

Evolución y perspectiva de la normativa de gestión de residuos en las instalaciones de energía renovable

Evolution and outlook of the waste management regulations in renewable energy facilities

Patricia Márquez Sobrino: Universidad de Sevilla, España.
patmarsob@alum.us.es

Fecha de Recepción: 13/05/2024

Fecha de Aceptación: 05/08/2024

Fecha de Publicación: 26/09/2024

Cómo citar el artículo

Márquez Sobrino, P. (2024). Evolución y perspectiva de la normativa de gestión de residuos en las instalaciones de energía renovable [Evolution and outlook of the waste management regulations in renewable energy facilities]. *European Public & Social Innovation Review*, 9, 1-19.
<https://doi.org/10.31637/epsir-2024-845>

Resumen:

Introducción: Este artículo analiza la normativa de gestión de residuos en instalaciones de energía renovable y su relación con la normativa de energías renovables (EERR) en los ámbitos europeo, español y andaluz, para evaluar la interrelación entre ambas y su evolución. **Metodología:** Se examinó la normativa aplicable en ambos campos, evaluando la evolución de las regulaciones de residuos y EERR. **Resultados:** El análisis muestra que la normativa de gestión de residuos no ha tenido evidentes periodos de evolución, a diferencia de la normativa de EERR, que sí ha mostrado avances. No es hasta la Directiva de RAEE 2012/19/UE que se aborda la gestión de residuos de infraestructuras de EERR. En cuanto a la normativa de EERR, la primera mención a la gestión de residuos aparece en la Directiva (UE) 2023/2413. **Discusión:** Se observa una falta de regulación específica para los residuos generados por aerogeneradores, mientras que sí existe para las placas solares fotovoltaicas. No obstante, hay principios clave en la normativa que deberían garantizar la gestión adecuada de los residuos de todas las instalaciones. **Conclusiones:** Existe regulación para algunos residuos de infraestructuras de energías renovables, pero aún hay vacíos normativos, especialmente en lo relacionado con los aerogeneradores.

Palabras clave: Energías renovables; Gestión de residuos; normativa gestión de residuos; jerarquía de residuos; responsabilidad ampliada del productor; garantía financiera; aerogeneradores; placas solares.

Abstract:

Introduction: This article analyzes the waste management regulations in renewable energy facilities and their relationship with renewable energy (REE) regulations in the European, Spanish and Andalusian fields, in order to evaluate the interrelation between both and their evolution. **Methodology:** The applicable regulations in both fields were examined, evaluating the evolution of waste and REE regulations. **Results:** The analysis shows that the waste management regulations have not had evident periods of evolution, unlike the EERR regulations, which have shown progress. It is not until the WEEE Directive 2012/19/EU that the management of waste from EERR infrastructures is addressed. As for the EERR regulation, the first mention of waste management appears in Directive (EU) 2023/2413. **Discussion:** There is a lack of specific regulation for waste generated by wind turbines, while there is for solar photovoltaic panels. However, there are key principles in the regulation that should ensure the proper management of waste from all installations. **Conclusions:** There is regulation for some waste from renewable energy infrastructures, but there are still regulatory gaps, especially in relation to wind turbines.

Keywords: Renewable energies; Waste management; Waste management regulations; waste hierarchy; extended producer responsibility; financial guarantee; wind turbines; solar panels.

1. Introducción

Las instalaciones de energía renovable se han desarrollado considerablemente en los últimos 20 años en España y resto de países de Europa, con perspectiva de que sigan creciendo, a tenor de los objetivos marcados por la Unión Europea para 2030 y 2050 (Comisión Europea -CE-, 2022), siendo además una materia que suscita mucho interés en cuanto a su implantación en el territorio y posibles impactos por este uso del suelo (Díaz-Cuevas *et al.*, 2023). En los ámbitos europeo, español y andaluz se ha legislado ampliamente en materia de gestión de residuos de forma general, no obstante, la consideración de los residuos específicos resultantes de estas infraestructuras no se ha desarrollado suficientemente. Identificada una creciente generación de este tipo de residuos surge el reto de garantizar su correcta gestión, tanto por las administraciones públicas como por promotores y fabricantes, desde las etapas de diseño y fabricación de sus elementos hasta la disposición como residuos al final de su fase operativa.

Existen diversos estudios con estimaciones de cantidades de elementos de las construcciones para generar EERR que van a llegar al final de su vida útil, a medio y largo plazo. Para el caso de instalaciones de energía eólica, Liu y Barlow (2017) predicen que en 2022, en Europa, la cantidad de aerogeneradores que llegaría al término de su vida operativa supondría más de 50 kt de residuos y Lichtenegger *et al.* (2020), predice 100 kt de residuos procedentes de aerogeneradores para 2020. En ámbitos más concretos se han realizado estudios como el de Márquez-Sobrino *et al.* (2024), en relación con los residuos procedentes de instalaciones de energía eólica en Andalucía (Sur de España), estimando que la masa total de aerogeneradores actualmente instalados suponen en esta región 464,284 toneladas (t), que se convertirán a medio o largo plazo en un residuo, de las cuales 63,741 t corresponden a la masa de los rotores, elemento más difícilmente reciclable en la actualidad (13.73% de media sobre la masa total). Para los residuos procedentes de infraestructuras de energía solar también se han realizado estimaciones en distintos ámbitos. En el caso de España, Nieto-Morone *et al.* (2023) estima que en el año 2030 se generará una masa acumulada de aproximadamente 66,000 toneladas de placas solares, cifra que se espera incrementar a 1,300,000 toneladas para el año 2050.

Se hace necesario un análisis de la normativa que regula la gestión de estos residuos, así como de la que regula la ordenación de las EERR, para conocer el grado de madurez de cada una y

la relación entre ambas, escrutando mejoras en la aplicación de medidas realistas que aseguren una correcta gestión de las instalaciones de EERR al final de su vida útil.

Los objetivos de este trabajo son:

- Considerar la normativa europea, española y, tomando Andalucía como comunidad autónoma de ejemplo, la normativa andaluza, para analizar si las crecientes cantidades de residuos que se van a generar a medio y largo plazo cuentan con un marco legislativo que identifica estos residuos específicos y garantiza una correcta gestión, indagando en los principios más relevantes en esta normativa.
- Analizar la normativa de planificación y gestión de EERR, para averiguar si se tienen en cuenta los residuos resultantes de sus instalaciones al final de su fase operativa, considerando las tres etapas de evolución diferenciadas por Márquez-Sobrino *et al.* (2023).

2. Metodología

La metodología utilizada para la consecución de los objetivos planteados se ha basado en la ejecución de dos fases claramente diferenciadas:

- En primer lugar, se ha estudiado la normativa de aplicación en materia de gestión de residuos, a través de los boletines oficiales de la Comunidad Europea, España y Andalucía, prestando atención a la aplicación de los principios más relevantes en la materia, que deberían dar respaldo a una correcta gestión de los residuos de estas infraestructuras. Para recopilar toda la normativa se han usado las palabras *gestión y residuos* y dentro de esta normativa se han usado como palabras clave *energías renovables, aerogeneradores, fotovoltaica*, etc. Se ha estudiado la normativa de aplicación en la materia y se ha ido hilando una normativa con su sucesora, para ir ahondando en los cambios que se han ido acometiendo.

Además, a escala regional y estatal, se han incluido en el estudio Planes de residuos. No siendo estos documentos normativa en sentido estricto, se ha considerado interesante mencionarlos, por su relevancia en la materia o porque en ese periodo y ámbito específico han sido muestra de evolución en la temática, aunque no se hayan promulgado como normativa.

- Seguidamente, tomando como referencia las etapas definidas en Europa y España para la transición energética consideradas en Márquez-Sobrino *et al.* (2023), se ha analizado la normativa de ordenación de las EERR, en base a la alusión que en ella se hace de la gestión de residuos procedentes de estas instalaciones. Se ha usado *residuo* como palabra clave de búsqueda principal, si bien también se ha usado *gestión* o expresiones relacionadas como *final de vida útil*.

3. Resultados

Existen autores que han realizado una necesaria aproximación a la normativa que regula la gestión de residuos procedentes de infraestructuras de energía renovable en Europa y otras regiones, así como a las técnicas más utilizadas en la gestión de los residuos resultantes de las instalaciones de EERR (Beauson *et al.*, 2022; Ziegler *et al.*, 2018). En estos análisis se ponen de relevancia determinados principios de la materia, como la responsabilidad ampliada del productor y la jerarquía de residuos. Por su parte, la normativa que regula la planificación y gestión de las instalaciones de energía renovable se encuadra desde el año 2000 a la actualidad en tres claros periodos de referencia, establecidos por Márquez-Sobrino *et al.* (2023), en línea

con el diferente impulso que se ha llevado a cabo durante los mismos en materia de energías renovables. El primer periodo (2000-2010) se caracteriza por una apuesta clara y el establecimiento de objetivos vinculantes (2000-2010), en una segunda fase (2011-2016) se produce un freno de los compromisos individuales, coincidente con la crisis económica y el tercer periodo (2017-actualidad), en el que se acelera el desarrollo de las energías renovables, con objetivos vinculantes para cada estado miembro.

A continuación, se analiza la normativa más relevante en ambas materias, en los contextos europeo, estatal y andaluz, indicando sus hitos principales y principios más importantes, que pudieran garantizar la exigencia de una correcta gestión al final de la vida útil de las instalaciones.

3.1. Normativa de gestión de residuos en Europa, España y Andalucía

En Europa, puede considerarse como primera disposición relevante en materia de gestión de residuos la Directiva 75/442/CEE del Consejo, relativa a los residuos (Consejo Europeo, 1975). Esta disposición no menciona, lógicamente, los residuos provenientes de una actividad inexistente en el momento, pero en su artículo 3 ya se refiere a un importante principio en la gestión de residuos, que prevalece en la actualidad, la jerarquía de residuos, introduciendo así el término en la política europea de residuos. Sin denominarlo como tal, la directiva establece que los estados miembros adoptarán las medidas adecuadas para promover la prevención, el reciclaje y la transformación de los residuos. Esta directiva instauró a nivel comunitario una reglamentación para la eliminación de residuos que, para tener en cuenta las experiencias adquiridas por los estados miembros al aplicar dicha Directiva, fue conveniente modificar en distintas ocasiones para aumentar el nivel de protección del medio ambiente y fue derogada por una importante Directiva en materia de residuos en el año 2008.

Tres años más tarde, la Directiva 78/319/CEE del Consejo (Consejo Europeo, 1978), relativa a los residuos tóxicos y peligrosos, introduce esta distinción necesaria entre residuos peligrosos y no peligrosos y regula su gestión. Derivada de esta Directiva, se publica en España la Ley 20/1986, de 14 de mayo, Básica de Residuos Tóxicos y Peligrosos (Jefatura del estado, 1986), cuyo reglamento se desarrolla en el Real Decreto 833/1988, de 20 de julio, por el que se aprueba el Reglamento para la ejecución de la Ley 20/1986, Básica de Residuos Tóxicos y Peligrosos (Ministerio de Obras públicas y urbanismo, 1988). Este Real Decreto ha estado vigente hasta el año 2022, lo cual pone de manifiesto la relevancia que ha tenido en más de 30 años de vigencia y establece requisitos en relación con la gestión de residuos peligrosos que se mantienen en disposiciones normativas actuales, como el periodo máximo de almacenamiento temporal de estos residuos.

La Directiva del Consejo, de 18 de marzo de 1991, por la que se modifica la Directiva 75/442/CEE relativa a los residuos (Consejo de las Comunidades Europeas, 1991), dio lugar a la Ley 10/1998, de Residuos (Jefatura del Estado, 1998) en España. Esta ley introduce en España el principio de responsabilidad ampliada del productor, aunque tampoco lo denomina con ese nombre establece que no se limita a regular los residuos una vez generados, sino que también los contempla en la fase previa a su generación, regulando las actividades de los productores, importadores y adquirentes intracomunitarios y, en general, las de cualquier persona que ponga en el mercado productos generadores de residuos.

La Directiva 2004/35/CE del Parlamento Europeo y del Consejo, sobre responsabilidad medioambiental en relación con la prevención y reparación de daños medioambientales (Unión Europea, 2004) instaura un régimen administrativo de responsabilidad medioambiental de carácter objetivo e ilimitado, basado en los principios de “prevención de

daños” y de que “quien contamina, paga”. Derivada de esta directiva, España aprueba la Ley 26/2007, de 23 de octubre, de Responsabilidad Medioambiental (Jefatura del Estado, 2007), desarrollada parcialmente por el Real Decreto 2090/2008, (Ministerio de Medio Ambiente, y Medio Rural y Marino, 2008), que establece un nuevo régimen de reparación de daños medioambientales de acuerdo con el cual los operadores que ocasionen daños a los recursos naturales o amenacen con ocasionarlo deben adoptar las medidas necesarias para prevenirlos o, cuando el daño se haya producido, para limitar o impedir mayores daños medioambientales, así como devolver los recursos naturales dañados al estado en el que se encontraban antes de que se produjese el daño. A pesar de que no es una disposición que trata directamente sobre gestión de residuos es interesante incluirla en este análisis, por abordar los principios esenciales que se tienen en cuenta en toda la evolución de la normativa y que se consideran garantes de una correcta gestión.

Posteriormente, la Directiva 2006/12/CE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 5 de abril de 2006, relativa a los residuos (Unión Europea, 2006), define y matiza conceptos clave como residuos, valorización y eliminación y establece en su artículo 3 que los estados miembros tomarán las medidas adecuadas para fomentar la prevención o la reducción de la producción de los residuos y su nocividad, mediante el desarrollo de tecnologías limpias y el mayor ahorro de recursos naturales, así como el desarrollo de técnicas para la eliminación de sustancias peligrosas contenidas en los mismos, no promulgando novedades de utilidad en la materia de estudio de este análisis.

No es hasta 2008, cuando la Unión Europea por medio de la Directiva 2008/98/CE del Parlamento Europeo y del Consejo, sobre los residuos y por la que se derogan determinadas Directivas (Unión Europea, 2008), actualizó el principio de jerarquía de residuos en seis etapas y el mandato de que este principio sea incorporado a las legislaciones nacionales de gestión de residuos de los estados miembros. A un nivel más conceptual, Europa apostó por la jerarquía de residuos como un instrumento normativo que permitiera romper con la dinámica, asentada desde hacía muchas décadas en las economías continentales, que relacionaba de manera directa crecimiento económico y generación de residuos (Thecircularcampus, 2022). El artículo 4 de esta directiva se plantea enteramente para la jerarquía de residuos y en su Artículo 8 desarrolla el principio de responsabilidad ampliada del productor (RAP), por el cual los estados miembros podrán adoptar medidas para garantizar que cualquier persona física o jurídica que desarrolle, fabrique, procese, trate, venda o importe productos de forma profesional (el productor del producto) vea ampliada su responsabilidad de productor, hasta la gestión de su residuo.

Puede entenderse, por tanto, que este año 2008 fue muy relevante en la evolución de la normativa de gestión de residuos y a partir del cual se da un importante impulso a la normativa reguladora en esta materia. Hasta este momento ninguna de las disposiciones, ni europea ni española, hace alusión a residuos relacionados con las instalaciones de energía renovable. Igualmente, hasta este año, en el ámbito de la comunidad autónoma de Andalucía, no se destaca ninguna disposición normativa de relevancia en materia de gestión de residuos.

En años anteriores próximos al 2008, en el ámbito estatal, se suceden distintos reales decretos relativos a la gestión de residuos específicos, dentro de los que se pueden encuadrar algunos generados en las infraestructuras de energía renovable:

- Real Decreto 208/2005, de 25 de febrero, sobre aparatos eléctricos y electrónicos y la gestión de sus residuos (Ministerio de la Presidencia, 2005).

- Real Decreto 679/2006, de 2 de junio, por el que se regula la gestión de los aceites industriales usados (Ministerio de Medio Ambiente, 2006).
- Real Decreto 105/2008, de 1 de febrero, por el que se regula la producción y gestión de los residuos de construcción y demolición (Ministerio de la Presidencia, 2008).

El Real Decreto 208/2005 de RAEE, se modifica posteriormente, pero los reales decretos de aceites usados y residuos de construcción y demolición siguen vigentes en la actualidad. En estos años también se promulgan reales decretos que pretenden regular la gestión de otro tipo de residuos, como los neumáticos fuera de uso o los vehículos al final de su vida útil. Este despliegue de normativa, también en España, pone de manifiesto la toma de conciencia de las administraciones públicas con la necesidad de gestionar convenientemente cada tipo de residuo y darles la especificidad que les corresponde. No habiendo alusión expresa a residuos provenientes de instalaciones de energía renovable, que en esta época se encuentran en una fase de auge, se puede afirmar que los principios genéricos de la gestión de residuos en todos los ámbitos amparan y deben garantizar una correcta gestión de todos los residuos provenientes de estas infraestructuras.

Por su parte la comunidad autónoma de Andalucía, en años posteriores al 2008, aprueba dos planes de residuos elaborados por la Consejería competente en materia de medio ambiente, en el ejercicio de las competencias que le atribuye tanto la normativa básica estatal como la autonómica. El Plan Director Territorial de Residuos No Peligrosos de Andalucía 2010-2019, aprobado por Decreto 397/2010 (Junta de Andalucía, 2010), de 2 de noviembre, define medidas de prevención, gestión, seguimiento y control de los residuos no peligrosos en la comunidad autónoma y constituye el marco en el que se establecen las bases que deben regir la política en materia de residuos no peligrosos en Andalucía. Por la otra, el Plan de Prevención y Gestión de Residuos Peligrosos 2012-2020, aprobado por Decreto 7/2012, de 17 de enero (Junta de Andalucía, 2012), marca los objetivos de reducción, reutilización, reciclado, y otras formas de valorización y eliminación, así como las medidas a adoptar para conseguir dichos objetivos, los medios de financiación y el procedimiento de revisión, todo ello en el ámbito de los residuos peligrosos.

No es hasta el año 2011 cuando en España se aprueba la Ley 22/2011, de 28 de julio, de residuos y suelos contaminados (Jefatura del Estado, 2011) que incorporó al ordenamiento jurídico interno la Directiva 2008/98/CE de residuos, a la vez que revisó la Ley 10/1998. En su artículo 8 establece la jerarquía de residuos en línea con lo establecido en la Directiva de 2008, primando la prevención, el reciclaje y otras formas de valorización, considerando como última opción la eliminación. Esta ley, además, dedica un título a la responsabilidad ampliada del productor del producto. Si bien no puede afirmarse que esta regulación se introduzca ex novo, pues ya apuntaba a ello la Ley 10/1998, sí cabe destacar que se establece por primera vez un marco legal sistematizado y coherente, en virtud del cual los productores de productos que con su uso se convierten en residuos y en aplicación del principio de "quien contamina paga", quedan involucrados en la prevención y en la organización de la gestión de los mismos, promoviéndose una gestión acorde con los principios inspiradores de la nueva legislación. La Ley delimita el ámbito de esta responsabilidad, estableciendo las obligaciones a las que, mediante el correspondiente desarrollo reglamentario, pueden quedar sometidos los productores, tanto en la fase de diseño y producción de sus productos como durante la gestión de los residuos que deriven de su uso e incluye la forma de hacer frente a estas obligaciones, bien de manera individual o mediante sistemas colectivos (Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico, 2011). Esta Ley, además, establece en diferentes artículos la exigencia de constituir garantías financieras a los productores y gestores de residuos, a los sistemas colectivos de responsabilidad ampliada, por cuenta de los productores de producto

sometidos a la misma, y a otros sujetos, en virtud de lo que así se establezca en las normas que regulan la gestión de residuos específicos o en las que regulan operaciones de gestión.

En el año 2012 es otro importante hito la aprobación de la Directiva 2012/19/UE del parlamento europeo y del consejo, sobre residuos de aparatos eléctricos y electrónicos (RAEE) (Parlamento Europeo, 2012), directiva sobre un residuo específico que introduce la responsabilidad ampliada del productor, incluyendo dentro de estos residuos los paneles fotovoltaicos. En la normativa de gestión de residuos general (Directiva 2008) y la Directiva de responsabilidad medioambiental ya se aborda el principio de RAP de forma general, si bien es en esta disposición cuando ya se establece para un tipo específico de residuo, que incluye los derivados de placas solares. A fin de dar el máximo efecto al principio de RAP, se establece que cada productor debe ser responsable de financiar la gestión de los residuos procedentes de sus propios productos y dispone que, al introducir un producto en el mercado, cada productor debe proporcionar una garantía financiera para evitar que los costes de la gestión de RAEE procedentes de productos huérfanos recaigan en la sociedad o en los demás productores. Es la primera disposición en la que se encuentra mención expresa a un residuo específico generado por infraestructuras de energía solar fotovoltaica.

En España hubo que esperar hasta 2015 para la aprobación del Real Decreto 110/2015, sobre residuos de aparatos eléctricos y electrónicos (Ministerio de agricultura, Alimentación y Medio Ambiente, 2015), que sigue vigente en la actualidad, que establece en línea con la Directiva de 2012 la responsabilidad ampliada del productor de AEE, incluidas sus obligaciones, condiciones de autorización, financiación y garantías financieras. La citada directiva reduce a 6 las categorías que RAEE que se pueden producir, pero en este Real Decreto se consideró adecuado separar los paneles fotovoltaicos en una nueva categoría dada la singularidad de este tipo de aparatos, de larga vida media y perfil profesional, para que no distorsionara las cuotas y objetivos de recogida anuales del resto de aparatos eléctricos con características más similares. En relación con el fomento de la recogida separada de RAEE, este Real Decreto indica que de manera especial se tomarán las medidas oportunas para la recogida separada de los aparatos de intercambio de temperatura con sustancias que agotan la capa de ozono y gases fluorados de efecto invernadero, de las lámparas fluorescentes que contienen mercurio, de los paneles fotovoltaicos y de los pequeños aparatos clasificados en las categorías 5 y 6 del anexo III.

En el ámbito andaluz, el Decreto 73/2012, de 20 de marzo, por el que se aprueba el reglamento de residuos de Andalucía (Junta de Andalucía, 2012), establece en su artículo 50 el concepto de jerarquía de residuos, en línea con la Ley 22/2011, no existiendo más regulación en esta materia ni mención expresa a residuos específicos, como los generados en instalaciones de EERR. Además, este Decreto desarrolla requisitos interesantes en cuanto a la responsabilidad ampliada del productor, en los términos previstos en la Ley 22/2011. En su artículo 53 se establece que el Consejo de Gobierno, en aplicación del principio de responsabilidad ampliada del productor del producto, *podrá acordar (...) la obligatoriedad de financiar por las personas o entidades productoras la totalidad de los costes de gestión de determinados residuos, bien de forma directa o bien mediante la creación de sistemas de gestión.*

En el año 2018, la Directiva (UE) 2018/851 del Parlamento Europeo y del Consejo, por la que se modifica la Directiva 2008/98/CE sobre los residuos (Unión Europea, 2018), modifica la Directiva 2008/98/CE sobre los residuos, incluyendo una definición de valorización de materiales para cubrir formas de valorización distintas de la valorización energética y de la transformación de residuos en materiales que son utilizados como combustible o como otro medio de generación de energía. Esta definición incluye la preparación para la reutilización, el reciclado y el relleno y otras formas de valorización de materiales, tales como la

transformación de residuos en materias primas secundarias con fines de ingeniería en la construcción de carreteras u otras infraestructuras, gestión que en la actualidad se sigue haciendo para los elementos más difícilmente reciclables de un aerogenerador. (AEE, 2022) No es hasta 2022 cuando en España es sustituida la Ley 22/2011, con la aprobación de la Ley 7/2022, de residuos y suelos contaminados para una economía circular (Jefatura del Estado, 2022), vigente en la actualidad. Si bien mantiene conceptos clave procedentes de la Ley 22/2011, también incluye definiciones procedentes de la nueva normativa de la Unión Europea, entre ellas las relativas a «residuos de construcción y demolición», «valorización de materiales» o «relleno. Esta Ley subraya los ideales imperantes en la actualidad en la Unión Europea, como economía circular, sostenibilidad y refuerza el marco regulador de la gestión de los residuos, para facilitar la consecución de los nuevos y más exigentes objetivos de preparación para la reutilización, reciclado y valorización. Esta disposición refuerza la aplicación del principio de jerarquía de residuos y consolida la prevención de la generación de residuos, si bien no menciona expresamente los residuos provenientes de las infraestructuras de EERR.

En este mismo año se aprueba en el ámbito estatal el Real Decreto 208/2022, sobre las garantías financieras en materia de residuos (Ministerio de la Presidencia, 2022), que retoma la garantía financiera promulgada por la ley de responsabilidad ambiental del año 2007. Este Real Decreto plantea cómo los actores que intervienen en las diferentes fases de la producción y gestión de los residuos como los establecimientos y empresas que lleven a cabo operaciones de tratamiento de residuos y, a través de los sistemas de responsabilidad ampliada, los productores de producto sometidos a la misma, deben responder, al igual que el resto de los actores y empresas de cualquier otro sector económico, por las responsabilidades que les puedan ser exigidas para resarcir el perjuicio causado por el desarrollo de su actividad, así como también responder, en su caso, ante la Administración del cumplimiento de las obligaciones que le corresponden.

En al ámbito andaluz, la Ley 3/2023, de 30 de marzo, de Economía Circular de Andalucía (Junta de Andalucía, 2023), aprovecha el impulso de la Ley 7/2022 estatal y asienta el término de circularidad en la gestión de residuos. No existe alusión expresa en esta Ley a residuos provenientes de instalaciones de energía renovable, si bien incluye un capítulo dedicado a la construcción y edificios, en el que se promueve el ecodiseño y el fomento de la circularidad en la que se disminuyan la generación de residuos durante la fase de construcción y de explotación, entre otras consideraciones. Constituye un adelanto en la consideración de la gestión de residuos y la vida útil de las construcciones en su conjunto y maneja términos novedosos en cuanto a la circularidad de estas infraestructuras. En líneas generales, además, esta Ley establece que los órganos de contratación de la administración andaluza tendrán en cuenta el uso eficiente de recursos naturales, el empleo de energías renovables, la minimización de la producción de residuos y el uso de materiales reciclados y reutilizados, mediante la inclusión, en las distintas fases del proceso de contratación pública, de criterios ambientales de esta índole.

Se puede concluir, por tanto, que en ningún ámbito institucional analizado se aborda la gestión de residuos provenientes de instalaciones de energía renovable de forma específica, en todo el transcurso de tiempo desde la promulgación de la primera directiva europea de residuos del año 1975, salvo los paneles fotovoltaicos en la directiva europea del año 2012, que se traspone el ordenamiento jurídico español con el Real Decreto 110/2015. No obstante, existen en toda la normativa y todos los ámbitos, principios clave como la responsabilidad ampliada del productor, la jerarquía de residuos y la aplicación de garantías financieras en virtud de los principios de “quien contamina paga” o “prevención de daños”, que deben garantizar ampliamente la correcta gestión de los residuos provenientes de estas infraestructuras.

3.2. Consideración de la gestión de los residuos generados en la normativa reguladora de las energías renovables

Como se ha comentado anteriormente, la normativa que regula la planificación e implantación de las instalaciones de energía renovable se encuadra desde el año 2000 a la actualidad en 3 claros periodos de referencia (Márquez-Sobrinó et. al, 2023), en línea con el diferente impulso que se ha llevado a cabo durante los mismos en materia de energías renovables. A continuación, se analiza la alusión a los residuos que las disposiciones más importantes realiza en cada ámbito.

3.2.1. Primera etapa (2000-2010)

El inicio de la regulación sobre las energías renovables se materializa con la aprobación de la Directiva 2001/77/CE, del Parlamento Europeo y del Consejo, de 27 de septiembre de 2001, relativa a la promoción de la electricidad generada a partir de fuentes de energía renovables en el mercado interior de la electricidad (Parlamento Europeo, 2001). Esta disposición tan solo menciona los residuos cuando estos son utilizados como fuente de energía, indicando que los estados miembros deben respetar la legislación comunitaria en vigor en materia de gestión de residuos, indicando que el apoyo a las fuentes de energía renovables debe ser coherente con otros objetivos comunitarios, aludiendo al respeto de la jerarquía en el tratamiento de los residuos. Seguidamente, la Directiva 2009/28/CE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 23 de abril de 2009, relativa al fomento del uso de energía procedente de fuentes renovables y por la que se modifican y se derogan las Directivas 2001/77/CE y 2003/30/CE (Unión Europea, 2009) relativa al fomento del uso de energía procedente de fuentes renovables, igualmente, tan solo menciona los residuos cuando estos son utilizados como fuente de energía.

En España, en el ámbito energético, las Directivas europeas se traducen en una serie de normativas y planes que regulan las primas y el fomento de la implantación de estas actuaciones, entre ellas destacan el Real Decreto 436/2004, de 12 de marzo, por el que se establece la metodología para la actualización y sistematización del régimen jurídico y económico de la actividad de producción de energía eléctrica en régimen especial (Ministerio de economía, 2004), el Real Decreto 661/2007, de 25 de mayo, por el que se regula la actividad de producción de energía eléctrica en régimen especial (Ministerio de Industria, Turismo y Comercio, 2007) y el Real Decreto-ley 6/2009, por el que se adoptan determinadas medidas en el sector energético y se aprueba el bono social (Jefatura del Estado, 2009). En ninguna de estas disposiciones se recoge ninguna iniciativa para el tratamiento de los residuos derivados de la implantación de instalaciones de energía renovable, ni aceptación al final de su vida útil.

Por su parte, en el Plan de Energías Renovables 2005-2010 (Ministerio de Ciencia y Tecnología, 2005), sí se recoge la importancia de considerar todo el ciclo de vida asociado a dichas actividades para estimar el impacto medioambiental producido, desde la extracción y transporte de las materias primas hasta la gestión de los residuos. Propone evaluar el proceso de fabricación de combustibles, la fase de construcción de la central y el uso y desmantelamiento de las instalaciones una vez finalizada su vida útil, sin embargo, sólo se refieren a los residuos como fuente energética vinculada al aprovechamiento de biomasa, residuos sólidos urbanos biogás, pero en ningún caso se refiere a los residuos generados por instalaciones de generación de energía de fuentes renovables al final de su vida útil.

En el caso de la planificación energética, el Plan de Acción Nacional de Energías Renovables (Ministerio de Industria, Turismo y Comercio, 2010) y su Anexo, elaborado en el marco de la Directiva 2009/28/CE sólo se refiere a la necesidad de incentivar la rehabilitación,

modernización y/o sustitución de instalaciones y equipos en centrales hidroeléctricas de potencia igual o inferior a 10 MW, sin alusión a residuos que estas generan.

En Andalucía, se aprueba en este periodo la Ley 2/2007, de 27 de marzo, de fomento de las energías renovables y del ahorro y eficiencia energética de Andalucía (Junta de Andalucía, 2007) y en el marco de esta ley el Plan Andaluz de Sostenibilidad Energética 2007-2013 (Junta de Andalucía, 2007), que recogen los objetivos energéticos de la región andaluza entre 2007 y 2013, en ninguno se recogen aspectos como repotenciación, desmantelamiento o vida útil, y los residuos sólo se mencionan vinculados a la generación de electricidad. Esto también ocurría en el Plan Andaluz de Acción Por el Clima 2007-2012 (Consejería de Medioambiente, 2006).

Por tanto, en esta primera etapa, los documentos de planificación y gestión se comprueba que no abordan las posibles opciones de una instalación al final de su vida útil ni la necesaria gestión de los residuos que se generan, a excepción de alusión al principio de Jerarquía de residuos de la Directiva 2001/77/CE.

3.2.2 Segunda etapa (2011-2016)

En esta etapa la Directiva (UE) 2015/1513 del Parlamento Europeo y del Consejo, de 9 de septiembre de 2015, por la que se modifican la Directiva 98/70/CE, relativa a la calidad de la gasolina y el gasóleo, y la Directiva 2009/28/CE, relativa al fomento del uso de energía procedente de fuentes renovables (Parlamento Europeo, 2015), pone en valor el concepto de jerarquía de residuos y hace alusión expresa a la Directiva 2008/98/CE sobre los residuos, indicando que la EU debe evitar la generación de los mismos y utilizarlos como recurso. Si bien es tan solo en relación con el uso de biocarburantes, es relevante que hace patente la relación entre ambas materias.

Posteriormente, y en el marco de la Estrategia Europa 2020 (Comisión Europea, 2010), una hoja de ruta para hacer que la economía de la UE sea sostenible transformando los retos en materia de clima y medio ambiente en oportunidades en todas las áreas de actuación y haciendo que la transición sea justa e integradora para todos, se recogen los objetivos y los medios para transformar la economía actual. El objetivo es convertir a Europa en una sociedad eficiente en el uso de los recursos, que produzca menos residuos y que utilice como recurso, siempre que sea posible, los que no pueden ser evitados. No se menciona expresamente la generación de residuos de instalaciones de energía renovable.

3.2.3 Tercera etapa (2017- 2024)

En relación con la normativa que regula las energías renovables, en Europa, se constata que la Directiva (UE) 2018/2001 del Parlamento Europeo y del Consejo, de 11 de diciembre de 2018 relativa al fomento del uso de energía procedente de fuentes renovables (Parlamento Europeo, 2018) -REDII- incluye que los estados miembros, cuando elaboren sistemas de apoyo a las fuentes de energía renovable, deben considerar la biomasa disponible para un abastecimiento sostenible y tener debidamente en cuenta los principios de la economía circular y de la jerarquía de residuos establecidos en la Directiva 2008/98/CE. No obstante, sigue sin hacer ningún tipo de mención a la gestión de los residuos derivados de instalaciones de energía renovable.

No es hasta el año 2023, con la Directiva (UE) 2023/2413 del Parlamento Europeo y del Consejo, por la que se modifican la Directiva (UE) 2018/2001, el Reglamento (UE) 2018/1999 y la Directiva 98/70/CE en lo que respecta a la promoción de la energía procedente de fuentes

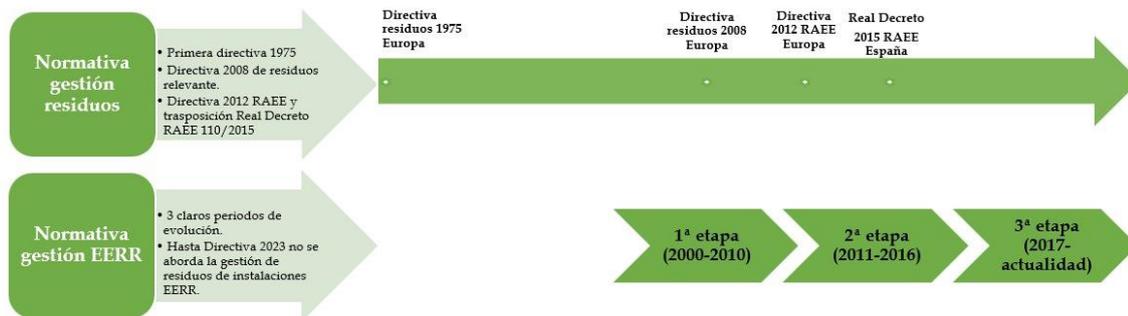
renovables y se deroga la Directiva (UE) 2015/652 del Consejo (Parlamento Europeo, 2023), cuando se incluyen indicaciones en materia de gestión de residuos. Así, la citada Directiva, en su artículo 10, establece que la prevención, la reutilización y el reciclaje de los residuos deben ser las opciones prioritarias y en su artículo 38 detalla y se posiciona sobre la opción de repotenciación al final de la vida útil de las instalaciones de energía renovable, indicando que además de la instalación de nuevas plantas de energía renovable, la repotenciación tiene un potencial significativo para contribuir a la consecución de los objetivos en materia de energías renovables. Dado que las plantas de energía renovable existentes, por lo general, se han instalado en emplazamientos con un importante potencial de fuentes de energía renovable, la repotenciación puede garantizar el uso continuado de esos emplazamientos, reduciendo al mismo tiempo la necesidad de designar nuevos emplazamientos para proyectos de energía renovable. Indica, además, que esta opción incluye beneficios adicionales, como la conexión a la red existente, un grado de aceptación pública probablemente más elevado y el conocimiento del impacto ambiental.

Se observa cómo no es hasta esta etapa que se pone de manifiesto la problemática de las instalaciones al final de la vida útil y la relación entre ambas materias de gestión de residuos y regulación de las energías renovables, si bien en junio de 2024, España aún no ha traspuesto a su ordenamiento jurídico esta Directiva, tan solo Francia, República Checa, Dinamarca y Bélgica lo han hecho hasta el momento.

En la figura 1 puede apreciarse una línea temporal con la normativa y los principales hitos en ambas materias.

Figura 1.

Relación temporal entre normativa de gestión de residuos y de EERR



Fuente: Elaboración propia (2024).

4. Discusión

El presente trabajo analiza la normativa en materia de gestión de residuos, en relación con aquellos generados en las instalaciones de EERR, así como la alusión a esta gestión en la normativa de EERR, en los ámbitos europeo, español y andaluz. En relación a los resultados establecidos diferentes puntos merecen ser discutidos:

Se constata que existe gran cantidad de legislación de aplicación en materia de gestión de residuos. Aunque no haya alusión expresa a los derivados de las infraestructuras de energía eólica sí existe regulación para la gestión de paneles fotovoltaicos, tal y como muestra la revisión de normativa que se ha realizado. La responsabilidad ampliada del productor y obligatoriedad de suscribir una garantía financiera queda claramente establecida en la

Directiva de RAEE del año 2012 para este tipo de residuos, quedando la aplicación de este principio para el caso de los residuos de instalaciones de energía eólica en manos de la interpretación de los estados, requisito establecido de una manera menos categórica en la Directiva de residuos de 2008 y en normativa más general como la Directiva 2004/35/CE de responsabilidad medioambiental, que instaura un régimen administrativo de responsabilidad medioambiental de carácter objetivo e ilimitado, basado en los principios de “prevención de daños” y de que “quien contamina, paga”. Esta laguna normativa con alusión expresa a la Responsabilidad ampliada del productor específicamente en infraestructuras de energía eólica es un asunto que es crucial resolver. Asimismo, la evolución de estos principios en la normativa puede considerarse en algunos casos irregular, siendo el caso de la Directiva 2006/12/CE, relativa a los residuos, que no aborda el principio de jerarquía de residuos ni el de responsabilidad ampliada del productor, conceptos que se habían vislumbrado en disposiciones normativas anteriores.

Si bien se han realizado estudios de la gestión actual y futura de los aerogeneradores (Windeurope, 2020a), incluyendo casi todos los elementos de un aerogenerador en categorías de residuos de construcción y demolición o RAEE, las aspas, formadas por materiales compuestos, no tienen aún un encuadre en ninguna normativa específica en el caso de España, que garantice una adecuada gestión. Por el contrario, en otros países de la UE27 hay más adelanto en la promulgación de normativa en relación con la gestión derivada de las instalaciones de energía eólica (Windeurope, 2020b), que garanticen una correcta gestión de la gran cantidad de aerogeneradores que llegarán al final de su vida útil a medio y largo plazo (Márquez-Sobrino *et al*, 2024)

En relación con la gestión de las aspas, existe en España despliegue suficiente de normativa en relación con los residuos peligrosos, si bien no existe regulación específica para los materiales compuestos que forman las aspas, una mezcla de resinas y fibra de carbono o vidrio, tal y como ya han puesto de manifiesto autores como Revilla-Cuesta *et al*. (2023). Se hace más necesario si cabe tener en cuenta la gestión de estos elementos al final de la vida útil de estas infraestructuras y trabajar en cambios desde la fase de diseño de las instalaciones y los materiales que conforman los aerogeneradores, aspectos que sí han tenido en cuenta algunas disposiciones normativas, en virtud de la aplicación del principio de la jerarquía de residuos. La aplicación de esta ordenación está cobrando relevancia, como puede observarse en las acciones de algunos fabricantes, que se esfuerzan en conseguir que todos los elementos de los aerogeneradores que fabrica sean reciclables. Así, a principios de 2020, el proveedor de aerogeneradores Vestas anunció que para 2040 produciría turbinas eólicas sin residuos, reciclables al 100% (Vestas, 2024).

En el estudio de la relación temporal de la normativa que regula la gestión de residuos y las EERR se puede constatar que no existe concordancia temporal en la aprobación de estas materias y que se empiezan a relacionar ambos temas, mostrando la normativa que regula las EERR tres claros periodos de evolución que no muestra la normativa de residuos.

En relación con la alusión a los residuos producidos en la normativa de EERR, si bien desde la Directiva de 2001 se incluye alusión al principio de jerarquía de residuos, no se tiene en cuenta la generación de residuos asociada a este tipo de instalaciones hasta el año 2023, con la aprobación de la Directiva 2023/2314. En junio 2024 España aún no ha traspuesto esta directiva a su ordenamiento jurídico, si bien se constata que en países de la UE27 como Francia o Bélgica ya se ha traspuesto esta directiva, mostrando un compromiso más patente en la materia (Parlamento Europeo, 2023). Del estudio de la normativa de referencia se puede plantear la discusión de si hay que avanzar en la garantía financiera relacionada con los productores de producto, asociada al principio de responsabilidad ampliada, pudiendo ser necesario que las

empresas instaladoras cuenten con este aseguramiento que garantice la gestión adecuada de los elementos de instalaciones de energía renovable.

Podría verse como necesario que se dictaminara en la normativa de planificación territorial la obligatoriedad, no solo de tener en cuenta el final de la vida útil de estas infraestructuras en las evaluaciones de impacto previas a la construcción, sino además que se realizara seguimiento por parte de las administraciones competentes de la gestión de los residuos resultantes una vez se convierten en residuos sus elementos, estableciendo de forma clara de quién es esa responsabilidad. Este hecho cobra gran importancia en el contexto actual, donde una gran cantidad de aerogeneradores y paneles solares están próximos a terminar su vida útil y donde cabe preguntarse quién debe hacerse cargo de esos residuos, si se está garantizando en la actualidad una adecuada gestión de los residuos derivados de las infraestructuras de EERR y si la administración está concienciada en legislar en relación a los residuos específicos de las instalaciones eólicas, además de los de las solares.

Todos estos aspectos muestran la necesidad de abordar gestión de residuos y gestión de EERR de forma conjunta y coherente, para hacer frente a los desafíos que la nueva política energética de la UE27 nos plantea con apremio.

5. Conclusiones

Los principales resultados ponen de manifiesto cómo la normativa en materia de gestión de residuos es bastante anterior a la de planificación y gestión de las EERR, datando de 1975 la primera directiva de gestión de residuos y de 2001 la primera Directiva de relevancia en materia de gestión de EERR y cómo la normativa de gestión de EERR sigue 3 claros periodos de evolución la de gestión de residuos no sigue etapas diferenciadas, si bien tiene hitos de relevancia en su progreso. Desde la Directiva del año 2001 se menciona garantizar el cumplimiento del principio de Jerarquía de residuos, si bien, la necesidad de gestionar los residuos generados al final de la vida útil de estas infraestructuras no se trata de forma directa hasta el año 2023, cuando la Directiva 2023/2314 tiene en cuenta, en su artículo 10, la gestión de los residuos resultantes de estas instalaciones.

Hay suficientes principios establecidos en la normativa de gestión de residuos que respaldan que debe realizarse una correcta gestión de los residuos resultantes de las infraestructuras de EERR, aunque debe primar el principio de jerarquía de residuos para que los fabricantes y promotores aboguen por una composición de sus elementos, que intenten minimizar los residuos resultantes en todas las fases de la infraestructura, desde el diseño hasta el final de su fase operativa. Junto con el principio de jerarquía de residuos, los principios de responsabilidad ampliada del productor y los de “quien contamina paga” y “prevención de daños” de los que emanan las garantías financieras establecidas en la normativa de aplicación en distintos ámbitos deben garantizar una correcta gestión de los residuos resultantes.

Las placas solares cuentan con una categoría LER específica, establecida en la Directiva de RAEE de 2012 y el Real Decreto 110/2025 de RAEE español. No existe, en cambio, una tipología clara de residuo asociado a las aspas de los aerogeneradores, si bien el resto de elementos de un aerogenerador puede asimilarse a otro tipo de residuos. Se observa cómo las herramientas de gestión de placas solares están más avanzadas en el ordenamiento jurídico europeo y español que los residuos asociados a los aerogeneradores en general y a las aspas en particular. El hecho de que para los residuos derivados de instalaciones de energía eólica no haya una normativa específica ni se establezcan de forma clara las responsabilidades de productores, promotores y administraciones públicas, deriva en un vacío legal que podría

suponer la disposición en vertedero de muchos de estos residuos, o incluso abandono de los mismos en el medio rural.

6. Referencias

- Asociación española Eólica, AEE. (2022). Economía Circular en el sector eólico - Palas de aerogeneradores. <https://bit.ly/3zowgay>
- Beauson, J., Laurent, A., Rudolph, D. P. y Jensen, J. P. (2022). The complex end-of-life of wind turbine blades: A review of the European context [La compleja gestión al término de la vida útil de las palas de aerogeneradores: Una revisión del contexto europeo]. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 155, 111847. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2021.111847>
- Comisión Europea. (2010). Estrategia Europa 2020. <https://acortar.link/MRMHwg>
- Comisión Europea -CE-. (2022). Comunicación de la comisión al parlamento europeo, al consejo europeo, al consejo, al comité económico y social europeo y al comité europeo de las regiones. Plan REPowerEU. <https://bit.ly/4cEjvXG>
- Consejería de Medioambiente, Junta de Andalucía. (2006). Plan Andaluz de Acción Por el Clima 2007-2012. <https://bit.ly/4eI4lm1>
- Decreto 279/2007, de 13 de noviembre, por el que se aprueba el Plan Andaluz de Sostenibilidad Energética 2007-2013. Boletín Oficial de la Junta de Andalucía, núm. 49, de 11 de marzo de 2008, 114-178. <https://bit.ly/4eLjD9B>
- Decreto 397/2010, de 2 de noviembre, por el que se aprueba el Plan Director Territorial de Residuos No Peligrosos de Andalucía 2010-2019. Boletín Oficial de la Junta de Andalucía, núm. 231, de 25 de noviembre de 2010, 114-167. <https://bit.ly/3VNNkhs>
- Decreto 7/2012, de 17 de enero, por el que se aprueba el Plan de Prevención y Gestión de Residuos Peligrosos 2012-2020. Boletín Oficial de la Junta de Andalucía, núm. 28, de 10 de febrero de 2012, 114-196. <http://bit.ly/3L3He7N>
- Decreto 73/2012, de 20 de marzo, por el que se aprueba el Reglamento de Residuos de Andalucía. *Boletín Oficial de la Junta de Andalucía*, núm. 81, de 26 de abril de 2012, 74-117. <https://www.juntadeandalucia.es/boja/2012/81/4>
- Díaz-Cuevas P., Orozco Futos G., Prieto Campos A. y Pérez-Pérez B., Geografía de la energía solar en Andalucía (Sur de España): Nuevos datos y posibilidades de análisis. *Cuadernos Geográficos*, 62(2), 163-183. <https://doi.org/10.30827/cuadgeo.v62i2.27775>
- Directiva 2001/77/CE, del Parlamento Europeo y del Consejo, de 27 de septiembre de 2001, relativa a la promoción de la electricidad generada a partir de fuentes de energía renovables en el mercado interior de la electricidad. Diario Oficial de la Unión Europea, L 283, de 27 de octubre de 2001, 0033-0040. <https://acortar.link/pMwqJt>
- Directiva 2004/35/CE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 21 de abril de 2004, sobre responsabilidad medioambiental en relación con la prevención y reparación de daños medioambientales. Diario Oficial de la Unión Europea, L 143, de 30 de abril de 2004, 0056-0075. <https://acortar.link/YNFuKC>

Directiva 2006/12/CE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 5 de abril de 2006, relativa a los residuos. Diario Oficial de la Unión Europea, L 114, de 27 de abril de 2006, 9-21. <https://acortar.link/QDNE5A>

Directiva 2008/98/CE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 19 de noviembre de 2008 , sobre los residuos y por la que se derogan determinadas Directivas. Diario Oficial de la Unión Europea, L 312, de 22 de noviembre de 2008, 3-30. <https://acortar.link/Lwam0e>

Directiva 2012/19/UE del parlamento europeo y del consejo de 4 de julio de 2012 sobre residuos de aparatos eléctricos y electrónicos (RAEE). Diario Oficial de la Unión Europea, L 197, de 24 de julio de 2012, 38-71. <https://acortar.link/ADPLbP>

Directiva 2009/28/CE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 23 de abril de 2009, relativa al fomento del uso de energía procedente de fuentes renovables y por la que se modifican y se derogan las Directivas 2001/77/CE y 2003/30/CE. Diario Oficial de la Unión Europea, L 140, de 5 de junio de 2009, 16-62. <https://acortar.link/qtnBkK>

Directiva 2015/1513 del Parlamento Europeo y del Consejo, de 9 de septiembre de 2015, por la que se modifican la Directiva 98/70/CE, relativa a la calidad de la gasolina y el gasóleo, y la Directiva 2009/28/CE, relativa al fomento del uso de energía procedente de fuentes renovables. Diario Oficial de la Unión Europea, L 239, de 15 de septiembre de 2015, 1-29. <https://bit.ly/3VDCQBq>

Directiva 2018/851 del Parlamento Europeo y del Consejo, de 30 de mayo de 2018, por la que se modifica la Directiva 2008/98/CE sobre los residuos. Diario Oficial de la Unión Europea, L 150, de 14 de junio de 2018, 109-140. <https://www.boe.es/buscar/doc.php?id=DOUE-L-2018-80998>

Directiva 2018/2001 del Parlamento Europeo y del Consejo, de 11 de diciembre de 2018 relativa al fomento del uso de energía procedente de fuentes renovables. Diario Oficial de la Unión Europea, L 328, de 21 de diciembre de 2018, 82-209. <https://acortar.link/ij3d2o>

Directiva 2023/2413 del Parlamento Europeo y del Consejo, de 18 de octubre de 2023, por la que se modifican la Directiva (UE) 2018/2001, el Reglamento (UE) 2018/1999 y la Directiva 98/70/CE en lo que respecta a la promoción de la energía procedente de fuentes renovables y se deroga la Directiva (UE) 2015/652 del Consejo. Diario Oficial de la Unión Europea, Serie L, de 31 de octubre de 2023. <https://acortar.link/VqYZDe>

Directiva 75/442/CEE del Consejo, de 15 de julio de 1975, relativa a los residuos. Diario Oficial de la Unión Europea, L 194, de 25 de julio de 1975, 0039-0041. <https://acortar.link/7aTF4i>

Directiva 78/319/CEE del Consejo, de 20 de marzo de 1978, relativa a los residuos tóxicos y peligrosos. Diario Oficial de la Unión Europea, L 084, de 31 de marzo de 1978, 0043-0048. <https://acortar.link/LMZzHU>

Directiva del Consejo, de 18 de marzo de 1991, por la que se modifica la Directiva 75/442/CEE relativa a los residuos. Diario Oficial de la Unión Europea, L 078, de 26/03/1991, 0032-0037. <https://bit.ly/3xHlhIL>

- Ecoembes. (2022). Thecircularcampus: En qué consiste la jerarquía de residuos. <https://bit.ly/3W4561q>
- Ley 2/2007, de 27 de marzo, de fomento de las energías renovables y del ahorro y eficiencia energética de Andalucía. Boletín Oficial del Estado, núm. 109, de 7 de mayo de 2007, 19568-19578. <https://www.boe.es/buscar/doc.php?id=BOE-A-2007-9264>
- Ley 10/1998, de 21 de abril, de Residuos. Boletín Oficial del Estado, núm. 96, de 22 de abril de 1998, 13372-13384. <https://www.boe.es/buscar/act.php?id=BOE-A-1998-9478>
- Ley 20/1986, de 14 de mayo, Básica de Residuos Tóxicos y Peligrosos. Boletín Oficial del Estado, núm. 120, de 20 de mayo de 1986, 17864-17867. <https://www.boe.es/buscar/doc.php?id=BOE-A-1986-12192>
- Ley 22/2011, de 28 de julio, de residuos y suelos contaminados. Boletín Oficial del Estado, núm. 181, de 29 de julio de 2011, 85650-85705. <https://www.boe.es/buscar/act.php?id=BOE-A-2011-13046>
- Ley 26/2007, de 23 de octubre, de Responsabilidad Medioambiental. Boletín Oficial del Estado, núm. 255, de 24 de octubre de 2007, 43229-43250. <https://www.boe.es/buscar/act.php?id=BOE-A-2007-18475>
- Ley 3/2023, de 30 de marzo, de Economía Circular de Andalucía. Boletín Oficial de la Junta de Andalucía, núm. 67, de 11 de abril de 2023, texto núm. 6439-55. <https://bit.ly/4eY4yBR>
- Ley 7/2022, de 8 de abril, de residuos y suelos contaminados para una economía circular. Boletín Oficial del Estado, núm. 85, de 9 de abril de 2022, 48578-48733. <https://www.boe.es/buscar/act.php?id=BOE-A-2022-5809>
- Lichtenegger, G., Rentizelas, A. A, Trivyza, N. y Siegl, S. (2020). Offshore and onshore wind turbine blade waste material forecast at a regional level in Europe until 2050. [Pronóstico de los residuos de las palas de aerogeneradores marinos y terrestres en Europa hasta 2050]. *Waste Manag*, 106, 120-31. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2020.03.018>
- Liu, P. y Barlow, C. Y. (2017). Wind turbine blade waste in 2050. [Residuos de las palas de aerogeneradores en 2050]. *Waste Manag Apr*, 62, 229-40. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2017.02.007>
- Márquez-Sobrino, P., Díaz-Cuevas, P. y Pérez-Pérez, B. (2023). Twenty years of energy policy in Europe: achievement of targets and lessons for the future [Veinte años de política energética en Europa: cumplimiento de objetivos y lecciones para el futuro]. *Clean Techn Environ Policy*, 25, 2511-2527. <https://doi.org/10.1007/s10098-023-02543-x>
- Márquez-Sobrino P., Pérez-Pérez B. y Díaz-Cuevas P. (2024, En revisión) What's next? beyond the impact in operational phase of wind farms. A case of study in southern Spain [¿Qué es lo siguiente? Impacto de las instalaciones de energía solar en su fase operacional: Caso de estudio en el Sur de España].
- Ministerio de Ciencia y Tecnología, Gobierno de España. (2005). Plan de Energías Renovables 2005-2010. <https://bit.ly/3W5bXIb>

- Ministerio de Industria, Turismo y Comercio, Gobierno de España. (2010). Plan de Acción Nacional de Energías Renovables. <https://bit.ly/3L7f63E>
- Ministerio para la transición ecológica y el reto demográfico. (2011). Responsabilidad ampliada del productor. <https://bit.ly/4bk6G3K>
- Nieto-Morone, M. B., Alonso-García M. C., Rosillo F. G., Santos J. D. y Muñoz-García, M. A. (2023). State and prospects of photovoltaic module waste generation in China, USA, and selected countries in Europe and South America. [Estado y perspectivas de la generación de residuos de placas solares fotovoltaicas en China, EE. UU. y países seleccionados de Europa y América del Sur]. *Sustainable Energy Fuels*, 7, 2163. <https://doi.org/10.1039/D2SE01685K>
- Real Decreto 105/2008, de 1 de febrero, por el que se regula la producción y gestión de los residuos de construcción y demolición. Boletín Oficial del Estado, núm. 38, de 13 de febrero de 2008, 7724-7730. <https://www.boe.es/buscar/act.php?id=BOE-A-2008-2486>
- Real Decreto 110/2015, de 20 de febrero, sobre residuos de aparatos eléctricos y electrónicos. Boletín Oficial del Estado, núm. 45, de 21 de febrero de 2015, 14211-14312. <https://www.boe.es/buscar/act.php?id=BOE-A-2015-1762>
- Real Decreto 208/2005, de 25 de febrero, sobre aparatos eléctricos y electrónicos y la gestión de sus residuos. Boletín Oficial del Estado, núm. 49, de 26 de febrero de 2005, 7112-7121. <https://www.boe.es/buscar/act.php?id=BOE-A-2005-3242>
- Real Decreto 208/2022, de 22 de marzo, sobre las garantías financieras en materia de residuos. Boletín Oficial del Estado, núm. 78, de 1 de abril de 2022, 43638-43659. <https://www.boe.es/buscar/act.php?id=BOE-A-2022-5142>
- Real Decreto 2090/2008, de 22 de diciembre, por el que se aprueba el Reglamento de desarrollo parcial de la Ley 26/2007, de 23 de octubre, de Responsabilidad Medioambiental. Boletín Oficial del Estado, núm. 308, de 23 de diciembre de 2008, 51626-51646. <https://www.boe.es/buscar/act.php?id=BOE-A-2008-20680>
- Real Decreto 436/2004, de 12 de marzo, por el que se establece la metodología para la actualización y sistematización del régimen jurídico y económico de la actividad de producción de energía eléctrica en régimen especial. Boletín Oficial del Estado, núm. 75, de 27 de marzo de 2004, 13217-13238. <https://boe.es/buscar/doc.php?id=BOE-A-2004-5562>
- Real Decreto 661/2007, de 25 de mayo, por el que se regula la actividad de producción de energía eléctrica en régimen especial. Boletín Oficial del Estado, núm. 126, de 26 de mayo de 2007, 22846-22886. <https://www.boe.es/buscar/act.php?id=BOE-A-2007-10556>
- Real Decreto 679/2006, de 2 de junio, por el que se regula la gestión de los aceites industriales usados. *Boletín Oficial del Estado*, núm. 132, de 3 de junio de 2006, 21061-21070. <https://www.boe.es/buscar/doc.php?id=BOE-A-2006-9832>

Real Decreto 833/1988, de 20 de julio, por el que se aprueba el Reglamento para la ejecución de la Ley 20/1986, Básica de Residuos Tóxicos y Peligrosos. Boletín Oficial del Estado, núm. 182, de 30 de julio de 1988, 23534-23561. <https://boe.es/buscar/act.php?id=BOE-A-1988-18848>

Real Decreto-ley 6/2009, por el que se adoptan determinadas medidas en el sector energético y se aprueba el bono social. Boletín Oficial del Estado, núm. 111, de 7 de mayo de 2009, 39404-39419. <https://www.boe.es/buscar/doc.php?id=BOE-A-2009-7581>

Responsabilidad ampliada del productor, Ministerio para la transición ecológica y el reto demográfico, 2011. <https://bit.ly/4bk6G3K>

Revilla-Cuesta, V., Skaf, M., Ortega-Lopez, V. y Manso, J. M. (2023). Raw-crushed wind-turbine blade: Waste characterization and suitability for use in concrete production. [Trituración de de aspas de aerogeneradores: Caracterización de residuos y aptitud para otros usos] *Resources, Conservation and Recycling*. 198, 107160. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2023.107160>

SIGAUS. (2024). Sistema de gestión de aceites industriales en España. <https://www.sigaus.es>

VESTAS. (2024). Life Cycle Assessment. <https://bit.ly/3xtLpH7>

WindEurope. (2020a). Accelerating Wind Turbine Blade Circularity. [Acelerando la circularidad de las aspas de aerogeneradores] <https://bit.ly/3W4e4vw>

WindEurope. (2020b). Decommissioning of Onshore Wind Turbines. [Desmantelamiento de aerogeneradores terrestres] <https://bit.ly/45T4IGp>

Ziegler L., Gonzalez E., Rubert T., Smolka U. y Melero, J. J. (2018) Lifetime extension of onshore wind turbines: A review covering Germany, Spain, Denmark, and the UK. [Ampliación de vida útil de aerogeneradores terrestres: revisión del caso de Alemania, España, Dinamarca y Reino Unido] *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 82, 1261-1271. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2017.09.100>

CONTRIBUCIONES DE AUTORES/AS, FINANCIACIÓN Y AGRADECIMIENTOS

Agradecimientos: Esta publicación es parte del proyecto TED2021-129484A-I00, financiado por MCIN/AEI/10.13039/501100011033 y por la Unión Europea "NextGenerationEU"/PRTR.

AUTORA:**Patricia Márquez Sobrino**

Universidad de Sevilla

Licenciada en Ciencias Ambientales, Consultora y Auditora de sistemas de gestión de calidad y medio ambiente, Doctoranda de Procesos socioeconómicos, Recursos y Cambio Global, Facultad de Geografía de la Universidad de Sevilla.

patmarsob@alum.us.es

ORCID: <https://orcid.org/0009-0009-0802-3913>