa de abandono, no menciona tratamientos y disposición final para este tipo de residuos.

Es por ello, que este trabajo propone contribuir al análisis e impulso de implementación de alternativas de gestión que permitan alcanzar un cierre de ciclo de vida ecológicamente sostenible y de esta manera aportar a la economía circular.

De cierto modo, la circularidad de la fibra de vidrio, para el caso de las palas de aerogeneradores, refuerza la sostenibilidad de la producción energética de fuente eólica.

## CAPÍTULO 3: OBJETIVOS

### 3.1. OBJETIVO GENERAL

- Estimar posibles alternativas de gestión para las palas eólicas como residuos generados en el fin del ciclo de vida de los aerogeneradores de la empresa YPF Luz.

### 3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Identificar la situación actual de la gestión de residuos de la empresa YPF Luz.
- Indagar el estado del arte a diferentes niveles internacionales, nacionales y regionales, sobre las técnicas de gestión para las palas eólicas.
- Evaluar las diferentes alternativas investigadas que permitan desarrollar un plan de gestión de palas eólicas como residuos de aerogeneradores.
- Delinear las alternativas posiblemente viables para la gestión de los residuos investigados.

### 3.3. META

Como meta general, se espera que el presente trabajo aporte a la empresa un impulso en el análisis de las alternativas existentes para desarrollar una adecuada gestión y disposición final de las palas de aerogeneradores como residuos provenientes del desmantelamiento del parque eólico.

De esta manera, llegado el momento de desmantelar uno o varios aerogeneradores, se contará con una base de línea de investigación que permitan evaluar que medidas tomar para el manejo del gran volumen de residuo que implican las palas del parque eólico Manantiales Behr. Asimismo, será posible replicar las medidas consideradas más pertinentes en los parques eólicos de Cañadón León y Los Teros.

Finalmente, con la adecuada gestión de estos residuos, se habrá abordado todas las etapas del ciclo de vida y se podrá seguir desarrollando una energía 100% limpia y sostenible.

### 3.4. DESCRIPCIÓN DE LAS ACTIVIDADES

En base a los objetivos propuestos, en el siguiente cuadro se muestran las actividades desarrolladas en el proceso de elaboración del presente trabajo, cada una de ellas asociada a un objetivo y meta.

OBJETIVO ESPECÍFICO	METAS	ACTIVIDADES
Identificar la situación de gestión de residuos.	Realizar un diagnóstico de gestión ambiental del Parque Eólico Manantiales Behr.	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Entrevistas a referentes calificados.</li> <li>- Consulta de base documental de la organización (EIA, SGA).</li> <li>- Recorrido de las instalaciones y aerogeneradores.</li> <li>- Registro fotográfico.</li> <li>- Recolección de datos.</li> </ul>
Indagar el estado del arte.	Investigar y consultar fuentes bibliográficas en materia de gestión de residuos asociados a las palas de aerogeneradores, nacionales e internacionales.	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Investigación de fuentes nacionales/internacionales referidas a la gestión de residuos en cuestión.</li> </ul>
Analizar las alternativas investigadas.	Describir el análisis realizado sobre la información colectada y las posibles alternativas para la gestión de los residuos investigados.	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Clasificar y analizar la información colectada.</li> </ul>

Delinear las alternativas posiblemente viables para la gestión de los residuos investigados.	Elaborar un escrito con flujogramas y detalles de los posibles tratamientos para los residuos provenientes de los parques de aerogeneradores	<ul style="list-style-type: none"><li>- Generar conclusiones.</li><li>- Seleccionar opciones viables.</li></ul>
--	--	---

Tabla 3. OBJETIVOS ESPECÍFICOS, METAS ASOCIADAS Y ACTIVIDADES DESARROLLADAS. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA.

## CAPÍTULO 4: DESCRIPCIÓN DE LAS ACTIVIDADES

### 4.1. DESARROLLO

En función del primer objetivo específico y en base a las actividades desarrolladas para su alcance, en el presente apartado se menciona la situación actual del parque eólico Manantiales Behr, en lo que respecta a la gestión de residuos.

De acuerdo a la información recabada durante las entrevistas al referente de medio ambiente de la empresa YPF Luz, al referente técnico y los recorridos realizados dentro del parque, se pudo conocer la gestión de los diferentes residuos generados en el mismo.

La empresa se encuentra certificada por las normas IRAM, en ISO 14001 Sistemas de Gestión Ambiental, ISO 9001 Sistemas de Gestión de la Calidad, entre otras, y renueva todos los años su Política Ambiental establecida por la alta dirección. Asimismo, cuenta con procedimientos específicos para gestionar los residuos de manera segura y acorde a la normativa vigente y a los compromisos asumidos en las políticas de la empresa.

YPF LUZ prioriza el uso eficiente de los recursos y busca evitar la generación de recursos sobrantes y residuos. En la gestión del recurso sobrante, se prioriza su valorización, implementando medidas de circularidad. En caso de no ser posible lo mencionado anteriormente, se procede a la eliminación como residuo; seleccionando la gestión y tecnología más adecuada de acuerdo a sus características, y asegurando el cumplimiento de la legislación aplicable en cada caso.



Figura 16. PIRÁMIDE GESTIÓN DE RESIDUOS. FUENTE: PROCEDIMIENTO DE GESTIÓN DE RESIDUOS. YPF LUZ. (PA-01)

La gestión de residuos de la empresa consiste primeramente por la *clasificación* de los mismos, esta comprende la determinación de las propiedades fisicoquímicas y biológicas de los residuos, con el fin de realizar su manipulación, segregación y almacenamiento más adecuado según sus características. Y luego poder evaluar si es susceptible de valorización o si se eliminaran como residuos. El criterio de clasificación es la verificación de si cumple con características de peligrosidad o no (en función a la Ley Nacional de Residuos Peligrosos N° 24.051 y la legislación local, Ley Provincia N° 1.675/93), luego de evaluada su peligrosidad, es necesario su clasificación según su estado físico, sólido, semisólido y líquido.

Asimismo, la empresa ha establecido el siguiente código de colores en base la clasificación de residuos:

Categoría	Residuo	Color de Bolsa y/o Contenedor		Tipo de Residuo
Residuos Peligrosos	Residuos Peligrosos	ROJO		<b>Residuos Sólidos Peligrosos:</b> Latas de pintura, envases de productos químicos, tonner. <b>Residuos Líquidos Peligrosos:</b> Aceite, pinturas, gasoil, productos químicos en desuso.
		N/A		Baterías. Son transportadas al vendedor y ensayadas para eventualmente declararse como residuo y entregárselas para reciclar. Vendedor emite evidencia de dicha entrega.
Residuos No Peligrosos	Asimilables a urbanos	Húmedos	VERDE	<b>RSU no Reciclables:</b> Restos de comida cruda o cocida; resto de té; café; yerba; papel y cartón, húmedos o sucios; y afines.
		Secos	AMARILLO	<b>RSU Reciclables:</b> Plásticos (botellas), papeles, cartón, vidrio, textiles, cauchos, afines limpios.
	Residuos Industriales	AZUL		<b>Chatarra/rezago voluminoso:</b> Residuos ferrosos/etc. sin adherencias ni impregnación de hidrocarburos, plásticos industriales, maderas.
	Residuos cloacales	N/A		Residuos cloacales de oficinas y comedor.

Tabla 4. CATEGORIZACIÓN DE RESIDUOS EN YPF LUZ. FUENTE: PROCEDIMIENTO DE GESTIÓN DE RESIDUOS. YPF LUZ. (PA-01).

Luego de realizar la clasificación, se procede a la *segregación* según sus características, procurando evitar mezclar peligrosos con no peligrosos. Se consideran para la segregación de residuos tantas corrientes como opciones reales de minimización, tratamiento y disposición final existan. En la medida que se encuentren otras posibilidades de disposición y reutilización de algún residuo, el jefe de Calidad, Medio Ambiente, Seguridad y Salud (CMAS) evalúa la posibilidad de una nueva clasificación y su segregación y considera las incompatibilidades químicas y los requisitos legales asociados.

Una vez clasificado, segregado y almacenado de manera segura, se analiza si el recurso sobrante en cuestión es susceptible de *valorización*, definiendo si tiene utilidad interna o para un tercero. Se considera:

- Valorización interna: gestión interna del activo involucrado, en caso de ser necesario, áreas transversales (Asuntos legales, CMASS, Supply Chain, Relaciones Institucionales)
- Valorización externa: serán de aplicación, si fuera necesario, los procesos corporativos destinado a Donaciones y Rezagos, según corresponda en cada caso.

Dado que, actualmente no hay legislación vigente que identifique y clasifique residuos de materiales compuestos y complejos tales como las palas de aerogeneradores, estos pueden ser considerados como no peligrosos o inertes. Por ello mismo y teniendo en cuenta que la producción de energía eólica tanto para YPF Luz como para otros en nuestro país es algo reciente, es que aún la empresa no tiene diferenciado e identificado el residuo y su correspondiente tratamiento.

De acuerdo a esto último, es necesario mencionar el procedimiento de *eliminación* de residuos que contempla la empresa. Por lo cual, si la valorización (interna/externa) no resulta posible, el recurso sobrante se convierte en residuo y se procede a su eliminación. La eliminación del residuo incluye su tratamiento y disposición final.

Cabe mencionar que, en este documento de la empresa, se considera la acción comunitaria, la cual promueve la colaboración mediante programas comunitarios y de relacionamiento con partes interesadas, que contemplen iniciativas de valorización de recursos sobrantes de la organización, persiguiendo principios de economía circular.

Siguiendo lo mencionado anteriormente, resulta de gran importancia contemplar con anticipación la valorización de las palas de los 30 aerogeneradores que tiene el parque, determinar si es interna o externa e intentar que estos componentes no resulten residuos eliminados de manera que no alcance una economía circular y vuelva a insertarse al mercado, dejando a la energía eólica 100% sustentable en el ciclo completo de vida útil.

De acuerdo a las características, ubicación y magnitud de la actividad, y en el marco de la Ley XI N° 35 Código Ambiental de la Provincia del Chubut y el Decreto N° 185/09 Evaluación de Impacto Ambiental, el proyecto del parque Manantiales Behr requirió en su momento del correspondiente Estudio de Impacto Ambiental, realizado por la consultora Confluencia en el año 2016. En referencia a la revisión del mismo y las entrevistas realizadas

al personal de la empresa, se obtuvo la información recabada para la descripción y análisis del proyecto, la descripción del medio natural y socioeconómico y la determinación de la sensibilidad ambiental en todas sus etapas (etapa de construcción, etapa de operación y etapa de abandono).

Para el particular interés del presente trabajo, la etapa que concierne es la última, ya que en ella se contempló el momento llegado del fin de vida útil del proyecto, marcando que se procederá a desmontar la infraestructura instalada y dejar el área del proyecto en condiciones similares a las que se encontraba previa a él, con el objetivo de adecuar la topografía a los parámetros paisajísticos del sitio, atenuar los procesos erosivos para disminuir el riesgo de degradación del suelo y favorecer la recomposición de la cobertura vegetal. Para recuperar la estructura y funcionalidad del ecosistema, podrán emplearse dos estrategias:

- Aumentar la rugosidad del terreno mediante laboreos conservacionistas para favorecer los procesos biológicos y recomponer el banco de semillas del suelo.
- Favorecer y acelerar el restablecimiento de la cobertura vegetal mediante laboreos que favorezcan el repoblamiento natural y prácticas de siembra y/plantación con especies vegetales adaptadas al área.

Asimismo, se contempla un monitoreo post cierre requerido considerando por un lado el desmontaje de los aerogeneradores y por otro lado la definición de uso de que se dará a las instalaciones de la SET.

Por último, concluida la vida útil del proyecto, se evaluará el potencial del área para la explotación hidrocarburífica u ovina. (EIA, 2016, pag,84)

En la siguiente tabla se puede visualizar las medidas presentadas en el EIA para el plan de gestión ambiental, a fin de prevenir, mitigar y/o restaurar los impactos evaluados correspondientes a la etapa de abandono:

PGA – MT N° 12			
Responsable: SSMA.			
Acción	Impacto	Medida	Tipo de medida
Abandono	Afectación de la Calidad del agua superficial, instalaciones y población circundante.	Una vez finalizada la vida útil del Parque Eólico Manantiales Behr se evaluará su reutilización para otro propósito, informándolo oportunamente a la Autoridad de Aplicación.	Preventiva y/o correctiva

**Tabla 5.** PLAN DE GESTIÓN AMBIENTAL PARA EL PARQUE MANANTIALES BEHR. FUENTE ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL 2016.

De acuerdo a lo evaluado por la consultora, se determinó que la instalación de los aerogeneradores no tendría impactos negativos significativos. En su mayoría, resultó que los valores de los impactos corresponderían a la categoría de moderados y bajos. El factor del medio mayormente afectado sería el factor Actividad Económica, mientras que los afectados serían los Operarios, ambos impactos considerados positivos. En cuanto a los aspectos negativos considerados durante la operación del parque, fueron la afectación a la avifauna, la generación de ruido y el impacto visual, aunque estos últimos se verían disminuidos dado que en el proyecto se presentó el emplazamiento en un área de actividad hidrocarburífica y no en un asentamiento urbano. Asimismo, se destacó como positivo que en la etapa de abandono los impactos negativos serían considerados reversibles en el corto plazo logrando el restablecimiento de las condiciones ambientales previas al proyecto.

Determinando, finalmente, al proyecto del parque eólico Manantiales Behr ambientalmente viable, por lo tanto, aprobado por la autoridad de aplicación.

Tal como se puede apreciar, el Estudio de Impacto Ambiental fue realizado de acuerdo a lo exigible por la ley, sin embargo, en el desarrollo de la descripción y plan de gestión ambiental de la etapa de abandono no fue considerado el proceso de desmantelamiento, transporte y disposición final de ninguno de los componentes de los aerogeneradores.

Dado que, no hay directrices claras acerca de cómo gestionar este tipo de residuo de manera responsable y segura, se genera un vacío legal en cuanto al tratamiento de residuos eólicos y palas de aerogeneradores, particularmente.

## 4.2. ALTERNATIVAS:

A partir del análisis de las alternativas investigadas y desarrolladas en diferentes países del mundo, se destacan las siguientes:

En EEUU una start-up, Global Fiberglass Solutions, desarrolló un método para destruir las palas y compactarlas en gránulos y paneles de fibra para ser usados en pisos y muros en construcción. De acuerdo a lo que declaran, podrían procesar de 6.000 a 7.000 palas por año por planta.

Otra firma en EEUU, Veolia, asegura poder procesar las palas con una tecnología de co-proceso en un horno cementero para obtener una materia prima, creando un “cemento más verde”. La compañía Veolia North America's Environmental Solutions and Services ha entregado otros materiales reciclados a la industria del cemento, como reemplazos de carbón, arena o arcilla.

En la Unión Europea, que regula estrictamente el material que va a relleno sanitario, algunas palas son quemadas en hornos cementeros o en centrales térmicas, pero su contenido energético es pobre y quemar fibras emite contaminantes.

Por otro lado, en una cooperación entre Vestas, el productor químico Olin, el Instituto Tecnológico Danés y la Universidad de Dinamarca Aarhus, utilizan una nueva tecnología para separar la fibra de carbono de las resinas y luego separan las resinas en su material base para que puedan ser usadas en la construcción de nuevas palas. El objetivo del proyecto es desarrollar la tecnología a escala industrial en dos años (2025), proyectando el potencial de la misma para ser usada en componentes de autos y aviones.

Life Refibre, es un proyecto europeo aprobado en 2016 para el reciclaje de palas de aerogeneradores a favor de la recuperación de fibras de carbono y de vidrio para luego emplearlas en mezcla asfáltica. Una vez añadidas al asfalto, permiten que las carreteras sean un 30% más duraderas. Un primer ensayo se llevó a cabo en la ciudad de Zamora, en un tramo de casi dos kilómetros. El director del proyecto, definió el mismo a partir de dos procesos, los cuales consisten primeramente en la retirada de todo el componente plástico y de fibra de vidrio que contiene una pala, y posteriormente la reutilización de estos materiales para la mejora y construcción de pavimentos asfálticos. Asimismo, remarcó este tipo de iniciativa como más que un proyecto empresarial, ya que supone un cambio en el modo de hacer las cosas, una

economía circular, donde hay que sacar el mayor provecho de cada material que se usa y construye, por lo que la lucha por el desarrollo sostenible y medioambiental también es motivación para este tipo de acciones.

En las siguientes imágenes se puede visualizar el proceso de reciclado mecánico para separar los componentes de las palas eólicas, el cual consiste en la trituración con molinos martillos en dos etapas y la separación por tamaño mediante mesas vibrantes.



**Figura 17. PROCESO DE SEPARACIÓN DE LOS COMPONENTES DE UNA PALA EÓLICA. FUENTE: LIFE REFIBRE.**  
[HTTPS://WWW.LIFEREFIBRE.EU/](https://www.liferefibre.eu/)

Finalmente, se obtiene la fibra de vidrio de tamaño óptimo para ser agregada a la mezcla asfáltica y proseguir con la construcción del tramo de carretera. Para este caso particular se realizaron monitoreos para corroborar la mejoría en la duración del asfalto.



Figura 18. PRODUCTO OBTENIDO Y APORTACIÓN A MEZCLA ASFÁLTICA. FUENTE: LIFE REFIBRE

El proyecto Life Refibre, ha conseguido demostrar que el reciclado mecánico de palas de aerogeneradores es un proceso viable, tanto técnica como económicamente. Consiguiendo cerrar el ciclo de vida de los residuos de palas de aerogeneradores, cumpliendo con una economía circular con la recuperación de fibra de vidrio, la cual es válida para su introducción y mejora en carreteras. Además, investigadores de la técnica, afirman que el proyecto tiene alta posibilidad de replicabilidad en otros países.

Entre otras experiencias en cuanto a reciclaje en Europa: Reciclalia, empresa española fundada en 2011, ofrece un servicio de reciclaje de fibra de carbono y fibra de vidrio con un sistema para triturar estructuras de gran tamaño in situ. Para posteriormente desarrollar la

comercialización de los materiales compuestos reciclados para uso en sectores tales como el transporte (automoción, aeronáutico y ferroviario), la construcción sostenible y los propios parques eólicos, que demandan de manera creciente aerogeneradores de mayores prestaciones. No se dedica exclusivamente a palas de aerogeneradores, recibe cualquier tipo de equipos fabricados con fibra de carbono y fibra de vidrio incluyendo partes de autos y aviones.

Ventos Metódicos, empresa de servicio de reciclaje de palas de aerogeneradores, radicada en Portugal, ofrece desde el corte de las palas, la manipulación, carga y transporte. Para luego ser reciclado completamente transformándolas en mobiliario industrial, urbano o de oficina. La compañía marca como su filosofía, la economía circular, la reutilización y la huella de carbono cero. Su trabajo consiste en el corte del material in situ. Una vez desmontadas las palas, se procede a su segmentación en tramos divididos para facilitar su manipulación, carga y transporte. Los pocos desechos resultantes son aspirados en ese mismo momento de manera automática, reservándolos para otras utilidades. Tras la finalización del proceso de corte y embalado, se procede a la carga del material en un camión adaptado para su traslado a la línea de procesado. Finalmente, se transforman en exclusivo mobiliario industrial, urbano, de oficina o doméstico (Figura 13) a través de un proceso físico y completamente sostenible. Con cortes y moldeadores, estructuras de alta calidad y certificados que acreditan su resistencia y su exclusividad.



**Figura 19.** MOBILIARIO INTERIOR CON FIBRA DE VIDRIO RECUPERADA. FUENTE: VENTOS METÓDICOS.



**Figura 20.** MOBILIARIO EXTERIOR CON FIBRA DE VIDRIO RECUPERADA. FUENTE: VENTOS METÓDICOS.

Otro es el caso de Endesa y PreZero España, quienes apuntan a construir la primera planta de reciclaje de palas eólicas de la Península Ibérica con el apoyo de GE Renewable Energy. El proyecto responde al reto del reciclaje de más de 6.000 toneladas al año de fibra de vidrio y carbono. El proyecto contará con la participación de GE Renewable Energy y su filial LM Wind Power como suministradores de palas y fibra de vidrio, y Reciclaia Composite como expertos en reciclaje de materiales compuestos.

La empresa danesa Miljøskærm recibe productos de fibra de vidrio desechados, principalmente palas eólicas, y fabrica productos aislantes a partir del material reciclado.



**Figura 21. BARRERA ACÚSTICA ABSORBENTE FORMADA POR PLANCHAS DE PLÁSTICO RECICLADO. FUENTE: MILJØSKÆRM 2022**  
[HTTPS://MILJOSKARM.DK/PRODUKTER/](https://miljoskarm.dk/produkter/)

Siguiendo la misma línea, en la búsqueda de soluciones que permitan avanzar hacia la economía circular en procesos industriales a gran escala, el complejo fotovoltaico Extramadura I-II-III situado en Badajoz, ha desarrollado un proyecto que consiste en reducir el tamaño de la fibra de vidrio a micras, mayoritariamente mediante técnicas de transformación mecánica. El polvo resultante obtenido se utiliza, por medio del proceso continuo llamado pultrusión, para combinar como carga junto con la resina y la fibra continua de refuerzo, que, tras ser calentado

en un molde, se obtiene un perfil con la geometría y longitud deseada para la creación de vigas que sustentan los paneles fotovoltaicos de la planta solar.

En la siguiente imagen se ejemplifica el proceso descrito:

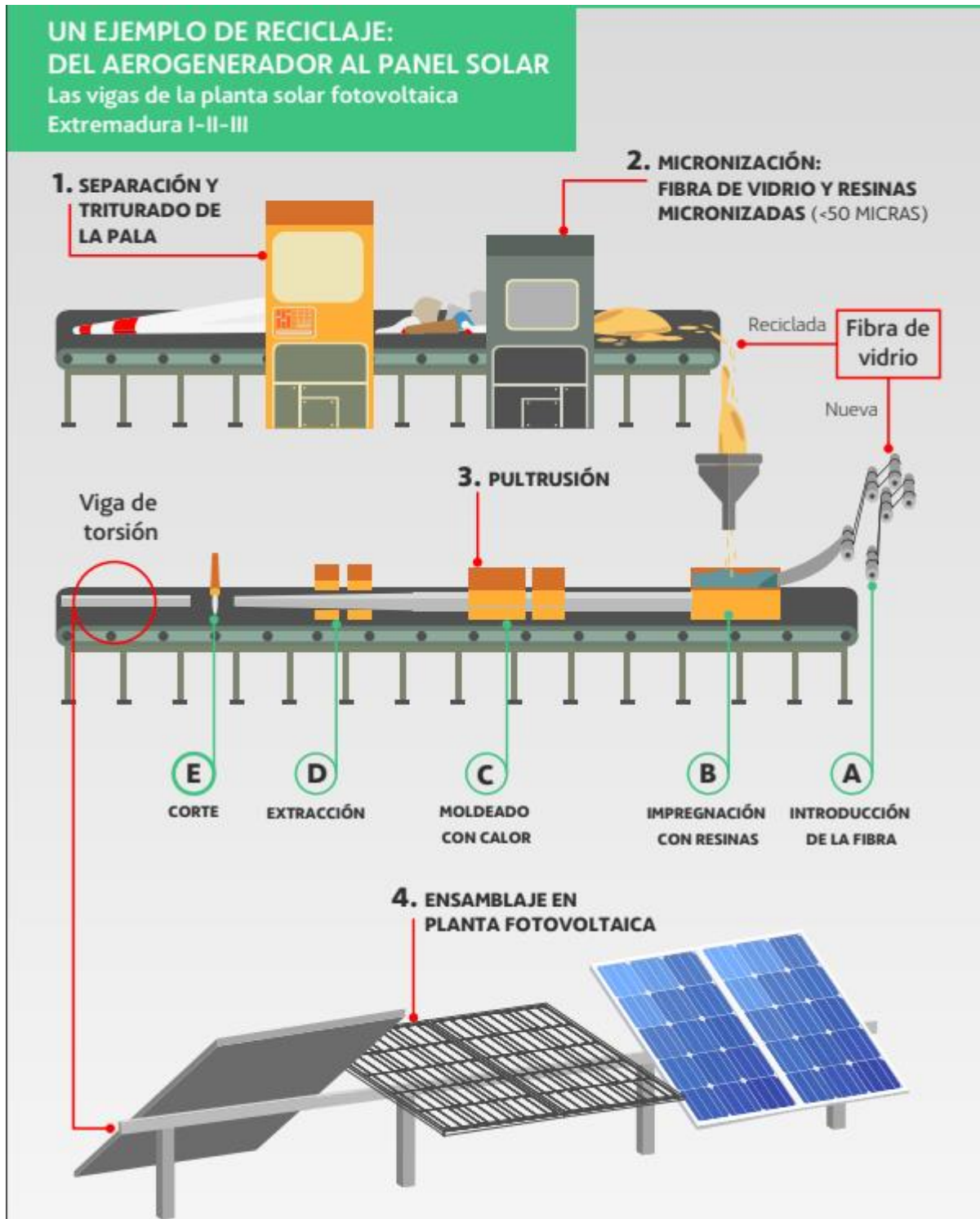


Figura 22. PROCESO DE RECICLAJE DE PALAS A VIGAS PARA PANELES SOLARES. FUENTE: I'MNOVATION.  
[HTTPS://WWW.IMNOVATION-HUB.COM/ES/?\\_ADIN=02021864894](https://www.imnovation-hub.com/es/?_ADIN=02021864894)

Como último caso de investigación, cabe mencionar el proyecto Re-Wind conformado por un equipo interdisciplinario de expertos de la City University de Nueva York, el Georgia Institute of Technology, el University College Cork y la Queen's University de Belfast, los cuales buscan una alternativa a los métodos de eliminación no sostenibles, como los vertederos y la incineración.

Dicho proyecto tiene como objetivo comparar estrategias sostenibles de reutilización y reciclaje al final de vida útil de las palas de aerogeneradores que contengan materiales compuestos. Este proyecto presenta la utilización de plataformas de las ciencias de la información geográfica (SIG) para modelar estructuras a partir de datos obtenidos de estas herramientas, en conjunto de consideraciones ambientales, económicas y evaluaciones de Sostenibilidad del Ciclo de Vida Social (LCSA).

De esta manera, afirman que se encuentran explorando la posible reutilización de las palas en arquitectura e ingeniería para el desarrollo de métodos que tengan un efecto positivo en la calidad del aire y del agua al disminuir una fuente importante de desechos no biodegradables.

En las siguientes imágenes se visualizan algunas de las propuestas del catálogo que presentan en el proyecto Re- Wind:



Figura 23. PROPUESTA DE PUENTE A PARTIR DE REUTILIZACIÓN DE PALAS EÓLICAS. FUENTE: RE-WIND.



**Figura 24. PROPUESTA DE PUENTE A PARTIR DE REUTILIZACIÓN DE PALAS EÓLICAS. FUENTE: RE-WIND.**



**Figura 25. PROPUESTA DE REUTILIZACIÓN DE PALAS EÓLICAS PARA TENDIDO DE LÍNEAS ELÉCTRICAS. FUENTE: RE-WIND**

Hay decenas de miles de palas en desuso alrededor del mundo, y muchas de ellas no tienen a dónde ir si no es a relleno. En EEUU unas 8.000 se removerán dentro de los próximos cuatro años; Europa, que ha estado tratando con el problema durante más tiempo, desmontarán cerca de 3.800 palas anualmente. La mayoría de estas palas provienen de aerogeneradores construidos hace más de una década, cuando la cantidad de instalaciones eran menos de un quinto de las que se construyen hoy.

De acuerdo con las fuentes consultadas no se encuentran normativas específicas en Argentina que traten sobre la disposición final del equipamiento de un aerogenerador, posterior a la vida productiva de un parque eólico. Se entiende que todo aquel equipo con valor remanente obliga a su propietario a capturar ese valor a través del reciclaje. Eventualmente se cumplen con normativas ambientales más generales sobre generación de energía eléctrica o de procesos industriales, y las normas que rigen abandonos de sitios y el tratamiento de los pasivos ambientales.

Lo últimos datos reportados por la CEA (Cámara Eólica Argentina) para agosto del 2022, se encontraban en funcionamiento 57 parques eólicos distribuidos a lo largo y ancho de Argentina que sumaban un total de 3.292 MW de potencia instalada gracias al funcionamiento de más de 900 aerogeneradores. El mayor número de aerogeneradores reportados para entonces se encontraban en Chubut, con 365 equipos.

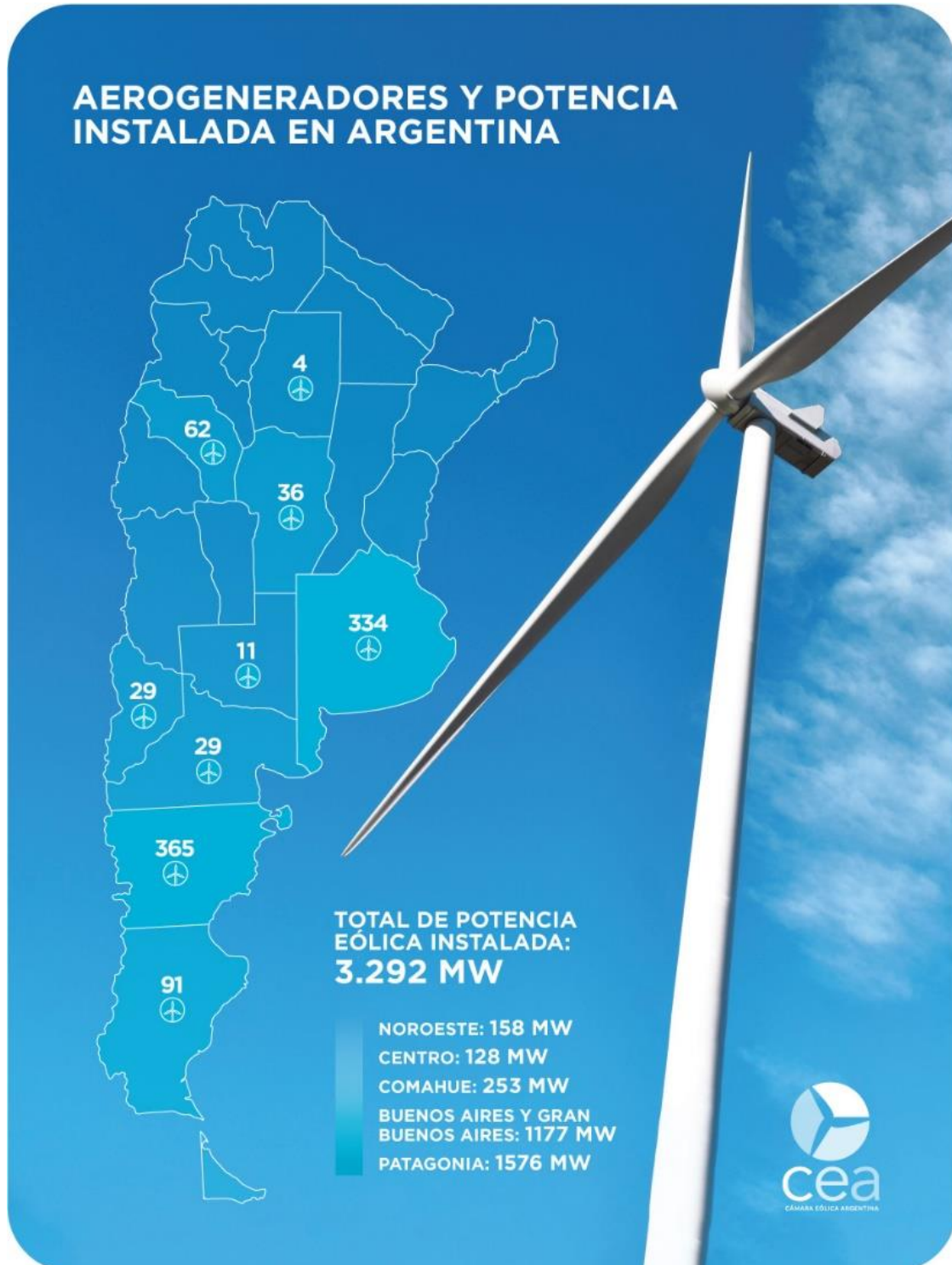


Figura 26. AEROGENERADORES Y POTENCIA INSTALADA EN ARGENTINA. FUENTE CÁMARA EÓLICA ARGENTINA.

Particularmente, YPF LUZ en la actualidad cuenta con tres activos distribuidos a lo largo del país, en provincia de Buenos Aires el parque eólico Los Teros con 45 aerogeneradores, siendo uno de los parques más grandes del país, y con una potencia instalada

de 175 MW, en Cañadón Seco, Santa Cruz el parque eólico Cañadón León con 29 aerogeneradores y una potencia instalada de 123 MW y por último el parque eólico estudiado en el presente trabajo, Manantiales Behr, con 30 aerogeneradores y una potencia instalada de 99MW. Asimismo, tiene en proyecto de construcción el parque eólico General Levalle en provincia de Córdoba el cual contará con 25 aerogeneradores y una potencia instalada de 155MW.

Teniendo en cuenta la cantidad de aerogeneradores en parques eólicos distribuidos en el país, la empresa cuenta con un total de 104 equipos fabricados e instalados por la compañía danesa Vestas. Según datos informados por representantes técnicos de YPF Luz, particularmente las palas de los aerogeneradores del parque eólico Manantiales Behr pesan 12 toneladas cada una y miden 52 metros de largo. Dichas características técnicas pueden variar en función del recurso disponible en las distintas zonas de emplazamientos.

De acuerdo a estos datos, se podría aproximar que, por el total de equipos aerogeneradores instalados y sus respectivas palas, se estaría generando un total de 3.768 toneladas de residuos eólicos, cabe aclarar que considerando únicamente a las palas eólicas como residuo complejo de reciclar.

En la siguiente tabla se puede visualizar los datos mencionados:

PARQUES EOLICOS YPF LUZ – TOTAL DE PALAS			
PARQUE EOLICO	CANT. AEROGENERADORES	TOTAL PALAS	TONELADAS
Manantiales Behr	30 aerogeneradores	90 palas	1.080 TN
Cañadón León	29 aerogeneradores	89 palas	1.068 TN
Los Teros	45 aerogeneradores	135 palas	1.620 TN
<b>TOTAL:</b>	<b>104 AEROGENERADORES</b>	<b>314 PALAS</b>	<b>3.768 TN</b>

Tabla 6. TOTAL DE PALAS EÓLICAS POR LA CANTIDAD DE PARQUE EÓLICOS DE LA EMPRESA YPF LUZ. FUENTE ELABORACIÓN PROPIA.

Tal como se mencionaba anteriormente, la vida útil de un aerogenerador se estima alrededor de 20 años, para el caso puntual de YPF LUZ y su joven proyecto del parque eólico Manantiales Behr, hasta el momento no se ha contemplado una disposición final determinada para el momento del desmantelamiento del mismo, una vez cumplido su ciclo de vida. Si bien se ha realizado el estudio de impacto ambiental correspondiente, en el cual se evaluaron las etapas del proyecto, en la etapa de abandono no se especifica el proceso de desmantelamiento, la gestión de los residuos provenientes de los equipos de aerogeneradores y su correspondiente disposición final.

De acuerdo a la información recabada, hasta el momento no hubo necesidad de sustituir ninguna pala de los treinta aerogeneradores que se encuentran operativos dentro del parque. No obstante, es una posibilidad que debe tenerse en consideración, dado que, dentro de los veinte años aproximados de vida útil de cada equipo, las palas pueden sufrir daños causados por las tensiones que padecen en su función de rotación, por las agresiones meteorológicas que sufren especialmente por las descargas eléctricas atmosféricas y/ o por el impacto de las aves. Siempre que sea posible, pueden ser reparadas, caso contrario se hace necesario recurrir a alguna técnica de gestión de este tipo de residuo.

Sin embargo, estas soluciones cuentan actualmente con varios problemas, siendo los principales la dificultad para encontrar colaboradores para el reciclado de forma estable, y la inexistencia de una figura a nivel comercial que absorba el volumen generado y lo transforme en un subproducto (reciclado y reutilizado).

### 4.3. ANÁLISIS DE RESULTADOS

A partir del análisis de las posibles alternativas de gestión de los residuos provenientes de la desinstalación de un aerogenerador y particularmente de las palas, sería pertinente considerar la siguiente jerarquía de residuos:



Figura 27. JERARQUÍA DE GESTIÓN DE RESIDUOS DE LA UE. FUENTE: AEE 2021.

De acuerdo a la anterior figura, la estrategia de gestión de residuos debería incluir objetivos para su reducción en la medida de lo posible, la recuperación de material y/o energía mediante la reutilización, el reciclaje y el reprocesamiento, limitando la incineración y la entrega a vertedero como últimas alternativas.

Entre las distintas tecnologías e iniciativas para la prevención de los residuos se encuentran la extensión de vida de las palas.

A continuación, se analizan las diferentes técnicas encontradas, estudiadas e implementadas en los casos descriptos en apartados anteriores por empresas de diferentes países y que han tenido tanto ventajas como desventajas:

## REUTILIZACION

La reutilización, la cual consistiría en volver a utilizar las palas para la misma finalidad en el mismo aerogenerador o en otro, no es posible debido a que el material después de tanto tiempo de servicio pierde sus capacidades de resistir los mismos esfuerzos. Por lo tanto, habría que destinarlas a otra finalidad que conlleve menor esfuerzo mecánico por parte del material.

Una alternativa, es la reutilización para propósitos estructurales o arquitectónicos, aprovechando sus cualidades y dimensiones para proyectos como la reconversión de las palas en parques públicos infantiles, mobiliario urbano y/o barreras acústicas, entre otros. Esta opción, permite alargar la vida de las palas con poco esfuerzo y no emite contaminantes a la atmósfera. Sin embargo, es necesario considerar que el número de aplicaciones posibles es reducido, lo cual podría no resultar como solución a gran escala.

Dentro de esta área de trabajo, en Comodoro Rivadavia, se puede observar la reutilización de palas de aerogeneradores en los ingresos a la ciudad como estructuras icónicas y en monumentos de plazas.

## **RECICLAJE**

Si la pala carece de vida remanente y no puede ser utilizada, la siguiente opción es el reciclado del material. Es decir, la pala se convierte en un nuevo producto con un uso funcional distinto, aunque el material pierda valor.

Tal como se ha explicado en los apartados anteriores del presente trabajo, al utilizar principalmente resinas termoestables, los materiales compuestos resultantes no pueden ser fundidos y es complicado separar la matriz de las fibras de refuerzo. Esto supone que la complejidad de los materiales utilizados para la pala requiere de procesos específicos para su reciclaje, pudiéndose distinguir principalmente tres tipos de reciclado; mecánico, térmico y químico.

## **RECICLAJE MECANICO**

El reciclado mecánico de las palas consiste en su triturado hasta conseguir la obtención de porciones pequeñas de material, de milímetros de tamaño, que son utilizados posteriormente para la obtención de nuevos materiales o productos de menor calidad y funcionalidad reducida. Los productos fibrosos reciclados tienen un gran potencial en sus propiedades mecánicas. Entre las aplicaciones se pueden mencionar el uso como refuerzo en asfalto, el remplazo de fibras cortas en combinación con fibras largas vírgenes, dentro de los compuestos termoestables.

## RECICLAJE TÉRMICO

Esta opción se basa en la aplicación de procesos a los residuos de palas para conseguir la combustión de la parte orgánica y obtener como producto las fibras. Varias alternativas están siendo exploradas, incluyendo la pirólisis, la pirólisis por microondas y el proceso de lecho fundido.

La pirólisis es la descomposición térmica de materiales a elevadas temperaturas y atmósferas inertes (ausencia de oxígeno). Se trata de un proceso de reciclaje que ya es usado para otras aplicaciones, del cual se obtienen como productos combustible y energía para el propio proceso térmico. Al aplicar el proceso de pirólisis a las palas eólicas, la matriz polimérica se degrada hasta conseguir una mezcla de hidrocarburos, obteniendo como producto del proceso las fibras de vidrio. Aunque resulta una disminución de las propiedades mecánicas, las fibras de vidrio pueden ser recuperadas y reutilizadas para otras aplicaciones no estructurales. No obstante, su principal desventaja es su alto coste de inversión y operación. (AEE, 2021).

## RECICLAJE QUÍMICO

El objetivo de esta técnica, es separar completamente la fibra de vidrio de la resina, a través de un proceso químico que implica degradar el material compuesto de resina epoxi reforzado con fibra de vidrio mediante el uso de un disolvente, como el ácido nítrico. Y de esta manera poder recuperar partículas de fibra de vidrio, conservando la mayor parte de sus propiedades aptas para otro uso productivo.

Para las tres técnicas de reciclaje mencionadas, se obtiene la separación de la resina para darle un nuevo uso a la fibra de vidrio recuperada. Lo cual permite la posible adición, en proporciones adecuadas, a la fabricación de nuevos materiales compuestos, como se pudieron ver en casos experimentales en otras partes del mundo.

Las mejores propiedades de la fibra de vidrio recuperada estarán dadas por la elección de una u otra técnica. Ya que, en el caso del reciclado mecánico, lo constante y agresivo de la

trituration resulta por disminuir sus propiedades, al igual que en el caso del reciclado térmico por las condiciones de temperatura elevada. No es así, para el caso del reciclado químico que resulta más preciso en su modo de actuar sobre la matriz polimérica del material. (Toledo. A 2015, pág. 89).

## **INCINERACION**

Otra opción que se ha desarrollado en diferentes partes del mundo, con ventajas y desventajas, es la incineración de las palas, técnica por la cual se descompone el material de estas empleando calor, con o sin recuperación de energía, a partir de los gases de combustión. Como principal ventaja, se puede mencionar la recuperación de calor que se puede utilizar para la generación de electricidad. Y como desventajas, se encuentran la emisión de gases contaminantes y la generación de cenizas que también pueden ser consideradas contaminantes por la presencia de compuestos inorgánicos, que por tanto requieren de un adecuado tratamiento.

## **DEPOSICION EN VERTEDEROS**

La descarga de este tipo de residuos en extensas hectáreas de tierras se ha podido ver con los primeros aerogeneradores que han alcanzado su ciclo de vida en diferentes partes del mundo. Actualmente, se intenta erradicar en países principalmente de Europa, y en vista de modelo a seguir para muchos otros países. Esto se debe a que la deposición en vertederos, si bien es la alternativa menos costosa en términos económicos, es la más desfavorable ambientalmente, ya que no se ajusta a la filosofía de la economía circular y su capacidad de reaprovechamiento es completamente nula.

Los parques eólicos están acercándose al final de su vida útil y a su desmantelamiento, siendo necesario encontrar soluciones de reciclado para estos residuos y de esa manera no desaprovechar los valiosos componentes que pueden acabar en vertederos.

Experiencias favorables como el proyecto Life Refibre, ha conseguido demostrar que el reciclado mecánico de palas de aerogeneradores es un proceso viable, tanto técnica como económicamente. Y con ello, se promueve la rentabilidad de la fibra de vidrio que integran las palas y se favorece la recuperación de residuos para que tengan una segunda vida como aglomerado asfáltico.

En la siguiente imagen se pretende representar gráficamente las diferentes técnicas de gestión de palas eólicas analizadas hasta aquí:

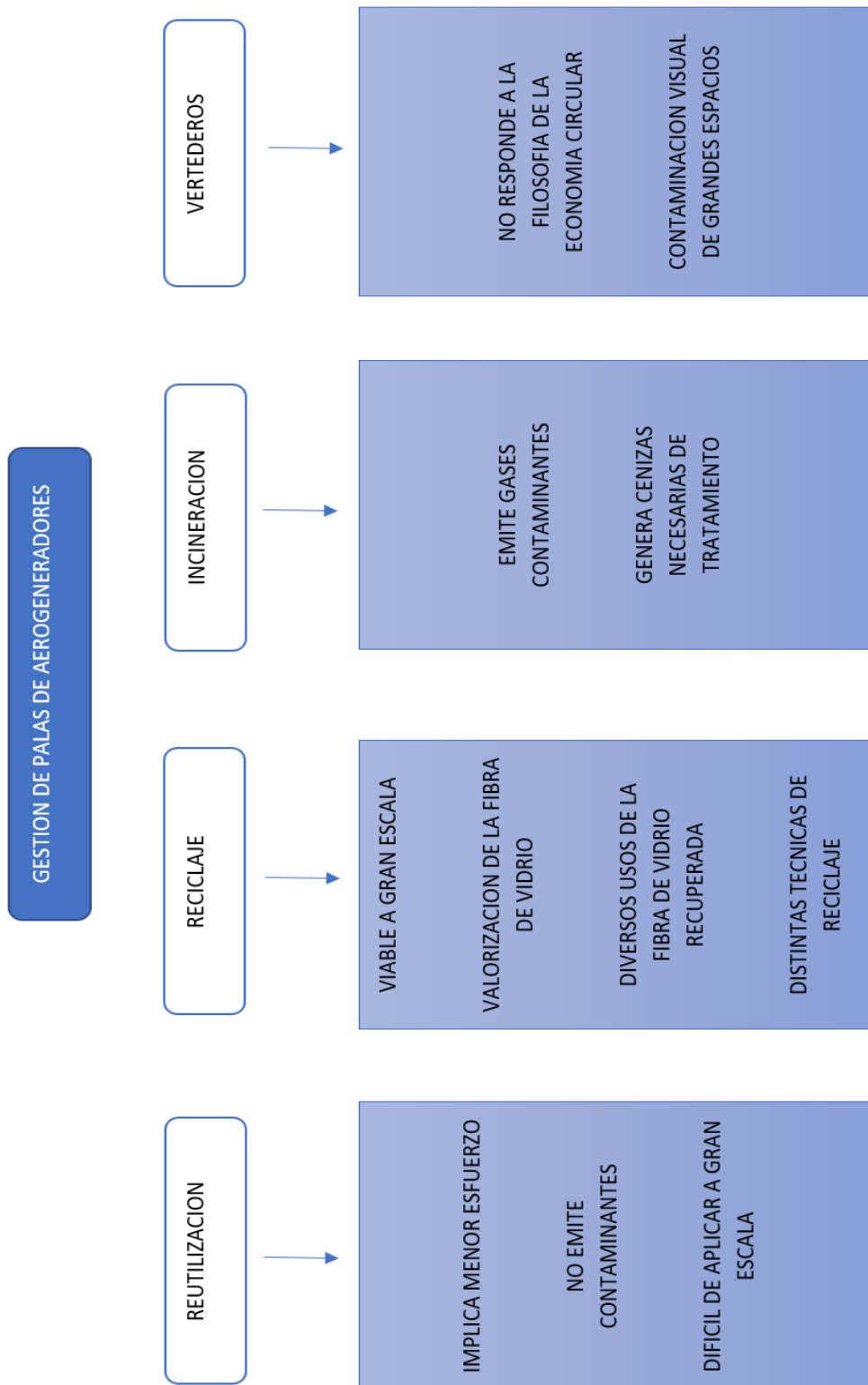


Figura 28. DIFERENTES TÉCNICAS DE GESTIÓN DE PALAS EÓLICAS ANALIZADAS. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA.

De las diferentes técnicas más utilizadas en diferentes casos particulares en otros países se desprende el análisis presentado, marcando desde el punto de vista del impacto ambiental cuales resultan con ventajas mayormente desfavorables.

Sin embargo, es interesante señalar que las alternativas presentadas son diferentes entre sí, en relación al tipo de producto que se obtienen al aplicar cada una de las técnicas.

Para algunos casos, el material compuesto podrá ser recuperado, separado de sus materias primas originales de manera total o parcial, dependiendo el tipo de técnica utilizada, en otros casos solo será reducido de tamaño y en otros casos reutilizados. Marcando siempre el interés en evitar optar por el caso de enterrarlo.

Dicho esto, es necesario resaltar la conveniencia de ampliar el análisis de las diferentes opciones de técnicas presentadas de acuerdo a las necesidades y posibilidades de la empresa en el momento de decidir cuál será la técnica mas pertinente que se ajuste a su gestión.

## CAPÍTULO 5:

### 5.1. IMPACTO ESPERADO

Se espera que, a partir de las actividades realizadas y el análisis de las alternativas propuestas en diferentes partes del mundo sobre cómo gestionar el tratamiento de las palas eólicas, se cuente con un panorama claro de las posibles alternativas de gestión una vez llegado el momento de desmantelamiento. En su defecto, que permita abrir puertas de investigación sobre la problemática y ello aporte a alcanzar la economía circular dentro de la industria eólica.

Adicionalmente, el abordaje de estas mejoras continuas dentro de la empresa, reafirma el compromiso con la sociedad y con el ambiente, marcando la responsabilidad que toma en todo el proceso de ciclo de vida de su servicio. Asimismo, continúa dando cumplimiento a las normas IRAM, en la cual se encuentra certificada por la ISO 14001:2015.

Por su parte, el ambiente, puede resultar beneficiado producto de la implementación de una adecuada gestión de los residuos. De manera que, se estaría evitando que un importante volumen de palas eólicas fuera dispuesto en vertederos, enterradas o quemadas de manera insostenible. Y a su vez fomentando la recuperación y reciclaje de residuos valorizados.

De igual manera, la sociedad es otro actor que puede verse beneficiado si se opta por desarrollar un buen manejo de estos residuos y de tal forma prevenir la afectación de diferentes espacios, lo cual resultaría provechoso tanto en el presente como para las generaciones futuras.

### 5.2. DESCRIPCIÓN DE LOS RECURSOS NECESARIOS

Los recursos necesarios para poder llevar adelante la propuesta presentada pudieran ser los siguientes:

Recursos humanos: principalmente la disponibilidad del personal de YPF LUZ para desarrollar los procedimientos necesarios para dar claridad al manejo de los residuos provenientes del desmantelamiento del parque eólico una vez finalizado su ciclo de vida útil, como así también, para el caso de ser necesario el retiro de alguna de las palas eólicas por diferentes desperfectos que se pudieran ocasionar en ellas.

Asimismo, puede ser necesario la gestión por parte de la empresa involucrada para atraer colaboradores que pudiesen darle tratamiento a las palas eólicas desmanteladas. Es posible también que la iniciativa por la empresa impulse y fomente el desarrollo de emprendedores regionales/nacionales que pudieran realizar los diferentes tratamientos propuestos. Por último, se requerirá necesariamente recurso humano para la labor del desmontaje de cada aerogenerador desafectado.

Recursos materiales: los recursos necesarios e indispensables para la etapa de desmontaje de cada componente de los aerogeneradores son principalmente grúas de gran porte, tales como fueron necesarias para el montaje de los mismos, camiones grúas de menor tamaño y equipos con semi remolque para cada una de las partes desmanteladas. Cabe mencionar que para ejecutar cada maniobra es necesario y obligatorio que el personal cuente con los EPPs (Elementos de Protección Personal).

Recursos financieros: es posible considerar el capital económico necesario para poder implementar el circuito de gestión de los residuos mencionados, tanto para la etapa de desmontaje, que incluye la contratación de maquinaria pesada de camiones grúas y equipos de remolques, como para la etapa de transporte al lugar de tratamiento, que puede incluir la contratación de empresas transportistas.

## 5.5. CONSIDERACIONES METODOLÓGICAS DEL PROCESO DE EVALUACIÓN

La información recabada para la elaboración de la presente propuesta, permitieron identificar la situación actual respecto al desarrollo de estrategias de economía circular aplicables a palas eólicas, teniendo en cuenta aspectos como la composición de los materiales, la legislación vigente, las principales tecnologías y las aplicaciones para su reutilización y reciclaje, tanto las ya implementadas a día de hoy, como las que se encuentran en fase de investigación y desarrollo.

A continuación, se desarrollarán indicadores que se puede relacionar de manera directa con los resultados obtenidos, posterior a la implementación de la propuesta.

En primera instancia, se pueden considerar los indicadores de Desempeño Ambiental, estos están orientados a demostrar el compromiso de la organización con el medio ambiente, a

través del cumplimiento de su política ambiental, certificaciones, procedimientos y legislación aplicable. Los mismos pueden estar referidos a proporcionar información de los resultados obtenidos a través del desarrollo de la propuesta.

Otro indicador, como el de Desempeño de Gestión, podría incluir datos como los costos y beneficios de la propuesta establecida.

Asimismo, el indicador de Desempeño Operacional podría proporcionar información sobre el desempeño ambiental de las operaciones de la empresa en lo que respecta al establecimiento de una gestión adecuada de los residuos eólicos, especialmente las palas como residuo complejo. De esta manera podrá completar de manera sustentable el ciclo de vida de las palas de los aerogeneradores y contribuir a la economía circular.

## 5.5. CRONOGRAMA

ACTIVIDADES	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SEPTIEMBRE	OCTUBRE
Redacción anteproyecto de tesis	X						
Trabajo de campo, búsqueda de datos e investigación	X	X	X	X	X		
Lectura de material bibliográfico	X	X	X				
Redacción desarrollo y resultados			X	X	X		
Conclusiones y recomendaciones						X	
Defensa de la Tesis							X

Tabla 7. CRONOGRAMA DE LA PROPUESTA DE INTERVENCIÓN PROFESIONAL. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA.

## CAPITULO 6: CONCLUSIONES

El objetivo general de la presente Propuesta de Intervención Profesional, *“Estimar posibles alternativas de gestión para las palas eólicas como residuos generados en el fin del ciclo de vida de los aerogeneradores de la empresa YPF Luz”* pudo ser alcanzado con éxito, a lo largo del proyecto se desarrollaron las diferentes estrategias de gestión aplicadas y estudiadas en el mundo en lo que respecta a las palas de aerogeneradores. Como así también, el análisis de las particularidades de cada una ellas, las ventajas y desventajas de su aplicación, para la posible gestión dentro de la empresa involucrada.

El primer objetivo planteado, *“Identificar la situación de gestión de residuos de la empresa YPF Luz”* pudo ser logrado dada la información disponible y el aporte de la empresa, el acceso a procedimientos y documentos, como así también la posibilidad de realizar los recorridos al parque y a cada una de las instalaciones. Todo ello permitió el buen desarrollo de la investigación y la descripción de lo propuesto.

El segundo objetivo expuesto, *“Indagar el estado de arte a diferentes niveles internacional, nacional y regional de las técnicas”* fue abordado a partir de una ardua investigación y su logro permitió conocer y describir los detalles y resultados de las técnicas aplicadas, y también las estudiadas y propuestas en diferentes países del mundo. Asimismo, se pudo remarcar la importancia de evaluar las diferentes alternativas considerando la valorización del material compuesto, la recuperación de energía invertida en su fabricación y la posibilidad de cerrar un ciclo de vida 100% sustentable y a su vez abrir un segundo ciclo de vida con material recuperado.

El tercer objetivo propuesto, *“Evaluar alternativas de acciones para desarrollar un plan de gestión de residuos de aerogeneradores”* se alcanzó a partir de la información recabada y su posterior análisis considerando las técnicas mayormente utilizadas, con los mejores beneficios obtenidos y resultados óptimos.

El logro del cuarto y último objetivo *“Delinear las alternativas posiblemente viables para la gestión de los residuos investigados”* permitió seleccionar las vías de gestión más óptimas como aquellas que generan mayor energía y a su vez menor impacto ambiental. De acuerdo a lo planteado en el presente trabajo, la reutilización resulta ser la opción más adecuada seguida por el reciclado mecánico.

A lo largo del desarrollo de esta investigación se han presentado diversas técnicas de gestión estudiadas e implementadas en la actualidad en diferentes partes del mundo para conseguir la total reciclabilidad de las palas de los aerogeneradores. La necesidad del impulso y desarrollo de las tecnologías mencionadas viene motivada por los grandes volúmenes de palas que serán desmanteladas en los próximos años en todo el mundo.

Presentadas y analizadas las diferentes técnicas y considerando la vía de gestión más óptima como aquella que resulte con el mínimo impacto ambiental posible y la más eficiente para valorizar los residuos de palas eólicas, la reutilización resulta ser la opción más adecuada, seguida por el reciclaje, la incineración y como última opción y con objetivo de erradicar, la deposición en vertederos.

De acuerdo a los casos analizados la reutilización, es la técnica con mejores resultados, que menor esfuerzo representa y que no emite gases contaminantes a la atmósfera, no obstante, se debe considerar las limitaciones que presenta a gran escala de implementación.

El reciclaje mecánico y la utilización del producto triturado en el co-procesamiento de cemento es la técnica más desarrollada y la que mayor volumen de materiales compuestos puede tratar. El reciclaje químico ha demostrado en los diferentes casos aplicados ser el más eficaz en lo que refiere a mantener las mejores propiedades del material recuperado.

Para el caso de la incineración, es la opción que genera mayor impacto ambiental al emitir gases contaminantes a la atmósfera en el proceso de tratamiento y a su vez genera un volumen considerable de cenizas inorgánicas que a su vez requieren de un tratamiento adecuado.

Por último, la deposición en vertederos es la opción que se intenta erradicar en muchos países del mundo ya que no se ajusta a la filosofía de la economía circular, ocupa extensas hectáreas de tierra generando un impacto visual en el entorno y su capacidad de reaprovechamiento es completamente nula.

En definitiva, la presente propuesta ha alcanzado a presentar la primera línea de base de investigación sobre las posibilidades y alternativas para desarrollar una gestión de las palas de aerogeneradores como residuos complejos de la industria eólica.

A partir de ello, la empresa YPF Luz podrá anticiparse al gran problema que enfrentan muchos países del mundo de contar con enormes volúmenes de palas eólicas para tratar. Pudiendo continuar de esta manera con su compromiso ambiental y seguir ofreciendo un servicio pensado en todas sus etapas de manera sustentable.

Asimismo, fomentar e impulsar tanto a sus colaboradores como a emprendedores regionales y nacionales en la iniciativa del reciclaje.

Cabe mencionar que la propuesta elaborada podría ser adaptada a los diferentes parques eólicos en operación por la empresa en cuestión. Como así también, complementada con nueva información y tecnología desarrollada en el futuro.

Asimismo, el presente trabajo invita a abrir futuras líneas de investigación asociadas a la problemática y a la industria, como tecnologías que pudieran implementar materiales 100% reciclables en la fabricación de las palas de aerogeneradores, etc.

En efecto, se puede concluir que, el desarrollo de este proceso de investigación, posibilitó resaltar un problema poco abordado, por lo menos en nuestro país, y que puede impulsar al buen desarrollo de la gestión ambiental dentro de las empresas, de manera que existan los estudios y las herramientas para estar preparado ante un escenario de complejidad y apuntar a tomar las medidas necesarias para hacer de una industria lo más sustentable posible.

Finalmente, es necesario expresar la grata experiencia para mi formación profesional tanto como para la elaboración de la presente propuesta, el haber transitado un periodo de pasantía en la empresa en cuestión. De forma que, el contacto directo con referentes institucionales y el haberme facilitado siempre los medios suficientes para llevar adelante cada actividad, disponer de información específica y conocimientos sobre el mercado eléctrico y la industria eólica sin duda ha enriquecido el trabajo realizado hasta aquí.

## CAPITULO 7: BIBLIOGRAFIA

Alvarez. G, Ojeda. A & Toledo. O (2022). Propuestas de normativas para la disposición final de equipamiento de un parque eólico al finalizar su vida productiva.

Aguado. A & Verdugo. F (2021). Recuperación de la fibra de vidrio presente en las palas de aerogenerador a través de su reciclado mecánico.

Arias. A (1968). El concepto energía en la enseñanza de las ciencias.

Ashby, Michael F. (2012) Materials and the environment eco-informed material choice.

Asociación empresarial eólica (2021). Economía circular en el sector eólico palas de aerogeneradores.

Balboa. C (2014) Economía circular como marco para el ecodiseño: el modelo ECO-3.

Barragán, M. (2017). Economía circular y desarrollo sostenible: retos y oportunidades de la economía ambiental. Universidad Estatal de Milagro. Facultad de Ciencias Administrativas y Comerciales. Ecuador.

Barroso Tanoira, F. (2007). Responsabilidad Social Empresarial: Concepto y sugerencias para su aplicación en empresas constructoras.

Berrios, G y Rivarola, A (2009) Evaluación comparativa de turbinas eólicas de gran potencia empleando metodología de análisis de ciclo de vida.

Bohórquez Torres, Y. L., & Güiza Delgadillo, S. M. (2019). Análisis de los impactos ambientales y sociales de los aerogeneradores a través del análisis de ciclo de vida apoyado en el software Open LCA.

Cancino, R & Garcia. V (2021). Potencial social y ambiental de la industria eólica para una transición energética en América Latina.

Ceballos, Luz (2009) Los parques eólicos necesitan ACV para evaluar su comportamiento ambiental.

Cerda, E y Khalilova, A. (S/F). Economía circular. Economía circular, estrategia y competitividad empresarial.

- Clementi. L (2017) Energía eólica y territorios argentinos.
- Cobreiro, P. Jiménez, N. (2014). Aerogeneradores (I): funcionamiento y marco normativo de prevención de riesgos laborales. Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo.
- Confluencia (2016) EIA, Estudio de Impacto Ambiental Parque Eólico Manantiales Behr.
- Conesa. F & Vítora. V. (2003). Guía Metodológica para la Evaluación del Impacto Ambiental. 3ª. edición. Ed. Mundi-Prensa
- Fullana, P. y Puig, R. (1997), Análisis del ciclo de vida.
- Furlan. A (2017). La transición energética en la matriz eléctrica argentina (1950-2014). Cambio técnico y configuración espacial.
- Hernández Sampieri, R., Fernández Collado, C., & Baptista Lucio, P. (2014). Metodología de la investigación (6 ta ed.).
- ISO (2015) IRAM-ISO14001 Sistemas de gestión ambiental.
- Imperial A. (2010) Ecodiseño de un aerogenerador.
- Mitchel.B (1999) La gestión de los recursos y del medio ambiente.
- Norma UNE-EN-ISO 14001: 2015. Sistema de Gestión Ambiental. Requisitos IRAM-ISO
- Norma UNE-EN-ISO 14040: 1998 Gestión ambiental -Análisis del ciclo de vida- Principios y marco. IRAM-ISO
- Norma UNE-ENE-ISO 1404:1999 Gestión ambiental -Análisis del ciclo de vida- Definición de la meta y el alcance y análisis del inventario. IRAM-ISO.
- Norma UNE-ENE-ISO 14042: 2000 Gestión ambiental -Análisis del ciclo de vida- Evaluación del impacto del ciclo de vida. IRAM-ISO.
- Pazos. P (2022) Análisis de ciclo de vida de un parque eólico terrestre.
- Rivarola. A, Torres. L & Berrios. G (2011). Estudio y comparación de alternativas de fin de vida aplicadas a palas de aerogeneradores, empleando metodología de análisis de ciclo de vida.
- Romero. L (2017) Gestión de montaje de parque eólicos.

Stupenego, F (2011). Materiales compuestos. Cap.10.

Toledo, A (2015). Selección de un proceso para la valorización de residuos de palas de aerogeneradores.

Valdez, S., & Colomé, D. G. (2009). Marco Legal para la generación Eólica en el Mundo y en la Argentina.

YPF Luz (2021). Procedimiento de Gestión de Residuos. Versión 06.

## SITIOS WEB CONSULTADOS

Acciona. Pagina: <https://www.acciona.com/es/salaprensa/noticias/2015/marzo/acciona-windpower%02inaugura-primera-planta-torres-eolicas-hormigon-mexic> Fecha de acceso: 20.07.2023

Asociación Empresarial Eólica. Página: [www.aeeolica.org/](http://www.aeeolica.org/) . Fecha de acceso: 09.06.2023.

Cámara Eólica Argentina. Página: <https://camaraeolicaargentina.com.ar/?p=6650> Fecha de acceso: 18.04.2023

Conciencia Eco. Página: <https://www.concienciaeco.com/> Fecha de acceso: 07.07.2023

Ecointeligencia. Pagina: <https://www.ecointeligencia.com/2017/07/huella-carbono/> Fecha de acceso: 20.09.2023

Endeza. Pagina: <https://www.endesa.com/es/prensa/sala-de-prensa/noticias/eficiencia-energetica/economia-circular/primera-planta-reciclaje-palas-eolicas-peninsula-iberica> Fecha de acceso: 20.05.2023

Enel Green Power. Pagina: <https://www.enelgreenpower.com/es/medios/news/2021/03/reciclaje-turbinas-eolicas> Fecha de acceso: 20.07.2023

Energías renovables. Pagina: <https://www.energias-renovables.com/eolica/20190904-1> Fecha de acceso: 20.07.2023

Energiza. Pagina: [http://www.energiza.org/index.php?option=com\\_k2&view=item&id=1246:principales%02componentes-de-un-aerogenerador](http://www.energiza.org/index.php?option=com_k2&view=item&id=1246:principales%02componentes-de-un-aerogenerador) Fecha de acceso. 19.07.2023

Evwind. Pagina: <https://www.evwind.com/2014/03/11/eolica-y-energias%02renovables-aerogeneradores-marinos-g128-5-0-mw-d> Fecha de acceso: 13.03.2023

EuroNews. Pagina: <https://es.euronews.com/my-europe/2021/06/25/el-reciclaje-de-las-palas-supone-un-gran-problema-para-la-energia-eolica> Fecha de acceso. 13.03.2023

Expansión. Pagina: <https://www.expansion.com/valencia/2023/02/08/63e24693e5fdea795d8b45f8.html> Fecha de acceso: 13.03.2023

Fundación Ellen MacArthur. (2016). Hacia una economía circular: Motivos económicos para la transición acelerada. Pagina: <https://www.ellenmacarthurfoundation.org/es/resources/reports-and-books> Fecha de acceso: 08.07.2023

Ge Vernova. Página: <https://www.ge.com/renewableenergy/home> Fecha de acceso: 15.05.2023

Hipertextual. Pagina: <https://hipertextual.com/2022/08/palas-aerogeneradores-ositos-gominola> Fecha de acceso: 13.03.2023

Iberdrola. Pagina: <https://www.iberdrola.com/sostenibilidad/palas-aerogeneradores#:~:text=La%20mayor%C3%ADa%20de%20las%20palas,o%20madera%2Dfibra%2Ddepoxy> Fecha de acceso: 10.05.2023

La vanguardia. Pagina: <https://www.lavanguardia.com/> Fecha de acceso: 13.03.2023

Life Refibre. Página: <https://www.liferefibre.eu/> Fecha de acceso: 10.02.2023

LM Wind Power. Pagina: <https://www.lmwindpower.com/> Fecha de acceso: 10.04.2023

Miljoskarm. Página: <https://miljoskarm.dk/produkter/> Fecha de acceso: 20.07.2023

Open Energy. Pagina: <http://www.trituracionmolienda.com/Molinos.html> Fecha de acceso: 10.02.2023

Reciclame. Pagina: <http://www.reciclame.info/gestion-de-residuos-2/vertederos-controlados/> Fecha de acceso: 13.03.2023

Recircular. Pagina: <https://recircular.net/blog> Fecha de acceso: 22.02.2023

Re-Wind. Pagina: <https://www.re-wind.info/> Fecha de acceso: 10.07.2023

Resumen Ejecutivo Hacia una economía Circular. Pagina: <https://www.argentina.gob.ar/sites/default/files/hacia-una-economia-circular-resumen-ejecutivo-ellen-mac-arthur-foundation.pdf> Fecha de acceso: 20.05.2023

Revista virtual: Futuro 360. Pagina: <https://www.futuro360.com/> Fecha de acceso: 10.06.2023

Revista Universidad Tecnológica de Panamá. Pagina: <https://revistas.utp.ac.pa/index.php/id-tecnologico/article/view/3695> Fecha de acceso: 08.09.2023

Repositorio académico de la Universidad de Chile. Pagina: <https://repositorio.uchile.cl/handle/2250/183026> Fecha de acceso: 20.08.2023

Repsol. Economía circular y Sostenibilidad: Página: <https://www.repsol.com/es/sostenibilidad/economia-circular/index.cshtml> Fecha de acceso: 12.08.2023

Retema. Pagina: <https://www.retema.es/articulos-reportajes/hacia-una-economia-circular-para-las-palas-eolicas> Fecha de acceso: 20.05.2023

Siemens Gamesa: Pagina: <https://www.siemensgamesa.com/es-es> Fecha de acceso: 04.06.2023

Tecrenova. Página: <https://tecnorenova.com/reciclaje-de-palas/> Fecha de acceso: 23.06.2023

Trituración y molienda. Pagina: <http://www.trituracionymolienda.com/Molinos.html> Fecha de acceso: 10.08.2023

Ventos Metódicos: Página: <https://www.ventosmetodicos.com/> Fecha de acceso: 12.03.2023

Unión Europea. Página: [https://european-union.europa.eu/index\\_es](https://european-union.europa.eu/index_es) Fecha de acceso: 26.05.2023

YPF Luz. Página: <https://www.ypluz.com/NuestrosActivos/Home> Fecha de acceso: 02.03.2023

YPF S.A Página: <https://diversidad.ypf.com/reportes.html> Fecha de acceso: 05.06.2023

Wind Europe. Página: <https://windeurope.org> Fecha de acceso: 12.01.2023

Wind Europe. Accelerating Wind Turbine Blade Circularity. Pagina:  
<https://windeurope.org/wpcontent/uploads/files/aboutwind/reports/WindEuropeAccelerating-wind-turbine-blade-circularity.pdf> Fecha de acceso: 01.03.2023

World Energy Trade. Pagina: <https://www.worldenergytrade.com/energias-alternativas/energia-eolica/como%02funcionan-los-aerogeneradores> Fecha de acceso: 10.02.2023

## CAPITULO 8: ANEXOS

Documento: YPF-Público

**ANEXO 3**  
**Informe Final del Referente Institucional**  
**Departamento de la Carrera de Gestión Ambiental – FHCS- UNPSJB**

Autoras: Lic. Anna Svoboda y Mg. Susana Vidoz

A continuación se presenta un modelo de informe final sugerido para facilitar la tarea del Referente Institucional, sin embargo algunas instituciones/organizaciones o el mismo Referente pueden contar con sus propios formatos para este fin, los que también podrán ser utilizados.

Asimismo, cabe destacar que las características de los aspectos actitudinales y aptitudinales responden al perfil del egresado.

**1. Aspectos actitudinales**

Se evaluará la actitud hacia el aprendizaje, la demanda y sistematización de los datos y la relación con otros profesionales cuyos aportes sean necesarios para la elaboración de la *Intervención Profesional*.

Evaluación	
Satisfactorio <input checked="" type="checkbox"/>	Insatisfactorio <input type="checkbox"/>
Justificación/Comentarios Se entabla un fluido canal de comunicación en todas las etapas de la intervención Profesional, en donde se demuestra actitud para incorporar conceptos referidos a la gestión de energías renovables, mercado eléctrico y sinergia entre generación de energía con fuentes térmicas y eólicas, y sus sistemas de gestión ambiental. Sistemáticamente se trabaja en datos de los sistemas de gestión.	

**2. Aspectos aptitudinales: aplicación profesional y tareas desarrolladas**

Se evaluará la autonomía en la ejecución de las tareas, la utilización de herramientas disponibles, la pertinencia del diagnóstico obtenido, las vinculaciones entre los objetivos de la *Intervención* y las actividades propuestas para alcanzar los mismos, la optimización de los recursos requeridos y el impacto esperado de la implementación de la *Intervención Profesional*.

Documento: YPF-Público

Evaluación	
Satisfactorio <input checked="" type="checkbox"/>	Insatisfactorio <input type="checkbox"/>
Se realzan las tareas y actividades de manera autónoma, utilizando las diferentes herramientas que la compañía dispone para su gestión de OyM, Ambientales, y Excelencia Operacional.	

### 3. Beneficios y Dificultades

Se agregarán comentarios sobre los beneficios y las dificultades de la posible aplicación de la PIP en el ámbito correspondiente.

Beneficios: se nutre al interviniente de conceptos de mercado eléctrico, conceptos de gestión de Centrales térmicas como renovables, como de sistema argentino de interconexión; dichos conceptos son difíciles de adquirir aun estudiando una carrera de grado orientada, siendo un beneficio poder interrelacionarse con actores del sector energético regional y sus actividades.
Dificultades: movilidad por Pandemia, grandes distancias desde centro urbano a los centros de generación y operación de la compañía. Modalidad de trabajo Home Office de diferentes actores a lo largo de la intervención.

TOLEDO,  
RUBEN OMAR

Firmado digitalmente por  
TOLEDO, RUBEN OMAR  
Fecha: 2023.09.13  
09:47:24 -03'00'

