



UNIVERSIDAD DE JAÉN
Escuela Politécnica Superior (Jaén)

Trabajo Fin de Máster

INTEGRACIÓN DE ENERGÍAS RENOVABLES EN EL SISTEMA ENERGÉTICO ANDALUZ. ANÁLISIS DE BARRERAS CULTURALES, SOCIOECONÓMICAS Y MEDIOAMBIENTALES

Alumna: López Ortega, Lorena

Tutor: Prof. D. Julio Terrados Cepeda
Dpto.: Ingeniería Gráfica, Diseño y Proyectos

Febrero, 2022



Universidad de Jaén
Escuela Politécnica Superior de Jaén
Departamento de Ingeniería Gráfica, Diseño y Proyectos

Don Julio Terrados Cepeda , tutor del Proyecto Fin de Máster titulado: INTEGRACIÓN DE ENERGÍAS RENOVABLES EN EL SISTEMA ENERGÉTICO ANDALUZ. ANÁLISIS DE BARRERAS CULTURALES, SOCIOECONÓMICAS Y MEDIOAMBIENTALES, que presenta Lorena López Ortega, autoriza su presentación para defensa y evaluación en la Escuela Politécnica Superior de Jaén.

Jaén, FEBRERO de 2022

El alumno:

El tutor:

Lorena López Ortega

RESUMEN

Este proyecto se centra en el análisis y desarrollo de una metodología que permita la estimación del potencial renovable de una región y la integración de la misma en su modelo energético, teniendo como objetivo la utilización masiva de energías renovables para la producción de electricidad a partir de la biomasa, la energía solar fotovoltaica y la energía eólica. Para ello, se han estudiado metodologías utilizadas en estudios previos con el fin de obtener una mayor base de información y realizar un informe más completo. Una vez diseñada esta metodología, se procede a su aplicación en la Comunidad de Andalucía con el fin de valorar su elevado potencial y determinar las zonas de actuación. Dónde, como paso previo, se ha estudiado el panorama energético actual.

La metodología elaborada se ha sustentado en gran medida en software de sistemas de información geográfica y en las técnicas de evaluación y análisis multicriterio. A partir de datos libres proporcionados a través de la web de diferentes instituciones, se estima un potencial bruto en Andalucía de generación eléctrica de 1.808 MW en plantas de biomasa a partir de subproductos del olivar, 339.007 MW en plantas solares fotovoltaicas y 6.444 MW instalados en parques eólicos; que se sumarían a los 8.400 MW renovables actualmente instalados que proporcionaron una producción de 15.087 GWh de electricidad durante el año 2020 en la comunidad.

Así mismo, se han identificado las variables culturales, socioeconómicas, medioambientales, regulatorias y técnicas que pueden influir en la integración de un proyecto renovable en cualquier región, y específicamente, cómo lo hacen en el territorio andaluz. La consideración de las variables más influyentes arroja un modelo de aptitud territorial basado en la técnica de suma ponderada. Para el ámbito andaluz la ponderación de estas variables se realiza mediante una encuesta de opinión representante de toda la población andaluza. Siendo así, este modelo de aptitud determina como zonas óptimas para la implantación de renovables el valle del Guadalquivir, la zona sur este de la comunidad y áreas cercanas a subestaciones eléctrica.

ABSTRACT

This project is intended to analyze and develop a methodology for estimating the renewable potential of a region and its integration into its energy model, with the use of renewable energies for the production of electricity from biomass, photovoltaic solar energy and wind energy as the main objective. For that purpose, methodologies used in previous studies have been studied in order to obtain a greater information basis and a thorough report was prepared. Once the methodology was designed, it was applied in the Community of Andalusia to assess its high potential and establish the areas of action. Additionally, as a previous step, the current energy panorama was studied.

The developed methodology has been largely based on geographic information system software and multi-criteria evaluation and analysis techniques. Based on free data provided through the website of different institutions, a gross potential in Andalusia for electricity generation is estimated of 1.808 MW in biomass plant from derivative products of the olive grove, 339.007 MW in photovoltaic solar plants and 6.444 MW installed in wind farms; which would be added to the 8.400 MW currently installed that provided a production of 15.087 GWh of electricity during year 2020 in the Andalusian region.

Likewise, cultural, socioeconomic, environmental, regulatory and technical variables that can influence the integration of a renewable project in any region have been identified, and specifically, how they do it in the Andalusian territory. The consideration of the most influential variables yields a territorial aptitude model based on the weighted sum technique. For the Andalusian area, the weighting of these variables is carried out through a representative opinion survey of the entire Andalusian population. Therefore, this aptitude model determines the Guadalquivir valley, the south-eastern area of the community and areas near electrical substations as optimal areas for the implementation of renewables.

ÍNDICE DE CONTENIDO

1. INTRODUCCIÓN	8
2. SITUACIÓN ACTUAL DE LA GENERACIÓN ELÉCTRICA RENOVABLE EN ANDALUCÍA.....	10
2.1. Infraestructuras de biogás.....	12
2.2. Infraestructuras de biomasa.....	13
2.3. Infraestructuras eólicas	13
2.4. Infraestructuras hidroeléctricas	14
2.5. Infraestructuras termosolares.....	14
2.6. Infraestructuras fotovoltaicas	15
3. POTENCIAL DE INTEGRACIÓN DE RENOVABLES EN ANDALUCÍA.....	16
3.1. Potencial biomásico en Andalucía	16
3.2. Potencial eólico en Andalucía	19
3.3. Potencial solar fotovoltaico en Andalucía	23
3.4. Planes Estratégicos en Andalucía.....	25
4. PROCEDIMIENTOS EXISTENTES PARA ESTIMAR EL POTENCIAL RENOVABLE DE UNA REGIÓN.	27
5. BARRERAS EN EL POTENCIAL BRUTO DE INTEGRACIÓN DE RENOVABLES EN UN ENTORNO DETERMINADO	34
6. PROPUESTA DE METODOLOGÍA DE ESTIMACIÓN DEL POTENCIAL NETO DE INTEGRACIÓN EN UNA REGIÓN	40
6.1. Elaboración de la base de datos geográfica en el entorno SIG	41
6.2. Potencial teórico.....	43
6.2.1. Recurso biomásico.....	44
6.2.2. Recurso eólico	45
6.2.3. Recurso solar fotovoltaico	46
6.3. Estimación del potencial energético bruto	47
6.3.1. Potencial técnico	48
6.3.1.1. Potencial técnico biomásico.....	48
6.3.1.1.1. <i>Coeficiente de biomasa residual</i>	48
6.3.1.1.2. <i>Conversión energética</i>	49
6.3.1.2. Potencial técnico eólico	50
6.3.1.3. Potencial técnico solar fotovoltaico	51
6.3.2. Potencial geográfico.....	51
6.4. Estimación del potencial neto de integración o modelo de aptitud.....	53

6.4.1. Definición y ponderación de variables que influyen negativamente en el potencial bruto.....	54
6.4.2. Evaluación de criterios	54
6.4.3. Normalización	55
6.4.4. Integración de capas.....	56
6.4.5. Clasificación de aptitud para la integración	57
7. APLICACIÓN DE LA METODOLOGÍA PARA LA EVALUACIÓN DE POTENCIAL RENOVABLE EN ANDALUCÍA	58
7.1. Base de datos geográfica en el entorno SIG	58
7.2. Potencial teórico.....	60
7.2.1. Recurso biomásico.....	60
7.2.2. Recurso eólico	61
7.2.3. Recurso solar.....	62
7.3. Potencial bruto	63
7.3.1. Potencial técnico	63
7.3.1.1. Biomásico.....	63
7.3.1.2. Eólico	65
7.3.1.3. Solar fotovoltaico	66
7.3.2. Potencial geográfico.....	67
7.3.3. Resultados potencial bruto.....	70
7.4. Potencial neto o modelo de aptitud	73
7.4.1. Modelo de aptitud biomásico.....	79
7.4.2. Modelo de aptitud eólico	80
7.4.3. Modelo de aptitud solar	81
8. FACTORES DE INTEGRACIÓN DE PROYECTOS DE EERR EN ANDALUCÍA.....	82
9. CONCLUSIONES	92
BIBLIOGRAFÍA	96
ANEXO I: ÍNDICES DE RESIDUO DE BIOMASA AGRÍCOLA	101
ANEXO II: PODER CALORÍFICO INFERIOR DE BIOMASA AGRÍCOLA.....	103
ANEXO III: ENCUESTA DE INTEGRACIÓN DE ENERGÍAS RENOVABLES (BIOMASA, SOLAR FOTOVOLTAICA Y EÓLICA) EN ANDALUCÍA	105

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración 3.1. Distribución potencial bruto de biomasa en Andalucía. Fuente: Agencia Andaluza de la Energía (AAE, 2020b).	17
Ilustración 3.2. Distribución potencial eólico terrestre en Andalucía. Fuente: Agencia Andaluza de la Energía (AAE, 2020b).	20
Ilustración 3.3. Aptitud del territorio Andaluz a la implantación eólica. A la izquierda según red eléctrica actual; a la derecha según red eléctrica totalmente eficiente. Fuente Cuevas M.P. et al (2011).	22
Ilustración 3.4. Distribución potencial bruto solar fotovoltaico y termosolar en Andalucía. Fuente: Agencia Andaluza de la Energía (AAE, 2020b).	24
Ilustración 4.1. Diagrama de flujo de MODERGIS. Fuente: Quijano R. (2011)	32
Ilustración 6.1. Representación en formato ráster. Fuente: Documentación ArcGIS.....	43
Ilustración 6.2. Valores territoriales (criterios) y pesos en formato ráster. Fuente: Elaboración propia.	55
Ilustración 6.3. Integración de capas por suma ponderada en SIG. Fuente: Elaboración propia.	57
Ilustración 6.4. Leyenda modelos SIG de aptitud para la integración renovable. Fuente: Elaboración propia.	57
Ilustración 7.1. Base de datos cartográfica de Andalucía. Elaboración propia.	59
Ilustración 7.2. Modelo Digital del Elevaciones de Andalucía. Elaboración propia.	59
Ilustración 7.3. Terrenos de olivar a 2021. Elaboración propia.	60
Ilustración 7.4. Velocidad media de viento anual a 100 m de altura. Elaboración propia.	61
Ilustración 7.5. Densidad media de viento anual a 100 m de altura. Elaboración propia.	62
Ilustración 7.6. Radiación Global Horizontal en Andalucía en un año. Elaboración propia.	62
Ilustración 7.7. Potencial técnico anual de los subproductos del olivar. Elaboración propia.	65
Ilustración 7.8. Potencial técnico eólico. Elaboración propia.	66
Ilustración 7.9. Potencial técnico solar fotovoltaico anual. Elaboración propia.	67
Ilustración 7.10. Zonas limitadas para la biomasa. Elaboración propia.	69
Ilustración 7.11. Zonas limitadas para la eólica. Elaboración propia.	69
Ilustración 7.12. Zonas limitadas para la solar fotovoltaica. Elaboración propia.	69
Ilustración 7.13. Potencial bruto anual de subproductos del olivar. Elaboración propia.	71
Ilustración 7.14. Potencial bruto anual solar fotovoltaico. Elaboración propia.	71
Ilustración 7.15. Potencial bruto eólico. Elaboración propia.	72
Ilustración 7.16. Resultados gráficos distancias consideradas a subestaciones eléctricas. Elaboración propia.	76
Ilustración 7.17. Resultados gráficas distancias consideradas a terrenos del olivar. Elaboración propia.	77
Ilustración 7.18. Modelo de aptitud biomásico de Andalucía. Elaboración propia.	79
Ilustración 7.19. Modelo de aptitud de Andalucía. Elaboración propia.	80
Ilustración 7.20. Modelo de aptitud fotovoltaico en Andalucía. Elaboración propia.	81
Ilustración 8.1. Centrales renovables a diciembre de 2018. Fuente: Elaboración propia.	84
Ilustración 8.2. Áreas protegidas consideradas en el capítulo 7.4. para los criterios ambientales. Fuente: Elaboración propia.	86
Ilustración 8.3. Protesta en contra de proyecto renovable en Granada. Fuente: El Salto ¹¹ ...	87
Ilustración 8.4. Presencia de subestaciones y núcleos urbanos en Andalucía. Fuente: Elaboración propia.	91

ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfico 2.1. Potencia eléctrica instalada en Andalucía con tecnologías renovables, cogeneración y residuos. Fuente: elaboración propia en base a datos de la Agencia Andaluza de la Energía (AAE, 2021a) y (AAE, 2020a).	11
Gráfico 2.2. Evolución anual de potencia eléctrica renovable instalada en Andalucía. Fuente: elaboración propia en base a datos de la Agencia Andaluza de la Energía (AAE, 2021b).....	12
Gráfico 3.1. Potencial bruto de generación eléctrica a partir de recurso biomásico por provincias. Fuente: elaboración propia en base a datos de la Agencia Andaluza de la Energía (AAE, 2020b).	17
Gráfico 3.2. Potencial de generación eléctrica a partir de recurso eólico por provincias. Fuente: elaboración propia en base a datos de la Agencia Andaluza de la Energía (AAE, 2020b).....	20
Gráfico 3.3. Potencial bruto de generación eléctrica a partir de recurso solar por provincias. Fuente: elaboración propia en base a datos de la Agencia Andaluza de la Energía (AAE, 2020b).....	23
Gráfico 6.1. Esquema general metodología propuesta	41
Gráfico 6.2. Procedimiento de cálculo para el potencial técnico biomásico. Elaboración propia.	48

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 5.1. Barreras que influyen negativamente en el potencial bruto de integración de renovables. Fuente: Elaboración propia en base a revisión bibliográfica Capítulo 4 y Romero I.E. et al (2020):.....	35
Tabla 6.1. Zonas incompatibles con la explotación renovable. Fuente: Elaboración propia. .	52
Tabla 7.1. Índice de residuo de subproductos del olivar (datos anuales). Fuente: La Cal J.A. (2020).....	63
Tabla 7.2. Poder Calorífico Inferior de subproductos del olivar. Fuente: La Cal J.A. (2020). .	64
Tabla 7.3. Características aerogenerador considerado.	65
Tabla 7.4. Restricciones de distancias a añadir para la implantación eólica. Fuente: Elaboración propia en base a MTERD (2020) y Cuevas M.P. (2017).	68
Tabla 7.5. Resumen resultados obtenidos de potencial bruto. Elaboración propia.	72
Tabla 7.6. Distancias consideradas para criterio de cercanía a la red eléctrica.	76
Tabla 7.7. Distancias consideradas para criterio de costes de logística en la biomasa.....	77
Tabla 7.8. Tabla resumen criterios considerados y ponderación encuesta.	78

1. INTRODUCCIÓN

En la actualidad, la sociedad a escala mundial se enfrenta a un complejo escenario energético. Por un lado, existe cada vez mayor demanda de energía debido al crecimiento demográfico, tecnológico y económico global. Derivando en la posibilidad futura de no tener un suministro adecuado a precios competitivos, esperándose así un agotamiento de los combustibles fósiles en años venideros. Por otro lado, la mayoría de las presentes fuentes de energía utilizadas en el mundo tienen recursos limitados y lo que es más importante, generan un daño medioambiental y un cambio climático significantes que provocarán un empeoramiento de las condiciones de vida de los seres vivos del planeta Tierra en un futuro próximo.

Como respuesta a estas amenazas se presentan las energías renovables (EERR), siendo estas fuentes inagotables, no contribuyentes con el efecto invernadero ni emisoras de gases contaminantes y crecientemente competitivas. Se han desarrollado rápidamente múltiples formas de aprovechar los recursos que nos proporciona la naturaleza, siendo fuentes de generación eléctrica eficientes como la energía eólica, solar, hidroeléctrica, biomasa, biogás o mareomotriz, entre las más destacadas y utilizadas. Por su carácter autóctono contribuyen a disminuir la dependencia de un país de los suministros externos, aminoran el riesgo de un abastecimiento poco diversificado y favorecen el desarrollo de nuevas tecnologías y de la creación de empleo, entre otras muchas ventajas.

Los combustibles fósiles representa la principal fuente de energía utilizada en el planeta, aun siendo los causantes de la mayor contaminación por emisión de CO₂, quedando en descubierto la gran dependencia energética de los recursos fósiles a nivel mundial. Esta situación se traslada al marco energético andaluz, sin embargo, la comunidad cuenta con un altísimo potencial de recursos energéticos renovables, especialmente de recurso solar, eólico (tanto terrestre como marino) y biomásico. Lo que la convierte en un territorio muy próspero e interesante para las renovables, por su riqueza natural, clima idóneo y características orográficas favorables.

No existe, a día de hoy, una metodología determinada ni estandarizada para la determinación del potencial energético de los recursos renovables de una región. La mayoría de estudios realizados para determinar el potencial de las energías renovables en una región son globales y poco precisos, pues están basados en datos agregados, muchas veces estadísticos, en territorios relativamente amplios sin tener en cuenta la variabilidad local. Además, la metodología de unos a otros varía considerablemente, no habiendo entonces unas pautas específicas para la determinación de este potencial. Lo mismo ocurre para los estudios de potencial renovable andaluz, realizándose de forma superficial y sin tener en cuenta variables cualitativas como las de ámbito cultural, socioeconómico o ambiental, que pueden influir en dicho potencial.

Si es cierto que las energías renovables se encuentran en desventaja en cuanto a rendimientos y factores de planta con respecto a las fósiles, por lo que estas limitaciones técnicas han de ser consideradas a la hora de determinar el potencial renovable de una región. Pero estas no son los únicos factores que bloquean el desarrollo de un proyecto de EERR, a diferencia de los combustibles fósiles, una de las características principales de las energías renovables es que están íntimamente ligadas al territorio, caracterizándose estas energías por una gran variabilidad y dependencia de otros factores extensivos. El medioambiente, la legislación de cada nación o comunidad, desarrollo económico y social... son variables con una fuerte impronta territorial y geográfica. Por ello, la integración de las energías renovables no sólo debe enfocarse desde un punto de vista técnico, sino también en la comprensión del sistema energético como un conjunto con una importante presencia territorial. Por lo tanto, una metodología de evaluación de potencial renovable en una región, además de la perspectiva de su integración en el sistema energético y de su colaboración en esta línea a la producción de energía, debe incorporar su vertiente territorial, ambiental, social y cultural identificando estas barreras e integrándolas en su potencial de integración renovable.

2. SITUACIÓN ACTUAL DE LA GENERACIÓN ELÉCTRICA RENOVABLE EN ANDALUCÍA

Andalucía es una Comunidad Autónoma que está comprometida con el aporte de energías renovables a su sistema eléctrico, consiguiendo constantemente una notable evolución enfocada al desarrollo sostenible de su modelo energético. En las últimas dos décadas se ha propiciado el aprovechamiento de los importantes recursos renovables con los que cuenta la comunidad para reducir la dependencia exterior de las energías convencionales y las emisiones contaminantes derivadas de su uso; además de potenciarse ahorro energético y una mejora de la eficiencia energética existente en todos los sectores de actividad, lo que deriva en un incremento en la competitividad de las empresas y mejora en las economías domésticas y del sector público.

Este marco sitúa a Andalucía como la segunda comunidad autónoma con más potencia renovable conectada a red en el territorio español. Siendo así que a junio de 2021 los datos de potencia total instalada de generación eléctrica ascendían a 17.873,6 MW, de los cuales un 47,07 % se corresponden a potencia eléctrica de origen renovable (AAE, s.f.). Las tecnologías de mayor aporte presentes en el territorio, tanto a la red como generación aislada para autoconsumos, a partir de energías limpias son la eólica, fotovoltaica, termosolar, hidroeléctrica y biomasa, suponiendo un total de 8.376,44 MW de potencia; adicionales a 984,17 MW a partir tecnologías de generación eléctrica por biogás, residuos, energía oceanotérmica y cogeneración (AAE, 2021a).

Estos recursos complementan a la generación convencional, aportando esta última un total de 8.513 MW de potencia instalados en toda la provincia, repartidos en centrales térmicas y de bombeo, predominando las centrales de ciclo combinado (AAE, 2020a). Suponiendo aún una dependencia de las renovables en estas energías contaminantes.

Se muestra en el Gráfico 2.1. la distribución de potencia instalada de origen renovable, cogeneración y residuos:

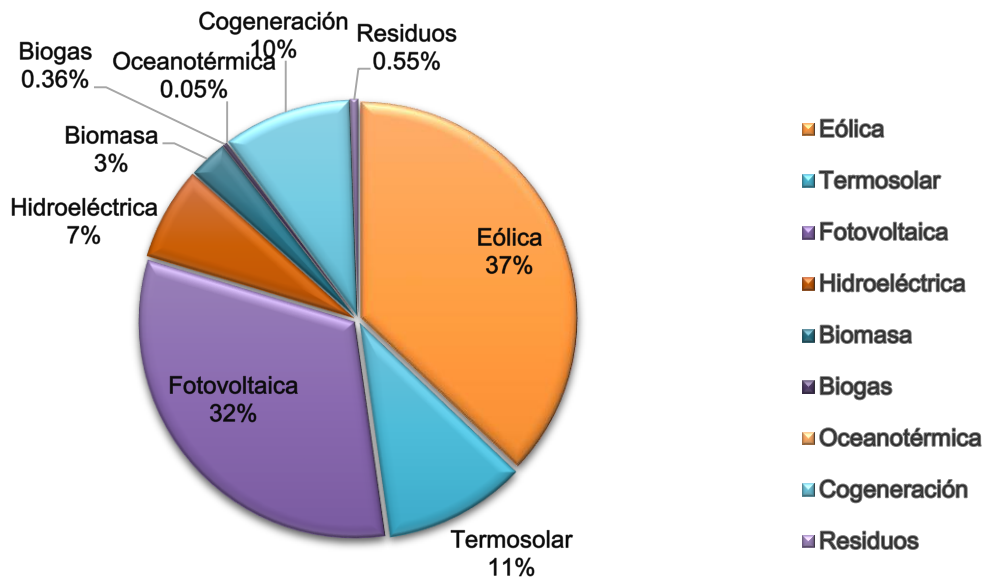


Gráfico 2.1. Potencia eléctrica instalada en Andalucía con tecnologías renovables, cogeneración y residuos. Fuente: elaboración propia en base a datos de la Agencia Andaluza de la Energía (AAE, 2021a) y (AAE, 2020a).

A pesar de la variedad de fuentes de energía y de la cantidad de potencia de origen renovable, el consumo energético andaluz posee una dependencia a los combustibles fósiles resultando así un consumo de energías renovables del 19.5% del total de energía consumida en la región en el año 2019 (AAE, 2019). Aun así se ha de destacar el avance realizado por la comunidad, aumentando notablemente la potencia instalada en todo el territorio durante los últimos 10 años, siendo lo más significativo la incorporación de las centrales termosolares comerciales, el crecimiento de las instalaciones fotovoltaicas y los parques eólicos.

El desarrollo de energías limpias andaluzas crece cada vez más rápido, habiéndose instalado 70 veces más megavatios de potencia renovable (2290 MW más) en este año 2021 que en los cuatro anteriores, observándose así en el gráfico evolutivo siguiente la totalidad de potencia renovable instalada en Andalucía desde el año 2011 hasta la actualidad :

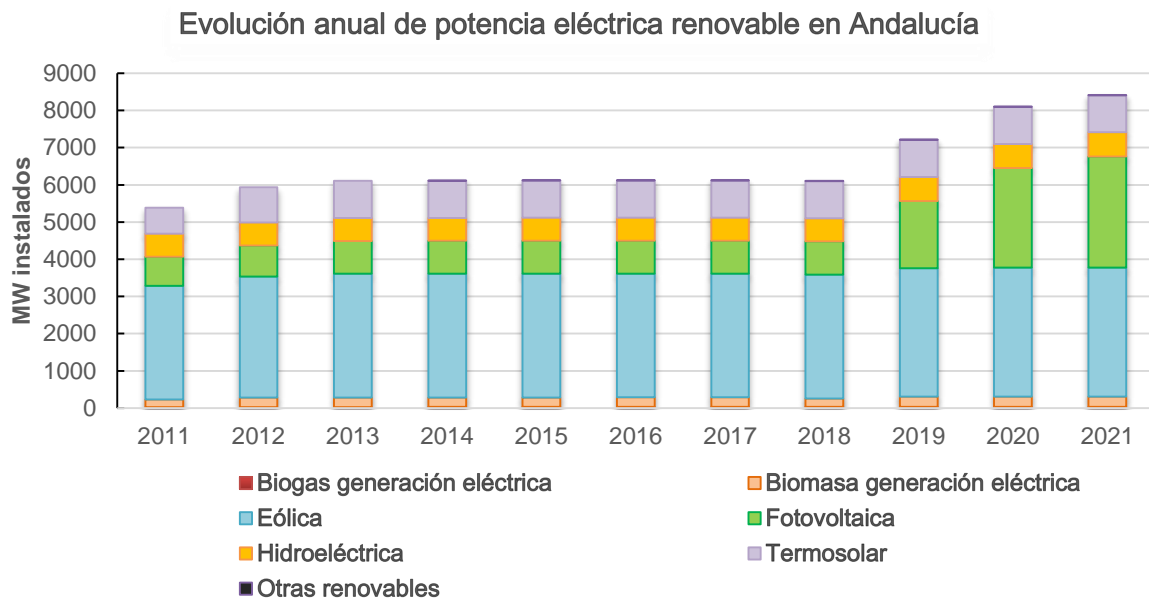


Gráfico 2.2. Evolución anual de potencia eléctrica renovable instalada en Andalucía. Fuente: elaboración propia en base a datos de la Agencia Andaluza de la Energía (AAE, 2021b).

La transición de Andalucía hacia este cambio energético se traduce en más de 8.300 plantas de generación eléctrica renovable conectadas a red, que en su mayoría (96,5%) corresponden a instalaciones fotovoltaicas, además de numerosos proyectos que se han llevado a cabo del año 2020 al 2021, que sumarían 887 MW renovables. Se destacan a continuación las mayores infraestructuras de generación eléctrica renovable en la comunidad (AAE, 2021c).

2.1. Infraestructuras de biogás

En el año 2016 se instala la primera planta que utiliza la digestión anaerobia para la generación eléctrica de purines en Campillos, Málaga. A partir de este punto se desarrollan 21 instalaciones hasta día de hoy utilizando esta energía, además de otras como el aprovechamiento del gas vertedero o de la digestión anaerobia de lodos de aguas residuales.

Se consiguen así 33.45 MW de potencia total instalada, de los cuales 27,4 MW están conectados a red y 6,05 MW utilizan el biogás generado para autoconsumo. Siendo actualmente la provincia de Sevilla la líder en el sector produciendo de 46,7% de potencia del total de generación eléctrica por biogás con 11,83 MW que utilizan gas de vertedero y con 3,40 MW que están instalados en cuatro depuradoras de aguas residuales para aprovechamiento del biogás generado a partir de lodos de depuradora en régimen de autoconsumo.

2.2. Infraestructuras de biomasa

Andalucía es la comunidad Autónoma con mayor generación eléctrica con biomasa gracias a la importante extensión de cultivo de olivar y a sus industrias asociadas; y creciendo día a día utilizando poda de olivo y encina, hueso de aceituna y orujillo y cascara de frutos secos y añadiéndose en los últimos años el cultivo energético de eucalipto.

Se consta de 17 instalaciones que acumulan 273.98 MW totales andaluces de los que 136.95 MW son aportación de la provincia de Huelva en su reciente planta inaugurada en 2019 en San Juan del Puerto y 16 MW en la provincia de Jaén, ambas con la compañía ENCE. Córdoba ocupa el segundo puesto después de Huelva en generación de energía eléctrica con biomasa distribuyendo en su territorio 8 plantas que consiguen 81.1 MW gracias a su extensión en el campo del olivar, al igual que en Jaén que le sigue en el tercer puesto en el sector biomásico.

2.3. Infraestructuras eólicas

Andalucía cuenta con multitud de instalaciones minieólicas aisladas de la red que utilizan baterías para almacenar la electricidad producida para su consumo posterior en viviendas aisladas de la red eléctrica, riego de campos de cultivo o extracción de agua. Estos aerogeneradores son de pequeña potencia, generalmente entre 1,5 y 6 kW, sumando 0,26 MW de potencia en estas instalaciones minieólicas aisladas de la red eléctrica.

No obstante, son los parques eólicos los que ganan posición en la generación con renovables con una potencia total de 3471,7 MW transformados con grandes aerogeneradores de 2 MW comúnmente. Existiendo ya en el mercado máquinas de potencias superiores, de hasta 4,5 MW, que se están implantando en los nuevos parques eólicos. Así, en la actualidad, Andalucía cuenta en la provincia de Málaga con el primer parque eólico experimental “La Cámara” de 18 MW por 4 aerogeneradores de 4,5 MW de potencia unitaria.

Actualmente, hay en Andalucía 154 parques eólicos, que funcionando a pleno rendimiento generarían durante un año la electricidad que consumen 1.600.000 viviendas. Resulta evidente que la provincia con mayor generación eólica

es Cádiz por sus condiciones climatológicas y disponiendo del mayor parque generador eléctrico de Andalucía, concentrando el 38% de la potencia instalada. Cádiz ha sido la provincia española pionera en energía eólica, contando en la actualidad con 1.396 MW, le suceden la provincia de Málaga que recientemente en 2020 se ha puesto en servicio el parque eólico “La Escalereta II” con una potencia de 23,63 MW y Almería con 19 parques eólicos.

2.4. Infraestructuras hidroeléctricas

La energía hidroeléctrica no presenta un desarrollo tan importante como el resto de energías renovables en la región debido al clima seco que hace que la demanda de agua para abastecimiento de la población, regadíos y usos agrarios sea prioritaria frente a su utilización para usos energéticos.

Andalucía cuenta con 94 centrales en funcionamiento con un total de 650,00 MW en la que la ciudad líder en generación de energía hidráulica es Jaén con sus 23 centrales en funcionamiento y un total de 212,22 MW, lo que supone un 32,6 % del total andaluz, la mayoría de ellas aprovechando los saltos de agua creados en los diferentes embalses de la provincia. Esto se debe en gran medida a que la orografía de la provincia es propicia para un mayor aprovechamiento hidroeléctrico existiendo numerosos ríos y condiciones favorables para la construcción de presas, en las que normalmente se ubican este tipo de instalaciones para aprovechar la fuerza de los saltos de agua como se ha mencionado. La planta con mayor potencia es la existente en el pantano del Tranco, en la Sierra de Segura, que alcanza una potencia de 39 MW y, singularmente, la provincia jiennense dispone de la única central hidroeléctrica aislada de Andalucía, en Cambil, con 200 kW de potencia.

2.5. Infraestructuras termosolares

Andalucía es la comunidad autónoma donde se instaló la primera planta termosolar eléctrica a nivel comercial, planta de tipo torre con heliostatos. En la actualidad se distribuyen veintidós centrales termosolares en funcionamiento en las ciudades de Córdoba, Cádiz, Granada y Sevilla. Estas plantas son tanto de tipo torre como de tecnología de colectores cilindro parabólicas, además, se cuenta con dos instalaciones experimentales de discos Stirling para investigación. Esto ha originado

que Andalucía sea la comunidad autónoma que cuenta con mayor potencia instalada generada con infraestructuras termosolares, 997,40 MW actualmente a nivel nacional.

2.6. Infraestructuras fotovoltaicas

El número de instalaciones solares fotovoltaicas ha crecido de manera exponencial en los últimos años, tanto que en 2020 esta tecnología ha crecido un 50% respecto a la potencia fotovoltaica de final de 2019. Este gran impulso se debe a la proliferación de instalaciones fotovoltaicas conectadas a red en tejados de edificios, integradas en los núcleos urbanos, tanto en edificios públicos como privados o de las pequeñas centrales fotovoltaicas de 2MW a 10 MW hasta grandes centrales de 200 MW. Siendo así un total de 2.672.11 MW conectados a la red en funcionamiento y 9.99 MW en sistemas aislados.

La provincia de Sevilla es la que dispone de más potencia fotovoltaica conectada a red, con 1.376,67 MW en funcionamiento y creciendo, pudiendo destacar la nueva planta actualmente en construcción Cabrera Solar en el municipio de Alcalá de Guadaira que se convertirá en una de las cinco mayores plantas fotovoltaicas de España con 554.000 módulos solares y alcanzando una generación de 200 MW de potencia.

3. POTENCIAL DE INTEGRACIÓN DE RENOVABLES EN ANDALUCÍA

La comunidad Andaluza se convierte en un referente para la integración de energías renovables y el desarrollo de sus centrales respecto a toda España. Este potencial deriva de una gran disponibilidad de recurso renovable distribuido por todo el territorio andaluz, de manera que, según el estudio realizado por la Agencia Andaluza de la Energía (AEE, 2020), el potencial bruto con el que cuenta Andalucía asciende a más de 300.000 megavatios eléctricos que podrían desarrollarse con diferentes energías renovables, concretamente con energía solar, eólica terrestre y marina y procedente de residuos biomásicos. El amplio tejido empresarial dedicado tanto a la generación como gestión de energías renovables con el que cuenta la comunidad es un factor que propicia este marco de integración, siendo este un sector experimentado y en crecimiento que se consolida con 1.660 empresas que generan más de 43.000 empleos.

Este alto potencial de generación eléctrica a partir de las llamadas energías limpias se alcanza con la explotación de los recursos más potentes de la provincia y más propicios a integrar, hecho que podemos corroborar con diversos estudios que se han realizado en base a las condiciones de la comunidad:

3.1. Potencial biomásico en Andalucía

Encabezando la comunidad autónoma el sector de producción energética a partir de biomasa en todo el ámbito nacional, Andalucía cuenta además con un alto potencial para desarrollar aún más este tipo de centrales. El pormenorizado proyecto mencionado anteriormente, (AEE, 2020), expone contundentes datos situando en más de 20 millones de toneladas de biomasa en todo el territorio andaluz, lo que permite estimar un potencial bruto de centrales de biomasa de 1.870 MW.

Este recurso procede de residuos agrícolas (33%), residuos ganaderos (2%), residuos forestales (8%), residuos industriales (26%), residuos urbanos (15%) y cultivos energéticos (16%). Para el cálculo de este potencial se ha descontado el recurso que ya se utiliza en plantas de biomasa andaluzas para generación eléctrica o térmica y como variables determinantes para la localización y rentabilidad de una

planta se han considerado el coste de logística y transporte, siendo así prioritario que el recurso este concentrado en un ratio no muy lejano a la situación de la planta.

Provincia	Toneladas	Potencia bruta (MW)
Almería	1.337.052	81
Cádiz	1.831.423	190
Córdoba	3.012.933	234
Granada	1.954.756	165
Huelva	1.924.053	153
Jaén	4.026.057	385
Málaga	1.849.463	144
Sevilla	4.223.461	518
TOTAL	20.159.198	1.870

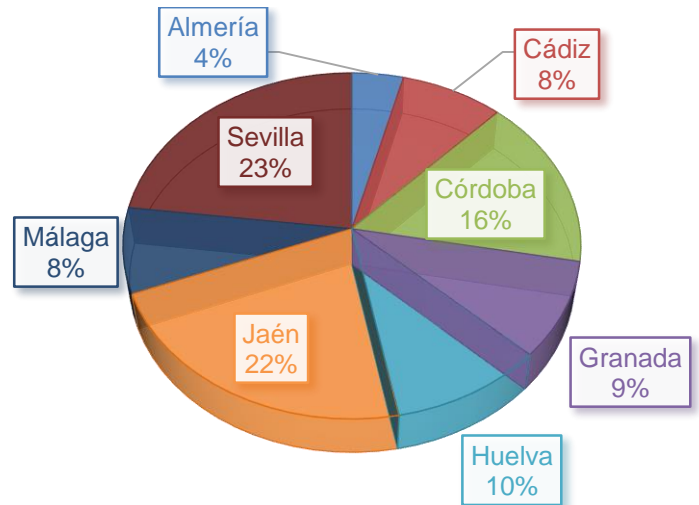


Gráfico 3.1. Potencial bruto de generación eléctrica a partir de recurso biomásico por provincias. Fuente: elaboración propia en base a datos de la Agencia Andaluza de la Energía (AAE, 2020b).

Estas variables de estudio proporcionan un potencial repartido por la comunidad, principalmente por las provincias de Jaén, Córdoba y Sevilla, ciudades donde predominan los terrenos del olivar y por las que recorre el río Guadalquivir que dispone la localización propicia de varios cultivos andaluces. El servicio Web Map Service (WMS) proporcionado por la Agencia Andaluza de la Energía ofrece la distribución de la densidad energética en Andalucía para consulta pública de manera visual.

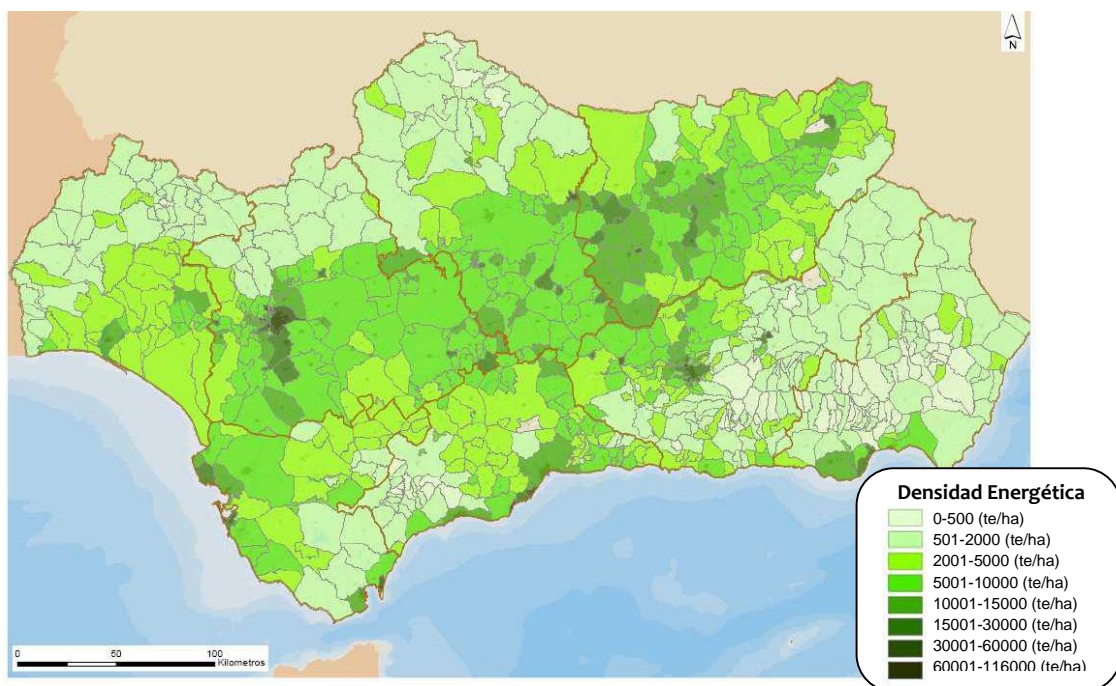


Ilustración 3.1. Distribución potencial bruto de biomasa en Andalucía. Fuente: Agencia Andaluza de la Energía (AAE, 2020b).

La Junta de Andalucía (2008) realiza un estudio más extenso analizando tanto el potencial biomásico agrícola, incluyendo cultivos herbáceos y leñosos, como el potencial ganadero. Concreta un primer análisis del potencial energético total de la biomasa residual procedente de los estos dos sectores, completándolo después con un análisis de potencial real en el que se descarta la biomasa residual cuyo aprovechamiento no fuese técnica y económicamente viable. Esta consideración se pone en manifiesto con índices de residuo agrícola (IR), índices de producción de metano específico de cada especie ganadera y/o de subespecie o categoría edad (IPM) y poderes caloríficos inferiores (PCI) para la transformación energética. Según las estimaciones realizadas, el potencial energético total procedente de los sectores agrícola y ganadero asciende a 2.844 ktep, de los que el 92% (2.617 ktep) corresponde al sector agrícola, y el resto, 8% (226,6 ktep), al ganadero. El aprovechamiento energético de esta biomasa equivaldría al consumo doméstico anual de energía eléctrica de una población de más de 4,7 millones de habitantes valorando datos de consumo de 2016. Además de evitar la emisión de más de 2,7 millones de toneladas de CO₂-eq anuales.

Terrados J. et al. (2011), desarrollan un modelo energético basado en el uso masivo de energías renovables enfocado a la producción de electricidad de forma más concreta para la provincia de Jaén. Este se sustenta en los Sistemas de Información Geográfica (SIG) para el estudio del potencial de cada recurso y ahonda en diversos criterios, tanto para la estimación del recurso como para la localización más idónea de la planta. El potencial biomásico lo estima distribuido en los cultivos del olivar, por su gran extensión en la provincia andaluza, exceptuando los terrenos no mecanizables. Conociendo el consumo de una instalación biomásica, en t/año, se estudian varias configuraciones con diferente número de plantas, distribución y potencias, teniendo en cuenta el potencial biomásico disponible en las proximidades de la planta o la buena accesibilidad a las instalaciones mediante maquinaria pesada. Se prueban 3 configuraciones de instalación de plantas fotovoltaicas con la intención de obtener la distribución geográfica óptima, obteniendo como resultado la propuesta de instalación de 2 plantas de 16 MW y 3 plantas de 25 MW distribuidas en la provincia de Jaén.

A mayor escala, se estudia el sector olivarero en todo el territorio andaluz arrojando resultados de 3,6 millones de toneladas de las que actualmente, a 2021, solo se aprovechan 2 millones (Marquina J. et al, 2021). Se consideran residuos del olivar de mesa y de almazara, tanto como de la poda de olivos, en la que se destaca la estimación de cantidad de leñas y ramones mediante un método lineal; el cuál estima que hay una relación lineal entre el peso de leña y ramón con los kg de aceituna que puede producir. Además se calcula la energía eléctrica y térmica derivada de este sector, utilizando valores PCI, junto con su valor económico; demostrando la rentabilidad de esta energía, con un margen positivo entre el precio de mercado y el coste de la cadena de valor de este combustible (desde la obtención de la biomasa hasta la operación de esta en sistemas eléctricos).

3.2. Potencial eólico en Andalucía

Para analizar este recurso la Agencia Andaluza de la Energía, (AEE, 2020) se basa en el estudio realizado por el Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía (IDAE), el cuál proporciona como resultado una herramienta de base de datos mapeada en un Atlas Eólico de España, en el que se representa la velocidad del viento a una altura de 100 m sobre suelo en todo el territorio nacional, herramienta muy útil para el estudio del recurso eólico debido a que los aerogeneradores tienen una altura media de 100 a 120 m mayoritariamente.

Extrapolando estos datos para la comunidad andaluza se descartan zonas de especial protección medioambiental como parques y reservas naturales, y se seleccionan como zonas factibles a la integración de una planta eólica territorios con, al menos, una velocidad de viento de 6 metros por segundo, siendo un valor en el cual un parque eólico opera con rentabilidad. Además, para la estimación del recurso se ha considerado que los aerogeneradores estarán separados entre sí una distancia de 7 veces el diámetro de la hélice y se ha tomado como aerogenerador de referencia a instalar un modelo terrestre de 3 MW de potencia unitaria.

Provincia	Superficie disponible (ha)	Potencia aprovechable (MW)
Almería	50.000	2.489
Cádiz	180.000	9.691
Córdoba	12.600	770
Granada	25.800	1.100
Huelva	7.700	86
Jaén	30.000	1.785
Málaga	72.800	3.830
Sevilla	100.000	5.964
TOTAL	478.900	25.715

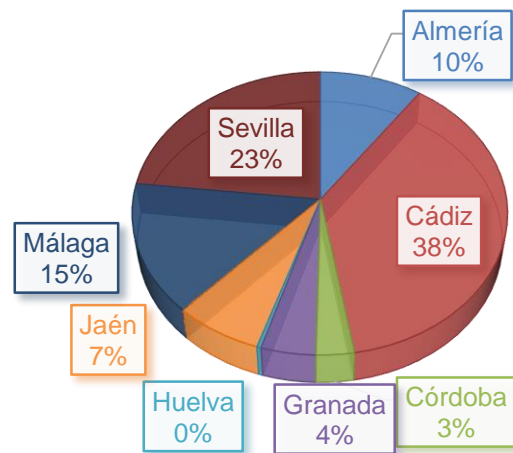


Gráfico 3.2. Potencial de generación eléctrica a partir de recurso eólico por provincias. Fuente: elaboración propia en base a datos de la Agencia Andaluza de la Energía (AAE, 2020b).

Como conclusiones finales a este cribado se puede declarar que Andalucía dispone de 480.000 hectáreas de terreno donde se estima propicia la instalación de 25.700 MW en parques eólicos. Este recurso eólico terrestre aprovechable se distribuye especialmente en las provincias de Cádiz, Málaga, Almería, Granada y Sevilla destacando especialmente la zona del Estrecho de Gibraltar por alcanzarse aquí altas velocidades y por su orografía singular.

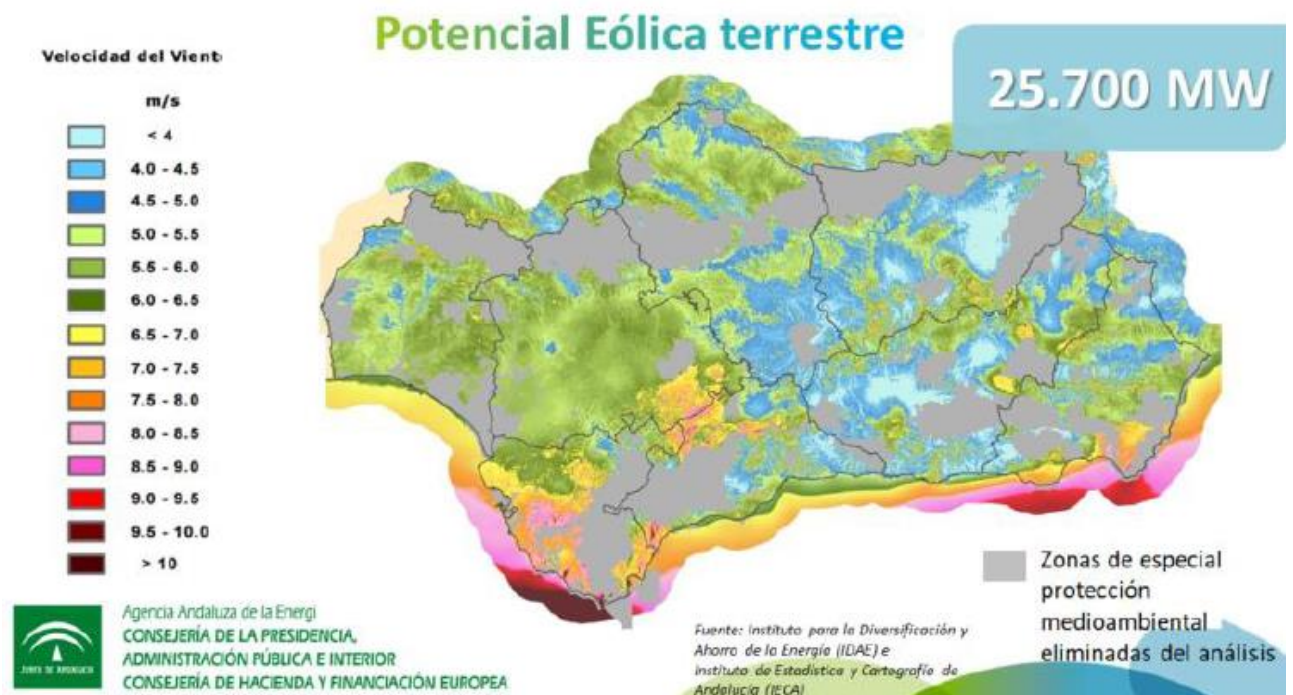


Ilustración 3.2. Distribución potencial eólico terrestre en Andalucía. Fuente: Agencia Andaluza de la Energía (AAE, 2020b).

Cuevas M.P. et al. (2017) emprenden el análisis de la potencialidad para la implantación de parques eólicos en Andalucía beneficiándose de las capacidades de decisión de las Técnicas de Evaluación y Análisis Multicriterio (AMC), además del apoyarse en las provechosas herramientas SIG. Como resultado se consigue un modelo locacional para la implantación eólica, paralelamente a dos niveles, uno con criterios estándar y otro con criterios más restrictivos. El modelo estándar se limita a considerar las limitaciones impuestas por la legislación y planificación vigente y debería resultar de obligado cumplimiento para cualquier tipo de administración o de agente territorial; en cambio, el más restrictivo parte de la adopción de una actitud más prudente e impone criterios más restringentes en cada una de las variables consideradas, por lo que estaría destinado a sociedades más protectoras del medio, la población y el patrimonio de sus territorios. Puede observarse en la Ilustración 3.4. que manejando el escenario más permisivo, la actividad eólica resulta incompatible o altamente desaconsejable en un 48,5% del territorio andaluz (42.464 km²) -imagen izquierda- elevándose esta cifra al 84% (73.546,2 km²) -imagen derecha- en el escenario más restrictivo. Ello implica que, más allá de la disponibilidad de cualquier recurso las consideraciones territoriales pueden llegar a ser mucho más limitantes de lo que en principio cabría imaginar.

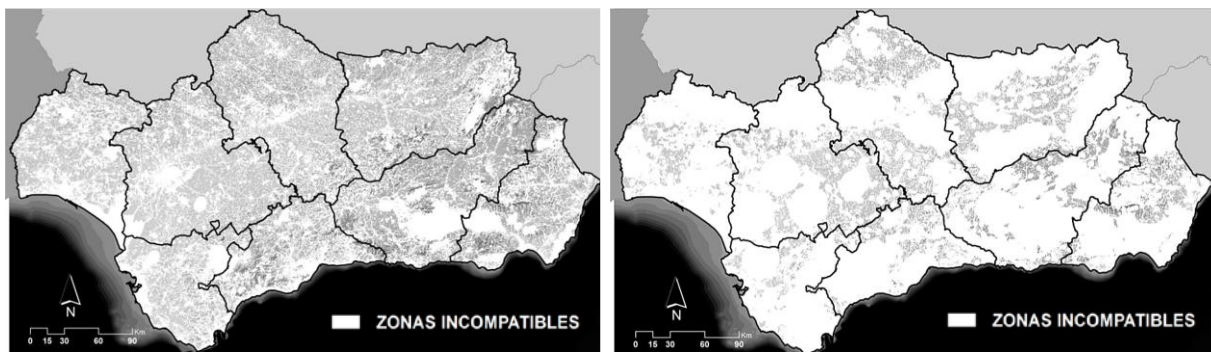


Ilustración 3.4. A izquierda potencial eólico escenario más permisivo; a la derecha potencial eólico en el escenario más restrictivo. Fuente: Cuevas M.P. et al (2017).

Cuevas M.P. et al. (2011) ponen en manifiesto el papel que juega la red eléctrica a la hora de implantar una infraestructura de generación eléctrica en Andalucía, en este caso, a partir generación eólica. Mediante el empleo de las técnicas SIG, se procede a una comparación entre la realidad actual que supone la distribución de la red eléctrica y otros modelos derivados y mejorados de esta red, en los que factores como puntos de evacuación, lejanía de las plantas a estos y a centrales del adecuado calibre, no supusieran una restricción. Los resultados del trabajo apuntan a un

incremento nada desdeñable de la superficie apta para la implantación de energía eólica con una mejora sobre la red eléctrica existente, lo que supone que la eficiencia en la red garantiza un aumento de casi 11.809 km² de territorio catalogado apto con respecto al análisis realizado con la red actual, incrementándose en un 14 % más de todo el territorio andaluz.

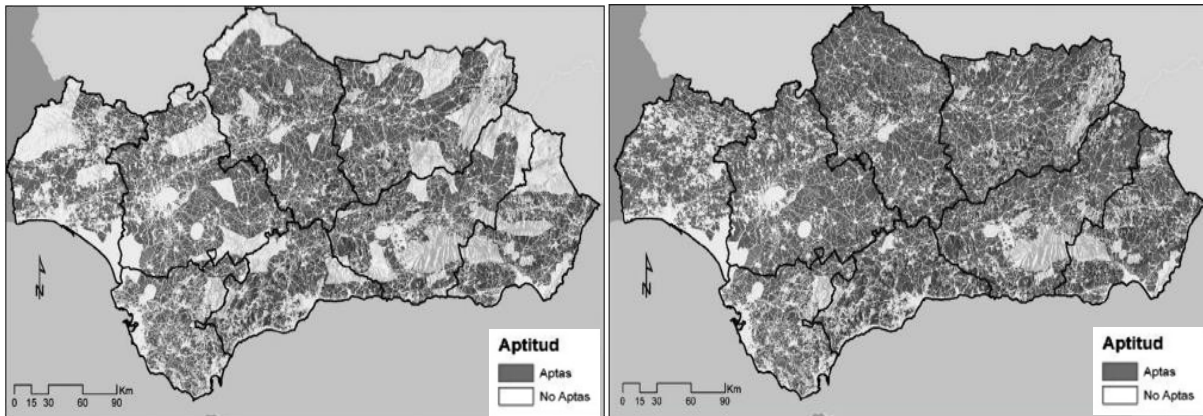


Ilustración 3.3. Aptitud del territorio Andaluz a la implantación eólica. A la izquierda según red eléctrica actual; a la derecha según red eléctrica totalmente eficiente. Fuente Cuevas M.P. et al (2011).

Es así que Terrados J. et al (2011) alza como criterio de peso la cercanía de la planta a puntos de evacuación adecuados al nivel de tensión y presencia o no de subestación para todas las energías de estudio, biomásica, eólica y solar. Encontrando para la ciudad de Jaén verdaderas dificultades para localizar estos puntos de evacuación accesibles. En cuanto al estudio de potencialidad eólica se consideran también vientos de más de 6 m/s a 80 metros de altura obteniendo su distribución a partir de una simulación con el modelo WRF; añadiendo la consideración del aerogenerador cuya curva de potencia se adapte de la manera más adecuada posible con este recurso eólico dependiendo del emplazamiento y sus horas disponibles. Se obtienen como resultados un potencial eólico teórico anual en la provincia de Jaén es de $3,8 \times 10^3$ GWh, que es aproximadamente 128 veces superior al consumo anual provincial. En total, se propone la instalación de 50 aerogeneradores G87 de 2 MW de potencia que se estima que producirían unos 172 GWh por año.

3.3. Potencial solar fotovoltaico en Andalucía

Andalucía tiene una situación privilegiada con respecto a la energía solar, tanto como una media de 6 kWh/m²día de irradiación solar frente a 3,8 kWh/m²día en el País Vasco. Siendo así que el análisis de potencial bruto de centrales solares en Andalucía de la Agencia Andaluza de la Energía (AAE, 2020b) estima que existen 800.000 hectáreas de terreno propicias para instalar un potencial bruto de centrales fotovoltaicas de 254.000 MW y un potencial bruto termosolar de 19.000 MW.

Provincia	Superficie disponible (ha)	Potencia termosolar (MW)	Potencia fotovoltaica (MW)
Almería	42.900	550	14.164
Cádiz	120.660	1.500	39.915
Córdoba	137.200	12.500	45.654
Granada	109.460	3.250	33.451
Huelva	47.570	1.050	15.107
Jaén	15.430	0	5.308
Málaga	20.750	0	7.206
Sevilla	314.620	11.252	93.518
TOTAL	808.590	30.102	254.323

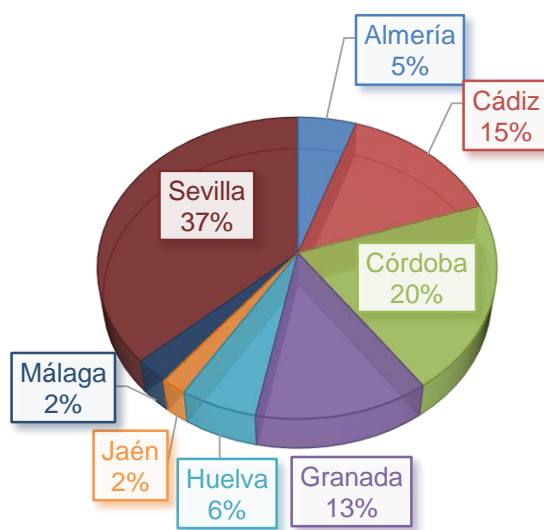


Gráfico 3.3. Potencial bruto de generación eléctrica a partir de recurso solar por provincias. Fuente: elaboración propia en base a datos de la Agencia Andaluza de la Energía (AAE, 2020b).

El estudio del potencial de instalación de esas centrales fotovoltaicas se ha apoyado en las capas de terreno disponibles en los Datos Espaciales de Referencia de Andalucía (DERA) del Instituto de Estadística y Cartografía de Andalucía (IECA). En este amplio abanico se descartan las capas tipo polígono como conjuntos históricos, Parques Nacionales y Naturales, otros espacios naturales protegidos, Geoparques, Red Natura, Biosfera, Zonas de Especial Protección de Interés para el Mediterráneo o el Plan Especial de Protección del Medio Físico. Entonces, como situaciones de preferencia se han favorecido terrenos catalogados como “Tierras de labor en secano”, “Espacios con vegetación escasa” y “Prados y Praderas”, con el objetivo de no dañar el espacio natural o con potencial de cultivo. Finalmente, también se excluyen terrenos con una superficie menos de 20 hectáreas que supondrían proyectos fotovoltaicos de solo 6-7 megavatios, para enfocar el estudio a proyectos de mayor envergadura; además de los terrenos con pendiente superior al 5%.

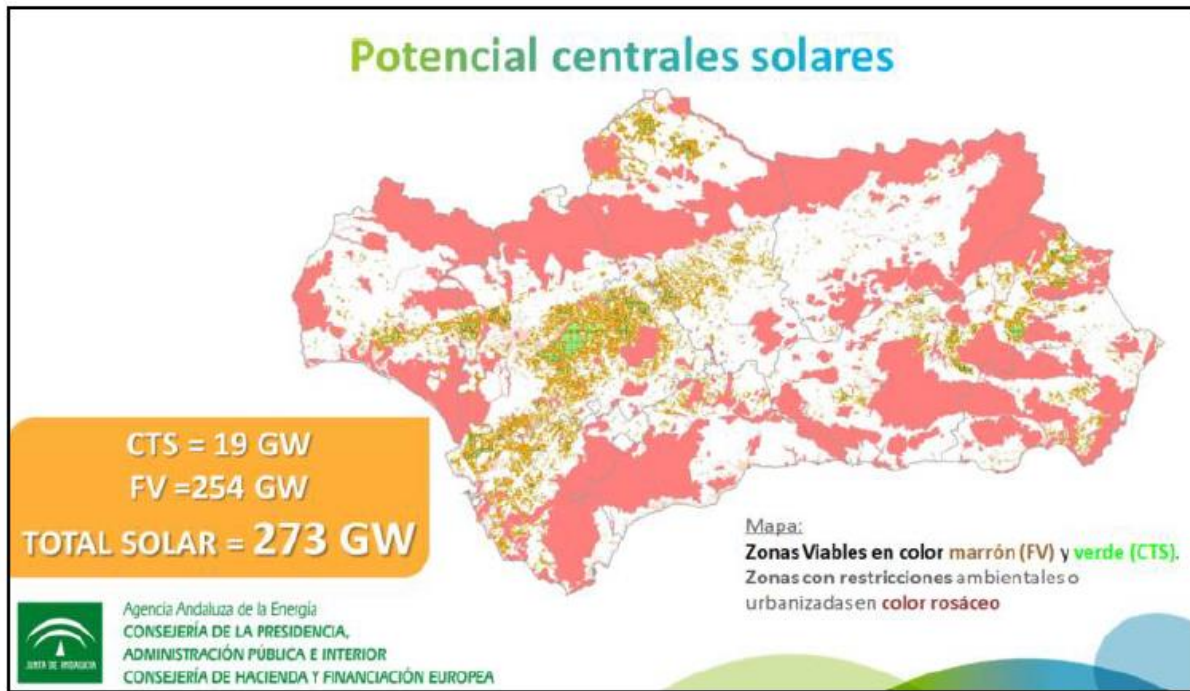


Ilustración 3.4. Distribución potencial bruto solar fotovoltaico y termosolar en Andalucía. Fuente: Agencia Andaluza de la Energía (AAE, 2020b).

Arán J. et al (2008) realiza el análisis de la localización óptima para plantas solares fotovoltaicas de acuerdo a la radiación solar horizontal en la región Andaluza, obtenida del proyecto europeo PVGIS, si no también considerando la temperatura media anual debido a su importancia en la potencia máxima que puede generar una célula fotovoltaica. La capacidad de producción eléctrica estimada para el territorio es de 38.693 GWh/año ocupando 164.495 ha a las que se aplican restricciones legales, ambientales y técnicas para plantas fotovoltaicas conectadas a la red.

Terrados J. et al (2011) calculan la disponibilidad de recurso solar en la provincia de Jaén mediante el modelo de cielo despejado del *European Solar Radiation Atlas (ESRA)* mediante el módulo *r.sun*. Cabe destacar que este proyecto realiza una comparación entre los resultados de su simulación y las medidas experimentales mencionadas anteriormente realizadas en la Universidad de Jaén al no considerar efectos de la nubosidad en su simulación. De esta comparación se extrae que las simulaciones son una herramienta bastante precisa, pues la mayor variación de resultados nunca sobrepasa el 10% de los datos simulados. El potencial fotovoltaico teórico total estimado alcanza $1,05 \times 10^6$ GWh al año; teniendo en cuenta que el consumo provincial en 2008 según el Ministerio de Industria, Tecnología y Ciencia fue de 3 080 GWh, es una cifra nada desdeñable. El potencial fotovoltaico real anual,

considerando las regiones que imposibilitan la instalación de una planta fotovoltaica, como pueden ser criterios de uso de suelo, es de aproximadamente 2.5×10^5 GWh, que aun así, es más de 80 veces superior al consumo provincial. Se proponen entonces la instalación de 350 MWp repartidos en 10 plantas fotovoltaicas de 35 MWp cada una. Estas plantas generarían 534 GWh al año y ocuparían una extensión total de aproximadamente 700 ha, un 0.05% de la extensión total de la provincia.

Es de destacar el análisis de impacto ambiental y económico que se realiza en Terrados J. et al (2011) Para completar y corroborar en las decisiones del potencial integrador de todas energías renovables este proyecto, biomásica, eólica y fotovoltaica. Realiza unas listas de chequeo exclusivas para cada recurso sobre los posibles impactos medioambientales de cada posible proyecto desarrollado de cara al Estudio de Impacto Ambiental que habrá que realizar posteriormente, pues, aunque los impactos de las renovables son mucho menores que los de las convencionales, el criterio ambiental puede ser una condición muy decisiva a nivel local. Así como un análisis económico sobre un horizonte de 10 años para la implantación de las instalaciones situando estas tres tecnologías renovables como económicamente viables en la matriz energética Andaluza.

3.4. Planes Estratégicos en Andalucía

La importancia del estudio de disponibilidad de recursos y de la adecuada localización de las plantas de generación de energía es más que evidente, sin embargo, para la propicia integración de estas energías renovables en un territorio es necesario que las comunidades o regiones desarrollen un marco político, económico y social propicio con respecto al sistema energético regional para alentar el desarrollo de estas. La alta dependencia energética de combustibles fósiles que tiene Andalucía, el precio de la energía y su impacto económico en todos los sectores, además de la necesaria concienciación ciudadana respecto a la importancia de un uso racional y eficiente de la energía, son factores que hacen imprescindible el establecimiento de una política energética que propicie una estrategia a medio/largo plazo consensuada con todos los agentes involucrados.

La comunidad Andaluza lleva desarrollando planes y actividades de planificación para conseguir una transición energética a favor de las energías renovables y del ahorro y eficiencia energética desde 1995, como es el Plan Energética de Andalucía 1995-2000, al que siguió el Plan Energético para Andalucía 2003-2006 y el Plan Andaluz de Sostenibilidad Energética 2007-2013 (PASENER). Asimismo se han implantado instrumentos económicos para la motivación de la implantación y desarrollo de las energías renovables como la Ley 2/2007, de 27 de marzo, de Fomento de las Energías Renovables y del Ahorro y Eficiencia Energética de Andalucía.

Estas estrategias se han fundamentado además en la ejecución de programas de acción para conseguir una serie de objetivos fijados en un tiempo determinado. Estos objetivos se han ido cumpliendo mayoritariamente, la Estrategia Energética de Andalucía 2020 fijaba la aportación con energías renovables el 25% del consumo final bruto de energía, descarbonizar en un 30% el consumo de energía respecto al valor de 2007 o autoconsumir el 5% de la energía eléctrica generada con fuentes renovables. Este programa ha ido estableciendo las medidas necesarias en cada época, actualmente en las Directrices Energéticas de Andalucía, Horizonte 2030 , se remarca la necesaria concienciación ciudadana respecto a la importancia de un uso racional y eficiente de la energía poniendo como protagonista a la ciudadanía andaluza y ampliándolo a la administración pública, haciendo a las ciudades referentes del buen uso energético mediante la ejecución de actuaciones encaminadas a mejorar y optimizar su gestión energética.

4. PROCEDIMIENTOS EXISTENTES PARA ESTIMAR EL POTENCIAL RENOVABLE DE UNA REGIÓN.

El estudio de los posibles métodos existentes para la estimación de la disponibilidad de recursos energéticos renovables en cualquier región, en este trabajo, se desarrollará haciendo uso del análisis documental de diferentes fuentes bibliográficas, así como, cartográficas y estadísticas o numéricas por su inevitable necesidad en esta área de estudio.

Habiéndose mencionado anteriormente los sistemas de información geográfica, ha de destacarse su gran utilidad en el estudio de la determinación y estimación del potencial energético en cualquier región. Existen trabajos como el de Domínguez J. (2002), en el que se recoge desde una perspectiva tecnológica, ambiental, social y geográfica, el papel que pueden jugar los sistemas de información geográfica en la integración de las energías renovables. Se concluye que la estimación del potencial integrador de una fuente de energía renovable y su desarrollo debe basarse en la estimación de los recursos, la evaluación de la demanda y el desarrollo de planes de integración apropiados que tengan en cuenta las tecnologías disponibles y las restricciones económicas, sociales y ambientales. Todas estas características tienen una componente geográfica por lo que los SIG suponen una herramienta clave en este estudio, gracias a su capacidad de organización y manipulación de grandes cantidades de datos vinculados a una referencia espacial y forma de exponer la información sobre el recurso en el espacio, sirviendo de ayuda a su vez, para la toma eficaz de decisiones de localización de emplazamientos, planificación regional, evaluación de impactos o análisis socioeconómicos.

Lozano D.F. et al. (2020) también demuestran la utilidad de estas herramientas para el estudio de potencial de energía renovable, en este caso, a partir de residuos de cultivos en el país de México construyendo un modelo SIG a partir de superposición de diferentes capas limitadoras y capas posibilitadoras según distintos criterios. Estas capas se aplican a 8 tipos de cultivos con mayor producción en residuos en cuatro diferentes modelos, que se diferencian en la ponderación de pesos de importancia de las condiciones de estudio. Estos modelos ponen en manifiesto la versatilidad de los SIG permitiendo crear distintos mapas de información para la toma de decisiones en cualquier caso de estudio con diferentes condiciones de contorno.

El IDAE (2011) realizó varios estudios en apoyo al plan de energías renovables 2011-2020, entre ellos la evaluación del potencial energético de recursos renovables en España. En este sentido, aplica estas técnicas SIG para la obtención de distintos atlas de potencial energético y disponibilidad de recurso en todo el territorio español, además de realizar un estudio de las diferentes restricciones medioambientales, energéticas o legales que afectan a la utilización de estos recursos.

Este organismo se beneficia de las técnicas de modelización mesoescales y microescalares, capaces de reproducir los patrones de viento a gran escala con un modelo de viento microescalar adecuado a cualquier terreno y topografía. El software MesoMap es el que simula las condiciones atmosféricas de viento, temperatura, presión humedad, energía cinética turbulenta y flujo de calor de 365 días en un periodo de 15 años a partir de diferentes bases de datos de reanálisis, radiosondeo y estaciones de superficie o de datos geofísicos. Estas simulaciones se resumen en este estudio en un modelo numérico que finalmente resulta en el atlas final a partir de diferentes software informáticos que proporcionan SIG como IDRISI (Clark Labs) y ArcMap 9.0 (ESRI). Estos atlas resultantes presentan resultados de velocidad de viento, densidad de potencia y horas de funcionamiento equivalente a distintas alturas. Con ayuda de estos mapas y aplicando una serie de limitaciones técnicas, medioambientales y condiciones de potencia y aprovechamiento energético obtiene el potencial eólico en GW en toda España, además de en cada comunidad autónoma.

Otras varias instituciones proveen de sistemas de información geográfica de consulta pública siguiendo la misma estrategia que IDAE. Es el Centro Nacional de Energías Renovables (CENER) que en su proyecto New European Wind Atlas proporciona un mapa eólico de la península ibérica, tanto como a nivel europeo, proporcionando una herramienta base para el estudio de la disponibilidad y características eólicas.

De diferente manera, Villarubia M. (2013) en su libro Ingeniería de la energía eólica explica como estudiar el potencial eólico a partir de la distribución de Weibull. Esta metodología lo permite con la sencillez de un ajuste de distribución de probabilidad y la construcción de un histograma de frecuencias de velocidades de viento medidos a cierta altura en la región de estudio y a una temperatura determinada, debido a su efecto en la densidad del viento. Flores A. et al. (2017)

construyen este histograma de medidas en estaciones meteorológicas que servirá de base para el ajuste a la distribución teórica de probabilidades de Weibull, cuyos parámetros son comúnmente usados para el estudio de la velocidad promedio del viento y su densidad energética (potencia media anual por unidad de área). Esta metodología se aplica exitosamente al estudio del potencial energético de manera que, conociendo la curva de potencia característica del aerogenerador a utilizar, puede estimarse la potencia media que este o un conjunto de estos pueden entregar.

En cuanto al estudio de la disponibilidad de recurso biomásico el IDAE (2011) abarca este análisis tanto para biomasa ya existente, como para biomasa susceptible de instauración en áreas sin aprovechamiento o con otros aprovechamientos, tanto agrícola como forestal. Considerando las cantidades de biomasa disponible en cada región, determinando sus posibles itinerarios selvícolas, tratamientos a los que será sometida y sus costes, se resumen datos de ton/ha-año y su coste medio €/año en diferentes atlas para todo el territorio español de los distintos tipos de biomasa estudiados. Una vez conocida la producción potencial de residuos en ton/ha-año, Domínguez J. (2003) determina el potencial (MJ/ha-año) y densidad energética de recurso (MJ/ha) en función del poder calorífico inferior (PCI) utilizando los valores medidos con un calorímetro en el Laboratorio de Caracterización de la Biomasa del CIEMAT, multiplicado por el total de residuos de cada especie considerada.

Antolín G. (2006) estudia distintas fuentes de información de disponibilidad de recurso agrícola y forestal. Las declaraciones de la Política Agraria Común (PAC) o los Registros de actividades relacionadas con la biomasa se descartan por falta de datos o de unificación de estos en distintos registros. La falta de precisión es la que hace que la teledetección por imágenes a partir de la base Corine Land Cover se desestime para este fin. Es así que para facilidad de estudio, economicidad y mayor precisión se opta por la consulta de Red de Espacios Naturales Protegidos y la localización de instalaciones existentes de biomasa y residuos urbanos por ser estos “puntos calientes” cercanos a zonas con abundancia biomásica.

Para el funcionamiento de las instalaciones de energía solar fotovoltaica, es imprescindible conocer el valor de la irradiación solar en todo el territorio de estudio. La estimación del recurso solar, al igual que el eólico, puede obtenerse a partir de métodos de interpolación, métodos de tratamientos de imágenes de satélites

estacionarios o, existiendo estaciones meteorológicas en la región de estudio, por métodos de medición directa. En esta etapa inicial para el estudio del potencial energético solar, Hung V. (2011) se fundamenta en bases de datos públicas online como es PV-GIS y SoDa, que muestran información geográfica de irradiación solar obtenida de imágenes satélite Meteosat utilizando el método Heliosat 2. La medición del recurso a partir de métodos directos siempre es lo más deseable, pero puede resultar costoso o puede no haber suficientes estaciones de medida incluso su ausencia en puntos de interés. Es por tanto que se recurre a técnicas de interpolación, Posso F. et al. (2014) recogen en Microsoft Office Excel la posición geográfica de 35 estaciones meteorológicas, así como los datos mensuales de la radiación solar expresados en kWh/m²día que estas proporcionan para la elaboración de una nube de puntos con el programa MapInfo. Llevando a cabo una interpolación que sirve como generador de una estructura numérica, a partir de esta nube de puntos, capaz de representar la distribución espacial de la radiación en la totalidad de la región de estudio, en este caso el país de Venezuela. Ambos estudios utilizan la técnica de interpolación Krigin, la más utilizada para explicar la variabilidad de los elementos del clima, en especial la precipitación y la radiación, estudiando la autocorrelación de la variable a interpolar, con lo que a la hora de mostrar la superficie resultado se tiene en cuenta el grado y el tipo de autocorrelación o dependencia espacial existente en la variable.

La estimación del potencial integrador de una energía en un territorio no solo consiste en la estimación de la disponibilidad de recurso, por contra siempre va acompañada de condiciones favorables o restricciones, que condicionan la posible implantación de una energía aun así de la disponibilidad efectiva del recurso en una región. Santos Preciado J.M (1997) expone cómo aplicar las herramientas de análisis multicriterio/multiobjetivo (AMC) a la resolución de problemas medioambientales y territoriales, justificando además la relación con los sistemas de información geográfica. Se muestra como el uso del paradigma decisional puede ser una perfecta conjunción entre las herramientas SIG y la metodología AMC, de esta manera, las herramientas SIG se encargan del tratamiento masivo y organización de la información geográfica y las herramientas AMC permiten evaluar estos recursos según distintos criterios restrictivos o favorables y resolver problemas de localización. El procedimiento para ello consiste en, después de definir los criterios a evaluar,

asociar un peso de importancia con respecto a nuestro análisis a cada uno de ellos para finalmente asociar el valor correspondiente de cada criterio a una unidad geográfica del mapa elaborado por las herramientas SIG tipo ráster. Gutiérrez J. (2018) aplica esta metodología para la localización óptima de instalaciones solares fotovoltaicas en la isla de Tenerife creando un modelo de impacto con criterios restrictivos a la implantación de instalaciones fotovoltaicas como la hidrología, los distintos usos de suelo o la vulnerabilidad paisajística y un modelo de aptitud con criterios favorables como la baja pendiente, la cantidad de irradiación solar, nubosidad, vías de conexión o conexión con la red. Para alcanzar las localizaciones óptimas se construye un modelo de acogida donde la aptitud sea la máxima al tiempo que se minimicen los valores de impacto, utilizando como herramientas de decisión multicriterio la comparación por pares de Saaty o AHP y la técnica consulta a expertos o método Delphi para la ponderación consensuada de los criterios en cuestión.

Finamente, Quijano R. (2011) desarrolla la Plataforma de Simulación Integrada MODERGIS, la cual construye un modelo de planificación para la integración y potencialidad de las energías renovables en la matriz energética de una nación bajo criterios de desarrollo sostenible y seguridad en el suministro energético. Esta plataforma se desarrolla en tres grandes módulos: ENERGIS, ENERDEM y ENERSOS. El primer módulo, ENERGIS, es el encargado de determinar el potencial y disponibilidad de los recursos energéticos renovables del territorio en cuestión mediante los SIG, siguiendo una metodología similar a las descritas anteriormente, recopilando información de disponibilidad de cada recurso y aplicando restricciones orográficas, físicas o de usos de suelo. Los resultados de potencial renovable servirán de entrada al siguiente módulo, ENERDEM, junto con la oferta energética de la región, para calcular: la demanda que ha de cubrirse con los nuevos recursos energéticos, la composición de la matriz energética y las emisiones de gases de efecto invernadero GEI. De esta manera, el último es el módulo de energía sostenible y decisión, ENERSOS, donde se analizan los criterios y alternativas energéticas renovables jerarquizando de la mejor a la más desfavorable y combinan las mejores alternativas con las herramientas de análisis multicriterio de decisión AMCD, concretamente la herramienta multiatributo/multiobjetivo VIKOR. Este módulo permite evaluar el conjunto de alternativas con base a criterios ajustados a cada caso en particular, seleccionando la mejor alternativa en base a criterios de calidad y eficiencia como

optimización del uso del terreno, productividad, emisiones. Finalmente este resultado vuelve a pasar por el sistema ENERDEM para reconstruir la matriz energética de la región y recalcular si la nueva oferta cubre la demanda, arrojando como resultado un modelo ajustado al usuario y enfocado a la sostenibilidad y eficiencia energética.

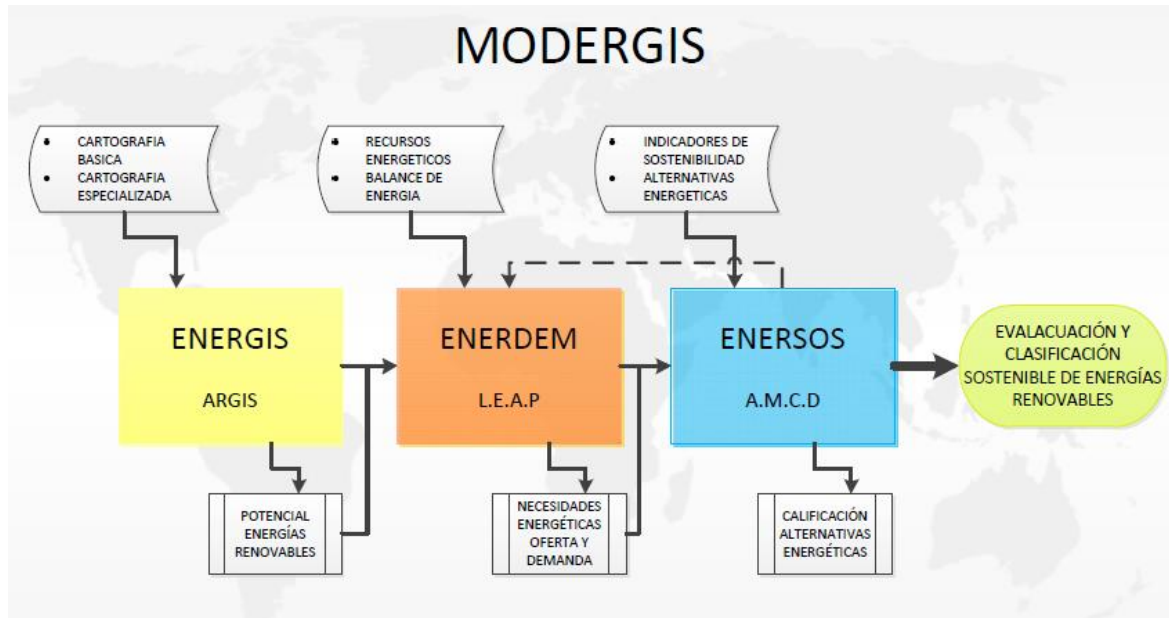


Ilustración 4.1. Diagrama de flujo de MODERGIS. Fuente: Quijano R. (2011)

Se puede concluir, tras analizar los factores determinantes para la integración de las energías renovables que se han abordado en este estudio, que existe una gran dependencia entre el potencial de integración de una planta renovable y de la situación del recurso, con las características, restricciones y legislaciones del territorio. Es inevitable también la inicial y precisa recaudación de información espacial necesaria y de disponibilidad de recurso para el estudio del potencial energético de cualquier energía; pudiendo ser una opción la obtención de esta mediante diferentes fuentes de información públicas o Centros de Investigación. De esta manera, se quiere destacar a nivel andaluz el Instituto de Estadística de Andalucía (IEA), concretamente la variable "Superficie de explotaciones agrarias según su aprovechamiento" expresada en hectáreas dónde se recoge la información de las zonas con explotaciones agrarias en el territorio andaluz. El Centro de Investigaciones Energéticas, Medioambientales y Tecnológicas (CIEMAT) desarrolla, a través de su Departamento de Energías Renovables, numerosos proyectos encaminados a mejorar la competitividad general de las ER en el sistema energético; del mismo modo el Centro Tecnológico Avanzado de Energías Renovables (CTAER) ubica su área de trabajo solar con ensayos en el

desierto de Almería, en Tabernas; su área eólica, en la fachada atlántica andaluza; y su área de biomasa, en el alto Guadalquivir, en el municipio jiennense de Mengíbar, dentro del Parque Científico-Tecnológico del Aceite y del Olivar (GEOLIT). Así como, distintas universidades de Andalucía se involucran en la tarea de la investigación para el desarrollo de las energías limpias, siendo la universidad de Jaén la que cuenta con una estación meteorológica en el tejado de la Escuela Politécnica del Campus Las Lagunillas, la cual proporciona datos de temperatura, precipitación, viento y radiación solar en la provincia a tiempo real y registrados desde julio de 2005.

Por último, los sistemas de información geográfica (SIG) se enmarcan como el software estrella para la base y desarrollo del estudio, facilitando la organización de información masiva referenciada geográficamente y la claridad visual de resultados a partir de mapas o atlas temáticos. El uso de las técnicas AMC en estudios geográficos-ambientales muestran resultados fiables, permitiendo la estructuración y valoración de la información según criterios tanto cuantitativos como cualitativos, que permitirán tener en consideración variables socioeconómicas, ambientales o culturales que ejercen una gran influencia en el potencial bruto de integración. Es por ello que la integración de las técnicas AMC en los sistemas SIG se consideran la opción óptima para el estudio de potencial de integración neto de las energías renovables de una región.



5. BARRERAS EN EL POTENCIAL BRUTO DE INTEGRACIÓN DE RENOVABLES EN UN ENTORNO DETERMINADO


La estimación del potencial bruto de cualquier recurso determina la disponibilidad en megavatios distribuidos por la región, sin embargo, existen variables que influyen negativamente en el potencial de integración de las energías renovables, que por ende, actúan como techos de potencia delimitando los megavatios realmente aprovechables. En este capítulo se van a identificar estas variables que pueden influir negativamente en el potencial bruto de integración de renovables en cualquier territorio incluso incompatibilizar la implantación de una planta renovable totalmente en áreas determinadas.


Las barreras que fijan el potencial aprovechable son de distinta índole y pueden clasificarse en: culturales, socioeconómicas, medioambientales y tecnológicas y orográficas. Además, son variables de un territorio a otro, es por ello, que se recogen generalmente las distintas barreras que afectan negativamente en el potencial bruto de integración de renovables en un entorno determinado.


La siguiente tabla reúne todas las posibles barreras que determinan el potencial neto de integración de las energías renovables de una región. La información recogida en ella es consecuencia de la revisión bibliográfica del capítulo 4 de este proyecto y se complementa con la consulta del trabajo de fin de carrera, Romero I.E. et al (2020):

Tabla 5.1. Barreras que influyen negativamente en el potencial bruto de integración de renovables.
Fuente: Elaboración propia en base a revisión bibliográfica Capítulo 4 y Romero I.E. et al (2020):

TIPO	BARRERA	DESCRIPCIÓN
CULTURALES 	Analfabetismo energético	Desconocimiento de la población sobre el potencial de las energías renovables y su posible aplicación
	Falta de información sobre los beneficios de las EERR	Falta de información sobre los beneficios ambientales y económicos de las EERR
	Oposición local al desarrollo de proyectos de EERR	Rechazo y desconfianza al cambio de las energías convencionales, falta de aceptación social y del consumidor final
	Falta de conciencia ambiental	Despreocupación de la sociedad por el desarrollo sostenible
	Patrimonio	Presencia de patrimonio protegido por la UNESCO o de interés arqueológico o cultural
SOCIOECONÓMICAS 	Financiación e incentivos	Difícil acceso a financiación para proyectos de EERR, pocos incentivos y bajo retorno económico ofrecido por las compañías eléctricas a los productores independientes
	Inversiones iniciales elevadas	Los proyectos de EERR tienen costos relativamente mayores en inversión debido, por ejemplo, a la gran ocupación territorio, poca experiencia o evaluaciones de impacto ambiental complejas
	Precio de la energía	Competitividad con las convencionales, falta de inclusión de externalidades socioambientales en el precio de la energía convencional pues estas no consideran los costes asociados a las emisiones contaminantes
	Ausencia de inversores y actores clave	Falta de agentes involucrados en el apoyo económico a las EERR
	Largo periodo de amortización	Periodo para obtener beneficios de un proyecto de EERR es largo e inseguro

TIPO	BARRERA	DESCRIPCIÓN
	Falta de industria relacionada con las EERR	La falta de industria relacionada hace incrementar el costo de los proyectos, por ejemplo, por la falta de industria manufacturera cercana de componentes necesarios. Además, el mantenimiento del patrón del tipo de industria en una zona, si se continua el modelo de asentamientos la implantación de la actividad resulta más económica
	Inviabilidad de grandes plantas	Puede ser factible la integración de una pequeña planta pero puede no ser rentable, lo que genera mentalidad de megaproyectos frente a proyectos de pequeña escala
	Nivel de desarrollo socioeconómico de la población	El nivel de desarrollo económico de la población puede favorecer o desfavorecer la integración de las EERR a la matriz de generación de una nación
	Coste conexión a la red	Costes que las empresas eléctricas cobran a los productores por varios tipos de conceptos, uno inicial en referencia al coste del estudio de conexión, y otros que se relacionan con las modificaciones necesarias para poder evacuar energía a la red, y sobre todo en el caso de falta de capacidad de la red existente.
	Costes legales y administrativos	Tasas e impuestos que pueden suponer un coste considerado
	Costes de desarrollo de procesos	Costes como el de logística y transporte de la biomasa
<p>AMBIENTALES</p> 	Vulnerabilidad paisajística	Condiciones estéticas desfavorables con la instalación de plantas de EERR
	Pérdida de biodiversidad	Daño a la vegetación del terreno o impacto negativo sobre las aves por las aspas de los generadores eólicos.
	Contaminación acústica	Los parques eólicos deben situarse a una distancia mínima de las poblaciones por el impacto acústico de los generadores
	Conflicto de uso	Cultivos agrarios que pudieran ser destinados a la biomasa pueden ser

TIPO	BARRERA	DESCRIPCIÓN
		necesarios o rechazados por agricultores para el aprovechamiento alimentario
	Emisiones	Emisiones contaminantes de la combustión biomasa
	Fabricación de componentes	Necesidad en las placas fotovoltaicas de materiales costosos de producir (silicio) y tóxicos (cadmio y plomo, entre otros).
<p>POLÍTICAS Y REGULATORIAS</p> 	Falta de apoyo gubernamental	Necesidad de un fortalecimiento institucional hacia la promoción y uso EERR
	Marcos legales poco favorables	El cumplimiento de algunas Restricciones legales y reglamentarias puede suponer un reto y variará según la nación en la que se genere la energía
	Legislación dispersa	La legislación en el ámbito de las EERR se encuentra en vías de desarrollo por lo que se necesita una política estable, definida y estandarizada
	Restricciones urbanísticas de suelo y distancias	Existen legislaciones que califican algunos tipos de suelos como totalmente incompatibles con la implantación de centrales de generación eléctrica como espacios naturales protegidos o vías pecuarias. También se exigen distancias de seguridad y eficiencia como para la energía eólica estableciendo distancia a bosques (eficiencia) o a poblaciones (seguridad)
	Procedimientos administrativos	Largos y numerosos procesos administrativos que pueden generar retrasos, incertidumbre y notable incremento de costes. Pueden ser, entre ellos la solicitud de licencia de obras o existencia de un registro de preasignación de retribución en algunas naciones que puede suponer unos importantes desembolsos previos sin saber si dicha instalación se podrá llegar a realizar

TIPO	BARRERA	DESCRIPCIÓN
	Techos de generación	Límites de potencia de generación eléctrica renovable (en MW) establecidos por la regulación del país
<p>TECNOLÓGICAS Y OROGRÁFICAS</p> 	Disponibilidad distribución del recurso	Ausencia del recurso renovable en la región, dependencia meteorológica y variabilidad de su disponibilidad, además, puede estar disponible pero distribuido por todo el territorio pero en pequeñas cantidades
	Falta de metodología	No existe una metodología concreta y estandarizada para medir el potencial de los recursos renovables y medir sus beneficios
	Limitada capacidad técnica	Falta de formación experta, ingenieros, técnicos y operarios en el ámbito de las EERR
	Inaccesibilidad	Inaccesibilidad a áreas del recurso y a las infraestructuras de generación de EERR
	Pendiente del terreno	Si la pendiente del terreno es muy elevada puede imposibilitar la instalación de la estructura necesaria o dificultar la recolecta del recurso, como es el caso de la biomasa
	Red eléctrica	El punto de vertido a la red eléctrica puede encontrarse lejos de la localización idónea de la planta, puede encontrarse saturada o pueden surgir problemas de negociación con las empresas distribuidoras
	Generación distribuida	Tendencia a apostar por la generación distribuida, es decir, situar el punto de generación cerca del punto donde se consume
	Hidrología, geología y litología	Puede imposibilitar la instalación de la planta y la expansión de red eléctrica
	I+D+i	Falta en investigación y desarrollo

TIPO	BARRERA	DESCRIPCIÓN
	Rapidez de respuesta frente a las energías convencionales	Rapidez para suplir la demanda con convencionales, facilidad de adaptarse a los vaivenes de demanda
	Problema de almacenamiento de energía	Continua investigación en cómo almacenar las EERR de forma sostenible, fácil y económica
	Bajo factor de planta	Indicador de utilización de capacidad de la planta, cociente entre la energía real generada por la central eléctrica durante un período (generalmente anual) y la energía generada si hubiera trabajado a plena carga durante ese mismo período

6. PROPUESTA DE METODOLOGÍA DE ESTIMACIÓN DEL POTENCIAL NETO DE INTEGRACIÓN EN UNA REGIÓN

La estimación del potencial de cualquier energía renovable es un proceso indefinido, en el que pocos autores confluyen en una metodología concreta y estandarizada. El conocimiento concreto del potencial medible de un recurso favorece y alienta la inserción de la generación renovable en la matriz energética de una región, es por ello, que se presenta una propuesta metodológica para estimar el potencial neto disponible del recurso biomásico, eólico y fotovoltaico; siendo aplicable en cualquier región y con el propósito de incentivar la integración estas energías renovables.

El objetivo de esta metodología es medir la cantidad de recurso aprovechable en cualquier región, no solo en el marco de disponibilidad de recurso, si no también incluyendo escenarios en los que se valoren las posibles variables culturales, socioeconómicas y medioambientales que pueden influir en este proceso.

La metodología propuesta basada en la pormenorizada revisión bibliográfica realizada en los anteriores capítulos se constituirá de 4 grandes fases. Las dos primeras fases se ambientarán principalmente en el entorno SIG; en la primera se procederá a la recogida de información sobre la región de estudio y en la segunda, a la elección de la metodología para la estimación de la disponibilidad de recurso o potencial teórico. Las dos últimas fases darán fruto a modelos SIG con resultados de potencial energético bruto y potencial neto de integración o modelo de aptitud, apoyándose esta última fase, en las técnicas de evaluación multicriterio AMC. Se presenta a continuación el esquema general de esta metodología propuesta:

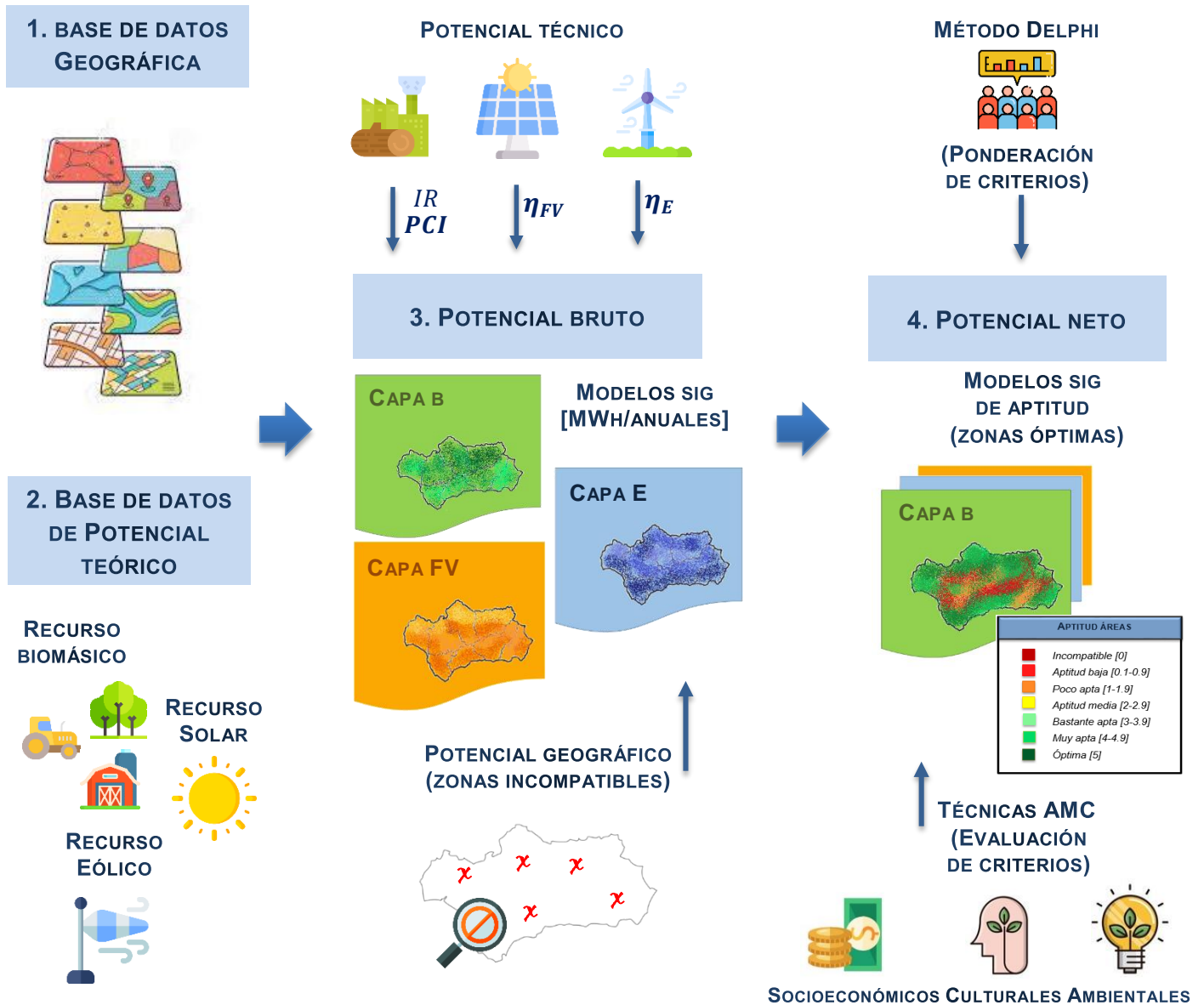


Gráfico 6.1. Esquema general metodología propuesta

6.1. Elaboración de la base de datos geográfica en el entorno SIG

La metodología desarrollada tendrá uno de sus pilares en el uso de los sistemas de información geográfica, por lo que, en primer lugar, ha de conocerse el entorno SIG. En esta primera fase, estas herramientas serán de utilidad para el almacenaje y organización de la información, permitiendo que toda ella este georreferenciada y, en fases siguientes, facilitarán su manipulación y presentación de resultados.

Los sistemas de información geográfica no son sino programas o conjuntos de programas informáticos diseñados para trabajar con una gran cantidad de información georreferenciada, mediante coordenadas espaciales o geográficas. Existe una gran variedad software SIG de libre acceso como *GRASS GIS*, *QGIS* o *gvGIS* u otros que facilitan periodos de prueba gratuitos como *ArcGIS*.

El estudio simultáneo de los aspectos temático y espacial de la información geográfica permite un análisis más complejo de las estructuras espaciales. Por esta razón, el primer paso a realizar para el estudio del potencial de integración de cualquier energía renovable es la elaboración de la base de datos geográfica necesaria y específica de cada región en la que se apoyará el estudio. Esta base se formará con distintas capas de información que incluirán características del territorio de estudio que pueden obtenerse de organismos públicos y estatales o páginas web de descarga gratuita.

Se recogen a continuación las distintas bases de datos que han de recopilarse para el territorio de estudio:

BASE DE DATOS GEOGRÁFICA

- ✓ Modelo digital de elevaciones (MDE).
- ✓ Hidrografía: ejes de los cauces de la red hidrográfica y masas de agua.
- ✓ Usos de suelo.
- ✓ Límites administrativos de CCAA, provincias y municipios.
- ✓ Infraestructuras de transporte.

La gran mayoría se encuentran disponibles en los institutos nacionales de cartografía, geografía y estadística de cada país o región como los modelos digitales del terreno o los límites administrativos de las distintas provincias. La base de datos *CORINE Land Cover* es útil a nivel europeo, pues recoge la cobertura y uso de todo el territorio a escala 1:100.000 mediante la interpretación a través de imágenes recogidas por la serie de satélites *LandSat* y *SPOT*.

Para la integración de esta base de datos en el entorno SIG ha de conocerse que la información en este software se estructura en dos tipos de modelos de datos genéricos: el vectorial y el ráster. El primero de estos se caracteriza por estar

representado por puntos, líneas y polígonos, por lo que es conveniente para describir elementos discretos con formas o límites definidos, como podría ser las líneas de redes de distribución, en cambio, el modelo ráster caracteriza la información en forma de celdas o píxeles que constituyen una unidad mínima de información, formando una retícula regular que utilizaremos entonces para la mayoría de la información geográfica en el procedimiento. Se concluye entonces que cada capa de información formato ráster será una retícula cuadrada sobre el área de estudio, con objeto de recoger la información de las variables ambientales que van a servir para la elaboración del mapa de aptitud territorial. La resolución de las celdillas vendrá determinada por la resolución en la que se proporcionen los datos en la fuente.

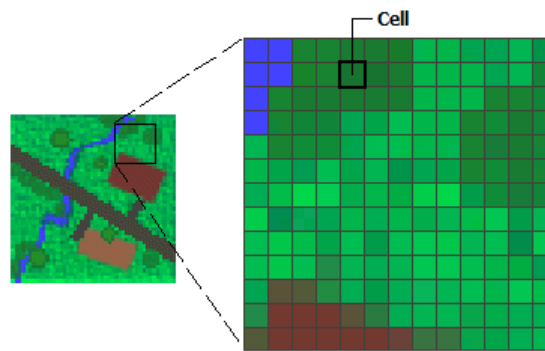


Ilustración 6.1. Representación en formato ráster. Fuente: Documentación ArcGIS.

6.2. Potencial teórico

El potencial teórico se refiere a como se distribuye el recurso en la región de estudio sin ninguna limitación que no sea meteorológica o natural. Esta disponibilidad de recurso será otra base de datos que habrá de realizarse para cada energía renovable que abarque el estudio, en el caso de este trabajo, se estudiarán el recurso biomásico, eólico y solar fotovoltaico. Este potencial se recogerá en tres diferentes capas o modelos SIG, sobre las que se irán descartando áreas según distintas características que proporcionan los datos cartográficos y condiciones que se impondrán en pasos posteriores. También se escogerá el formato ráster para la representación de este potencial, de manera que se debe decidir la resolución de las celdillas o píxeles de la malla, pues incide, directamente, en la precisión del análisis. Si la malla es de tamaño reducido, necesitaremos mayor número de celdas para cubrir la zona a estudiar, con lo que será más laboriosa la investigación pero se conseguiría una mayor precisión. Lo contrario ocurriría con una retícula de mayor tamaño.

Se conoce que el recurso renovable se encuentra distribuido en un territorio supeditado a las condiciones meteorológicas, como el recurso solar y eólico, lo que lo hace muy variable, o distribuido de manera muy dispersa en toda la región de estudio como ocurre con la biomasa. A continuación se dictan los métodos recomendados para recoger la disponibilidad de recurso a lo largo de cualquier territorio para cada energía:

6.2.1. Recurso biomásico

El recurso biomásico es un material orgánico que puede tener origen en varias procedencias, por lo que han de conocerse cuales son:

- Biomasa forestal: fracción biodegradable de los productos, subproductos y residuos procedentes de la selvicultura aplicada a la vegetación que cubre los terrenos forestales como ramas, raperones o incluso arboles enteros.
- Biomasa agrícola:
 - Residuos:
 - Agrícolas: restos de aprovechamientos agrícolas leñosos como los generados en la poda de olivares o frutales o restos de herbáceos como pajas de cereal y cañote de maíz.
 - Ganaderos: residuos biodegradables como el estiércol, purines, aguas residuales y animales muertos.
 - Agroindustrial: subproductos de la producción industrial de productos agroalimentarios como la cascara de arroz, orujo y orujillo de aceituna.
 - Cultivos energéticos: agricultura de bajo costo y bajo mantenimiento cultivado únicamente para su aprovechamiento energético.
- Otros: residuos de papel y cartón, restos de comida animal, lodos, pellets...

Entonces, para el estudio de su potencial en cualquier territorio, en primer lugar, se han de seleccionar las principales fuentes de biomasa a considerar dentro de los tipos mencionados, basando esta selección en la amplitud de su distribución y cantidad de materia biomásica presente en la región. Distintas naciones tendrán una

distribución de biomasa diferente, aunque generalmente, abundará la biomasa agrícola en la gran mayoría, diferenciando siempre las especies de cultivos de cada región. De este modo, esta metodología se basará en los residuos agrícolas por ser estos los más ampliamente usados para la producción de biomasa energética.

La información necesaria suele proporcionarse en unidades de terreno (m^2) ocupadas por cada tipo de cultivo o en cantidad de kg de producto cultivado/ha·año y puede reunirse en diversas bases de datos de organizaciones gubernamentales que regulen la agricultura del país. Estas pueden ser la Base de datos del *Inventario Forestal Nacional 3* en España, que cuantifica los recursos forestales disponibles en la nación; el *Sistema de Información Geográfica de Identificación de Parcelas Agrícolas* (SIGPAC), base identificativa de soporte gráfico del terreno, de las parcelas catastrales y recintos con usos o aprovechamientos agrarios definidos; el *Sistema Integrado de Gestión Ganadera* (SIGGAN) que identifica la ubicación geográfica de las explotaciones ganaderas, la orientación de cada explotación (leche o carne) y el número de cabezas de ganado existentes en las mismas.

6.2.2. Recurso eólico

La magnitud necesaria para la evaluación del potencial eólico es la velocidad que alcanza el viento (m/s) y la densidad del aire (kg/m^3) en toda la región. Estas magnitudes han de medirse a una determinada altura, pues los generadores usualmente se instalan a alturas que van desde los 25 metros hasta más de 100 metros, por lo que la velocidad del viento deberá ser recogida a una altura mínima de 80 metros. Además, otro factor a considerar es la velocidad mínima (cut-out speed) a la que es factible y suficiente el funcionamiento de un generador, soliendo empezar esta en unos 4 m/s dependiendo del aerogenerador a instalar.

Conociendo estas premisas se procede a registrar estas magnitudes en el territorio de estudio. Esta es una tarea muy compleja por numerosos factores como se ha citado en capítulos anteriores. La medición de las características del viento de la zona mediante estaciones meteorológicas capaces de medir el viento a la altura necesaria para un aerogenerador, generalmente a más de 80 m, son tremendamente costosas y únicamente se usan en estudios previos de viabilidad para la instalación de parques eólicos, donde se invierten ingentes cantidades de dinero y siempre se

reserva una partida económica para la medida del recurso in-situ durante uno o dos años. Para estudios como el que aquí nos concierne, por tanto, es necesario estimar el recurso mediante algún método alternativo.

En esta propuesta metodológica se recomienda el uso de recursos disponibles de descarga de bases de datos elaborados por organizaciones homologadas; facilitándonos así un estudio y recogida de las características del viento sin necesidad de simulaciones que necesitan de sofisticados equipos, tiempo y personal cualificado o mediciones in situ, con un bajo índice de incertidumbre; siendo estas características suficientes para un primer estudio general de las características del viento en una región.

El *Global Wind Atlas*¹ es un mapa mundial que proporciona características de viento como su velocidad y densidad para descarga gratuita. Los datos están obtenidos a partir de simulaciones de series temporales de 10 años jugando con datos a mesoescala y microescala de resoluciones de 3 km y 250 m respectivamente. La información se muestra para alturas de 10, 50, 100, 150 y 200 metros sobre el nivel del mar.

6.2.3. Recurso solar fotovoltaico

El recurso solar depende de la radiación global que alcance a la superficie de los captadores fotovoltaicos que se vayan a instalar en la región. En tal caso, se ha de recoger la distribución de la radiación global horizontal (W/m^2), siendo esta la radiación que un metro cuadrado de una superficie horizontal recibe, abarcando la suma de la radiación directa que proviene del Sol y de la radiación dispersa o difusa sufrida a su paso por la atmósfera.

Al igual que ocurre con el recurso eólico, el análisis de disponibilidad de recurso solar puede realizarse por mediciones en estaciones meteorológicas y simulaciones. Como también puede recurrirse a la descarga de datos en formato ráster para sistemas GIS en recursos web como *SOLARGIS*², en el cual se representa el promedio a largo plazo de la suma anual / diaria de la irradiación horizontal global a nivel mundial (kWh/m^2). Esta base de datos de recurso solar se calcula mediante el

¹ **Global Wind Atlas:** <https://globalwindatlas.info/>

² **SOLARGIS:** <https://solargis.com/es/maps-and-gis->

modelo *Solargis* a partir de datos atmosféricos y satelitales con un intervalo de tiempo de 10, 15 o 30 minutos (según la región) consiguiéndose una incertidumbre estimada que varían, según el territorio, aproximadamente entre el 3% a 10%, niveles de error aceptables para el propósito de este primer estudio general del potencial en una región. También existe la plataforma *PVGIS*³ a nivel europeo recoge datos de radiación solar, con 560 estaciones, promediados a largo plazo para cada mes y para el año, basados en datos con resolución horaria de satélite.

Si bien se ha recurrido a la descarga de base de datos para la disponibilidad de recurso solar y eólico, existe la posibilidad de utilizar la simulación y predicción del recurso mediante programas de simulación numérica o con el propio módulo *Spatial Analyst*⁴ que proporcionan varios software SIG como ArcGIS. Esto sería recomendable para un estudio más concreto y preciso de una región más limitada, pues el proceso de simulación puede ser muy largo si no se dispone del equipo capacitado para realizarlo. Este módulo *Spatial Analyst* cuenta con la herramienta de análisis de radiación solar, *Area Solar Radiation*, que calcula la insolación en un paisaje asumiendo condiciones de cielo claro y basada en métodos de algoritmo teóricos de cuenca visual hemisférica. Así utiliza un MDE, la fracción de radiación difusa y la transmitancia atmosférica, como datos de entrada, para calcular las componentes directa, difusa y la radiación total. El ráster de salida representa la radiación global o la cantidad total de insolación solar entrante (directa + difusa) en unidades de vatios hora por metro cuadrado (Wh/m²).

6.3. Estimación del potencial energético bruto

El recurso energético que se ha obtenido distribuido en la región de estudio no es totalmente aprovechable; existen una serie de impedimentos técnicos (potencial técnico) y limitaciones geográficas y legales (potencial geográfico) que restringen completamente el aprovechamiento del recurso renovable. El resultado de evaluar esto dos potenciales dará resultado a modelos SIG de potencial bruto.

³ **PVGIS:** <https://ec.europa.eu/jrc/en/PVGIS/downloads/data>

⁴ **Descripción de la herramienta para la simulación de radiación solar en un territorio por arcGIS:** <https://pro.arcgis.com/es/pro-app/latest/tool-reference/spatial-analyst/area-solar-radiation.htm>

6.3.1. Potencial técnico

Para poder hablar de potencial técnico se debe de transformar el potencial teórico en unidades de energía, en el caso de la cantidad de biomasa y las características del viento, además de considerar los rendimientos de los dispositivos captadores de los recursos renovables y características de generación de energía eléctrica de estos. Consecutivamente, se obtendrán tres mapas de modelos SIG (en adelante, capa B correspondiendo al recurso biomásico, Capa FV correspondiendo al recurso fotovoltaico y Capa E correspondiendo al recurso eólico) en el que cada uno representará las unidades anuales de energía generadas de cada recurso.

6.3.1.1. Potencial técnico biomásico

La estimación del potencial técnico para la biomasa en kWh/año distribuido por la región de estudio procedente del sector agrícola necesitará de dos etapas en la que se considerarán los siguientes parámetros:

- *Coeficientes para la estimación de la biomasa residual (IR):* coeficientes de producción de residuos en el caso de los cultivos agrícolas cultivo que proporcionan la cantidad de biomasa residual obtenida en función del rendimiento productivo del cultivo o de su superficie.
- *Poder calorífico inferior (PCI)* para cada tipo de biomasa residual para la estimación del potencial energético.

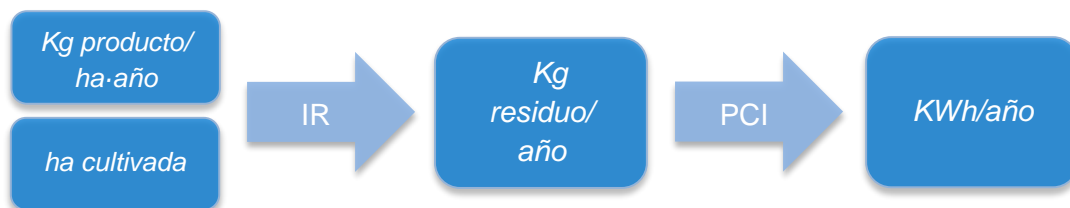


Gráfico 6.2. Procedimiento de cálculo para el potencial técnico biomásico. Elaboración propia.

6.3.1.1.1. Coeficiente de biomasa residual

Una vez obtenidos los datos de los distintos cultivos (kg producto/ha-año o hectáreas cultivadas), el potencial de biomasa residual asociado a cada píxel de la malla considerada de estudio, se estima utilizando un índice de producción de residuo específico de cada cultivo. El índice de residuo (IR) relaciona la producción de residuos con el rendimiento productivo del cultivo (kg de residuo / kg de producto) o

con la superficie (kg de residuo/ha·año). La biomasa residual asignada a cada píxel del futuro mapa generado por el SIG se calcula mediante una de las siguientes expresiones según se utilice un IR basado en el rendimiento [1] o en la superficie [2]:

$$Biomasa\ residual\left(\frac{kg\ residuo}{año}\right) = S \times PT \times IR_1 \quad [1]$$

$$Biomasa\ residual\left(\frac{kg\ residuo}{año}\right) = S \times IR_2 \quad [2]$$

Siendo:

S : Superficie asignada al píxel de un cultivo determinado (ha)

PT : Potencial teórico $\left(\frac{kg\ producto}{ha \cdot año}\right)$

IR_1 : Índice de residuo de cada cultivo según rendimiento $\left(\frac{kg\ residuo}{kg\ producto}\right)$

IR_2 : Índice de residuo de cada cultivo según superficie $\left(\frac{kg}{ha \cdot año}\right)$

Pueden consultarse en el Anexo I de este trabajo los índices de residuos de los cultivos más comunes utilizados para la producción de biomasa.

6.3.1.1.2. Conversión energética

Consecuentemente, la energía generada en cada píxel (kWh/año) se calcula aplicando el poder calorífico inferior según el tipo de residuo y en función de su contenido en humedad. La humedad a la que se expresa el poder calorífico es la que contiene la biomasa producida según el índice de residuo considerado. El PCI se asigna a cada píxel en función del cultivo en kJ/kg de residuo.

$$Potencial\ biomasico\left(\frac{kWh}{año}\right) = Biomasa\ residual \times PCI \times \frac{1}{3600} \quad [3]$$

Siendo:

PCI : Poder calorífico inferior $\left(\frac{kJ}{kg}\right)$

$\frac{1}{3600}$: Conversión de unidades $\left(\frac{kWh}{kJ}\right)$

Pueden consultarse en el Anexo II de este trabajo valores PCI de cultivos más comunes utilizados para la producción de biomasa.

6.3.1.2. Potencial técnico eólico

La evaluación de la potencia eólica distribuida por el territorio se basará en la teoría de Betz (*Peragón F. et al (s.f.)*); una teoría elemental que parte de las ecuaciones de conservación de la masa, energía (Bernouilli en este caso) y de la cantidad de movimiento, deduciéndose así la máxima energía que se puede extraer de una corriente de aire por un aerogenerador. Desarrollando estas ecuaciones y a partir de la energía cinética del viento, considerando pérdidas mecánicas y eléctricas (η_T), se llega a la siguiente expresión que ofrece la potencia instantánea que se puede extraer de una aeroturbina:

$$\text{Potencial eólico (W)} = \frac{1}{2} \cdot \eta_T \cdot \rho_{air} \cdot A \cdot U^3 \quad [4]$$

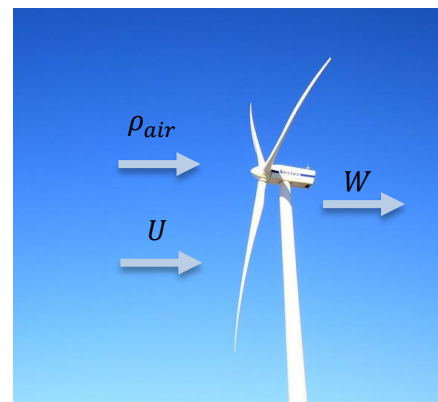
Siendo:

η_T : Rendimiento total ($C_p \cdot \eta_e$)

ρ_{air} : Densidad del aire ($\frac{kg}{m^3}$)

A : Área de barrido de los alabes del rotor (m^2)

U : Velocidad media anual del viento ($\frac{m}{s}$)



El rendimiento total incluye el coeficiente de potencia (C_p) el cual establece la máxima potencia mecánica extraíble de una corriente de aire con un aerogenerador y alcanza su máximo valor en 0.59; además de incluir el rendimiento eléctrico el cual dará cuenta de las pérdidas en la conversión eléctrica.

Es de considerar que esta ecuación entrega la potencia en cada punto, pero, conocido el aerogenerador a instalar y suponiendo turbinas que ocupan una superficie horizontal cuadrada de lado 7 veces el diámetro del rotor; el potencial eólico en cada punto debe ser dividido por este factor obteniendo vatios anuales por unidad de superficie. Además, con la ecuación [4] consideramos velocidad media anual, al contrario de suma media anual, de esta manera, como se ha comentado, nos ofrece potencia en un instante por lo que el resultado energético para este recurso no será la suma anual de potencia que se puede generar, si no los MW disponibles a instalar en el territorio andaluz.

6.3.1.3. Potencial técnico solar fotovoltaico

Considerando que, generalmente, en una planta fotovoltaica se instalan 1 MW por cada 2 ha el potencial técnico se obtendrá a partir de factor Horas Solares Pico (HSP) el cual relaciona la irradiancia que llega al panel fotovoltaico (G) con la irradiancia estándar ($G_{estandar} = 1000 \text{ W/m}^2$). El factor HSP es comúnmente utilizado para obtener la producción de un panel solar FV, pues la potencia nominal de un panel FV proporcionada por el fabricante será la medida en condiciones estándar (1000 W/m^2 de irradiancia estándar, 25°C de temperatura y espectro solar AM 1.5). Con lo cual, este factor proporciona las horas al año que la instalación entrega su potencia nominal, calculado de la siguiente manera:

$$HSP (h) = \frac{G}{G_{estandar}} \quad [5]$$

El potencial técnico en la región de estudio se evalúa multiplicando la potencia nominal de la planta considerada por el factor HSP dando lugar a la potencia anual que entregará este sistema:

$$Potencial\ solar \left(\frac{MWh}{ha \cdot año} \right) = HSP \cdot \frac{1(MW)}{2 (ha)} \cdot \eta_{FV} \quad [6]$$

Siendo:

HSP : Hora solar pico

η_{FV} : Factor de rendimiento de la instalación y pérdidas 75% (valor típico)

6.3.2. Potencial geográfico

Como se ha visto en el capítulo 5 existen una serie de restricciones que influyen negativamente en el potencial teórico y en la integración territorial de las distintas plantas de generación eléctrica, incluso que excluyen la posibilidad de acometer una actuación, de manera absoluta. Todas estas variables se han recogido en el capítulo 5 de este trabajo pero, es en esta fase se clasificarán las variables que incompatibilizan la explotación del recurso, es decir, las áreas del territorio donde resulta imposible establecer la actividad programada.

Estas variables limitantes surgen por normativas territoriales, limitaciones técnicas o situaciones orográficas incompatibles. Son las siguientes:

RESTRICCIÓN	DEFINICIÓN
Suelos urbanizados	Núcleos de población, edificaciones rurales y equipamientos de uso público
Vías de comunicación	Carreteras, caminos y vías ferroviarias
Hidrología y geología	Imposibilidad en humedales o por protección del Convenio Ramsar o protecciones de la litología de suelo
Pendiente del terreno	Eólica < 50% por prevención de riesgos o dificultad de instalación (<i>Gobierno de Navarra, 2017</i>)
	Fotovoltaica < 25% por prevención de riesgos y facilidad de movimiento de tierras (<i>Comunidad Valenciana, Decreto Ley 14/2020, 2018</i>)
	Biomasa < 20% por terreno no mecanizable y por eficiencia de recogida de residuo (<i>De la Paz-Blanco, C., 2012</i>)

Tabla 6.1. Zonas incompatibles con la explotación renovable. Fuente: Elaboración propia.

Las zonas incluidas en la tabla superior serán consideradas como áreas totalmente incompatibles para la implantación de centrales eólicas, fotovoltaicas y de tratamiento o recolección de biomasa. Asimismo, al área ocupada de cada zona anterior deberá añadirse como zona restringida además, una mínima distancia que establece la legislación actual de la región o localidad de estudio. La fijación de estas distancias puede deberse a principios de precaución que pretenden reaccionar rápidamente ante un posible peligro para la salud humana, animal o vegetal, o para proteger el medio ambiente.

Si bien la pendiente no es un criterio totalmente restrictivo, ni existe alguna legislación común para este criterio, se ha considerado como variable limitante por la gran mayoría de autores que la consideran así; además de por la influencia que ejerce sobre la instalación de cimentaciones o estructuración de una planta y por el decremento que supone en la eficiencia de extracción de residuo biomásico (descendiendo esta hasta a un 70%). Se fija para cada tipo de recurso renovable de estudio una pendiente máxima recomendada, dependiendo de cómo afecta esta variable a cada uno de ellos y justificada con otros proyectos o legislaciones tomadas en comunidades españolas.

La obtención de las pendientes menores al límite establecido se obtendrán mediante la herramienta de **Án**álisis Ráster, **R**eclasificación por **T**abla, dando valores 0 a las pendientes mayores al límite y valor 1 a las pendiente mejores al límite. Estos valores se deben a que las restricciones son criterios que excluyen de forma definitiva alguna opción, de manera que todas ellas, al igual que con lo referido a las pendientes, se generaran mediante capas ráster en la que los píxeles tendrán solo valores de 0 (existe restricción) y 1 (no existe restricción). A la hora de evaluar el potencial bruto final de cada recurso se realizará con la simple operación de multiplicación de cada capa de potencial técnico con las obtenidas de limitaciones en base al potencial geográfico. Esta operación matemática se realiza con la **C**alculadora Ráster dando lugar a la “eliminación” de las zonas excluidas, que en realidad es valorizarlas con potencial nulo; y en definitiva, obteniendo como resultado zonas potencialmente viables para la integración renovable en la región.

6.4. Estimación del potencial neto de integración o modelo de aptitud

La posible integración de las energías renovables no solo depende de características técnicas u orográficas, es imprescindible la consideración de los factores socioeconómicos, culturales y ambientales que rigen la nación en la que se encuentra la región de estudio. El potencial bruto de un recurso en una región ya es una información jugosa de la que se pueden extraer conclusiones de las zonas más satisfactorias para el aprovechamiento de los recursos renovables de estudio además de servir de apoyo a la promoción de estas, pues en muchas regiones existe desconocimiento del potencial que se está desaprovechando. Pero es con el potencial neto o modelo de aptitud cuando clasificaremos el territorio en zonas más o menos aptas para la implantación de la planta renovable.

Las técnicas AMC son de gran utilidad para la valoración de estas variables en el potencial energético de una región debido a que estas permiten la utilización de criterios “difusos” o pseudocriterios de carácter cualitativo en sus procesos de decisión. Los criterios de evaluación para la aptitud de la implantación de una planta renovable en el proceso de decisión de la técnica AMC desarrollada en esta etapa serán estas variables socioeconómicas, culturales y ambientales.

6.4.1. Definición y ponderación de variables que influyen negativamente en el potencial bruto

Las posibles variables que influyen negativamente en el potencial bruto se han recogido generalmente en la tabla 5.1., en cambio, para la evaluación del potencial neto se considerarán solo las más decisivas para este fin, pues se considera que las variables que influyen en un grado mucho menor que las otras no generarán un gran cambio en el resultado de estudio, lo que, finalmente, dará lugar a una optimización del proceso de decisión.

La elección de qué criterios son los más decisivos, que deberán considerarse para el análisis del potencial neto de integración, se realizará con la metodología Delphi. Una técnica que se basa en la reflexión libre y aislada de un grupo de expertos, especialistas en la materia a tratar, que emiten una opinión. La opinión de los expertos, en este trabajo, se recogerá por medio de encuestas, en las que se solicitará la ponderación en cuanto a nivel de influencia de las variables de la tabla 5.1. sobre el potencial bruto en cualquier región. Así, con este proceso, se persigue conseguir una respuesta convergente y consistente con una justificación científica y verificada.

Se establece entonces una escala de medida para esta ponderación de criterios, en consonancia con la aptitud a cuantificar. Siempre se ha de cumplir una medición en idéntica dirección para todos los criterios (por ejemplo, que los valores reducidos supongan una contribución a que la aptitud sea baja y los valores elevados a que sea alta); además de aconsejarse que los rangos de todas las variables sean comunes. De esta manera, se propone una medición del 1 al 5, siendo 1 el mínimo nivel de influencia y 5 la máxima influencia de la variable.

6.4.2. Evaluación de criterios

Cada criterio deberá ser evaluado en todo el territorio de análisis, de manera que cada píxel o unidad mínima de información en los modelos SIG tendrá un valor asociado (en adelante, valores territoriales) según cada uno de los criterios anteriores. Se necesitará entonces una nueva entrada de datos de estos valores resultando en una serie de capas, formato ráster, por cada criterio de decisión, en la que en cada píxel se representarán estos valores territoriales correspondientes a la relación existente entre cada criterio y el territorio, siendo este procedimiento realizado para

cada recurso. Se ha de tener en cuenta que para algunos criterios la mejor opción será el valor más alto, como en el caso de financiación o incentivos, mientras que en otros criterios la situación óptima será la de un valor bajo, como en el caso del coste de instalación o del impacto medioambiental. Por ello tendremos que diferenciare entre criterios que deben maximizarse y criterios que deben minimizarse.

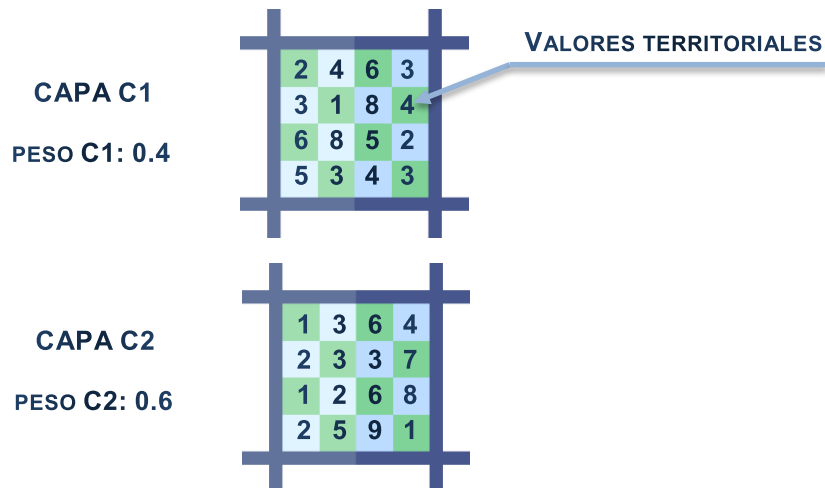


Ilustración 6.2. Valores territoriales (criterios) y pesos en formato ráster.
Fuente: Elaboración propia.

6.4.3. Normalización

La manipulación de los datos que se han elaborado hasta este punto y aplicación del método AMC propuesto necesita de la previa normalización de estos, con el objetivo de que todos los términos se encuentren en la misma escala y puedan compararse entre sí diferentes criterios con diferentes rangos de valores.

Este proyecto recomienda trabajar en escala de 0 a 1, por la simplicidad de generar esta escala y por ser una escala común y normalizada. Los criterios y los valores territoriales se normalizaran de la siguiente manera:

- Peso criterios: al encontrarse en una determinada escala (de 1 a 5), se tendrá que dividir todos los pesos de los criterios entre la suma de los pesos de todos los criterios considerado, obteniendo el valor normalizado de este en escala de 0 a 1.
- Valores territoriales: estos también ha de estar en la misma escala, a elección propia. Los valores territoriales que estén definidos por unidades, (p.e. euros, meses, etc) deberán normalizarse dependiendo de si son criterios deben

maximizarse o minimizarse. En el caso de que pertenezcan a criterios a maximizar, se debe dividir cada uno de los valores por el mejor de ellos, así tendremos que el mejor valor vale 1 y los demás se sitúan en valores proporcionales en la escala 0-1. Por el contrario, en el caso de criterios a minimizar, la alternativa que debe tener el valor máximo, 1, será la menor y para ello dividiremos este valor mínimo por cada uno de los demás. De esta forma, el mejor valor (el más pequeño) se queda con el valor 1 y el resto se quedan con valores entre 0 y 1 en función de su cercanía al mejor valor.

6.4.4. Integración de capas

Es el momento en el que se tienen todas las condiciones para realizar el Análisis Multicriterio. Este permitirá la total combinación de criterios, considerando su influencia en todo el territorio, incluyendo la ponderación de todos estos, otorgando mayor importancia a los más influyentes, con el resultado de una única capa o modelo SIG con las zonas de mayor potencial neto de integración para cada recurso estudiado. Es decir, se integrarán las diferentes capas de información obtenidas relativas a los diversos criterios (Capa C1, Capa C2... Capa Cj) diferenciando cada proceso por recurso, de acuerdo a una regla previamente establecida, de manera que pueda referirse a un modelo de decisión perfectamente definido. En este trabajo, se ha seleccionado la suma ponderada de los factores o criterios.

Esta suma ponderada reside en el cálculo del índice de idoneidad de cada pixel de manera que:

$$I_i = \sum_{j=1}^n W_j \cdot P_j \quad [7]$$

Siendo:

I_i : Índice de idoneidad en cada pixel; [$i = 1 \dots i$ píxeles]

W_j : Valor del criterio j; [$j = 1 \dots j$ criterios]

P_j : Peso del criterio j; [$j = 1 \dots j$ criterios]

La Ilustración 6.3 muestra, a modo de ejemplo cómo funciona esta integración de las diferentes capas mediante operaciones de cálculo algebraico y superposición lógica y/o matemática (multiplicación por un escalar, suma o resta) de los diferentes

estratos de información mediante herramientas de análisis espacial del software SIG, concretamente la herramienta Superposición Ponderada.

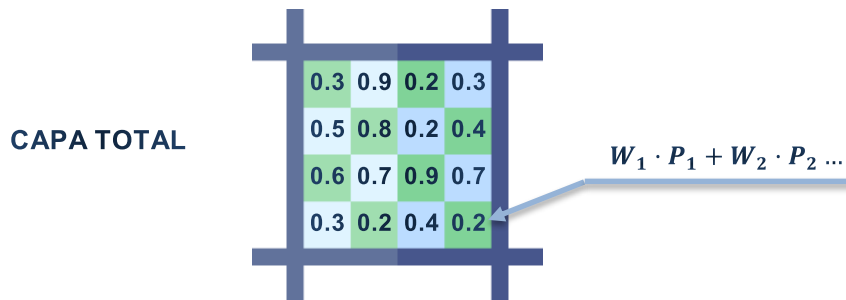


Ilustración 6.3. Integración de capas por suma ponderada en SIG.
Fuente: Elaboración propia.

Queda constante que, finamente se obtendrán tres capas totales, con la aplicación de este proceso a los tres recursos estudiados.

6.4.5. Clasificación de aptitud para la integración

Para una mejor representación y entendimiento de resultados los valores de cada capa resultante deben ser reclasificados en una escala fácilmente identificable, con objeto de obtener los tres mapas temáticos finales de la evaluación de la aptitud territorial en el establecimiento de la actividad considerada.

Si los valores se encontraban en escala 1 a 5, como será en el caso de aplicación, los valores de aptitud resultarán en esta escala. Se clasificarán en 7 categorías obteniendo la siguiente leyenda:

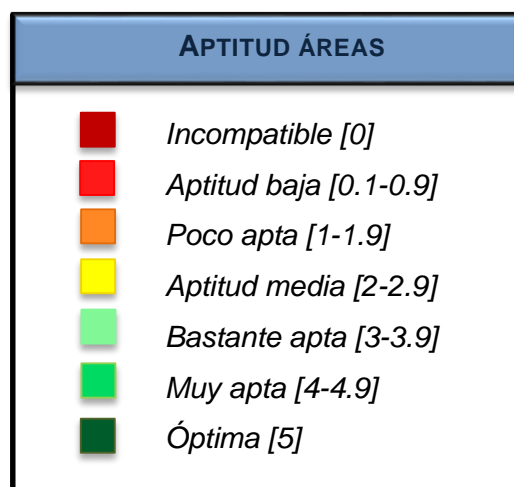


Ilustración 6.4. Leyenda modelos SIG de aptitud para la integración renovable. Fuente: Elaboración propia.

7. APLICACIÓN DE LA METODOLOGÍA PARA LA EVALUACIÓN DE POTENCIAL RENOVABLE EN ANDALUCÍA

Se pretende exponer un caso práctico con el fin de aplicar y exponer la metodología propuesta en este trabajo, demostrándose así la viabilidad de esta. El caso de análisis será el territorio andaluz, lográndose resultados de potencial neto de energía renovable fotovoltaica, eólica y biomásica; en presencia de variables territoriales en el ámbito cultural, socioeconómico, legislativo, tecnológico y ambiental.

El desarrollo de esta metodología se apoyará en el software de información geográfica QGIS 3.16.14 'Hannover', siendo este una opción de software libre de gran potencia.

Siguiendo las etapas establecidas en el capítulo anterior se realiza la aplicación de la metodología propuesta para la evaluación del potencial neto renovable en Andalucía y se presentan los resultados numéricos y gráficos obtenidos:

7.1. Base de datos geográfica en el entorno SIG

La información gráfica y alfanumérica necesaria para el estudio en el territorio andaluz se ha descargado gratuitamente del Instituto de Estadística y Cartografía de Andalucía, concretamente, de la base Datos Espaciales de Referencia de Andalucía (DERA)⁵ en formato shapefile (.shp) compatible con los programas SIG. Las bases cartográficas descargadas e incluidas en la interfaz de QGIS son:

- ✓ Modelo digital del terreno (MDT) de Andalucía: del cual se extrae el Modelo digital de elevaciones (MDE).
- ✓ Hidrografía: Masas de agua, embalses y ríos.
- ✓ Áreas ocupadas en núcleos de población, edificaciones rurales y usos públicos: los datos se descargan de la actualización⁶ a fecha de 2021.
- ✓ Límites administrativos de CCAA, provincias y municipios.
- ✓ Infraestructura de transporte: red de carreteras y ferroviarias y vías pecuarias.

⁵DERA:

https://www.juntadeandalucia.es/institutodeestadisticaycartografia/DERA/datos_espaciales.htm

⁶Población: <https://www.juntadeandalucia.es/institutodeestadisticaycartografia/datosespacialesestadisticos/index.htm>

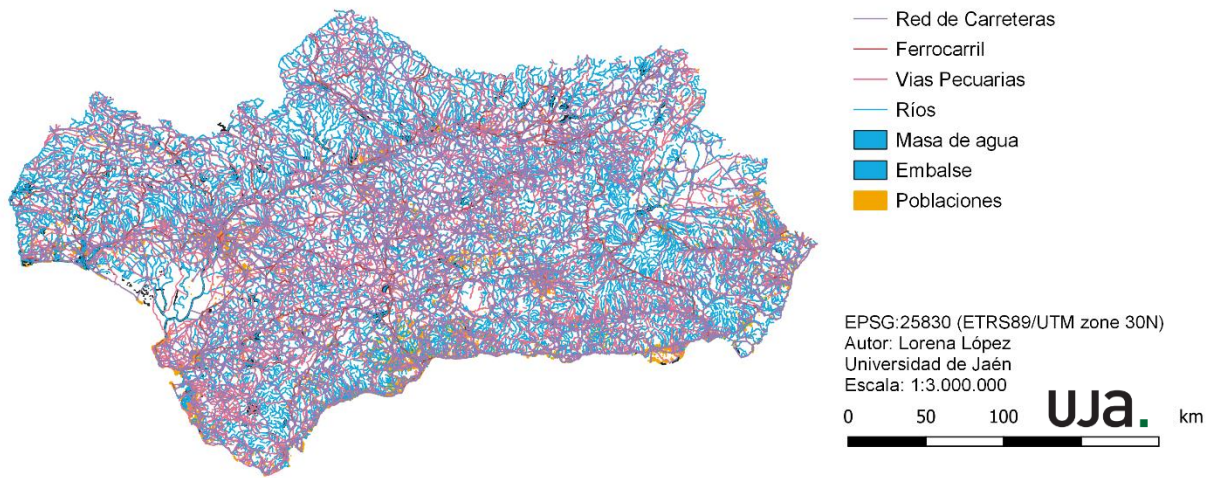


Ilustración 7.1. Base de datos cartográfica de Andalucía. Elaboración propia.

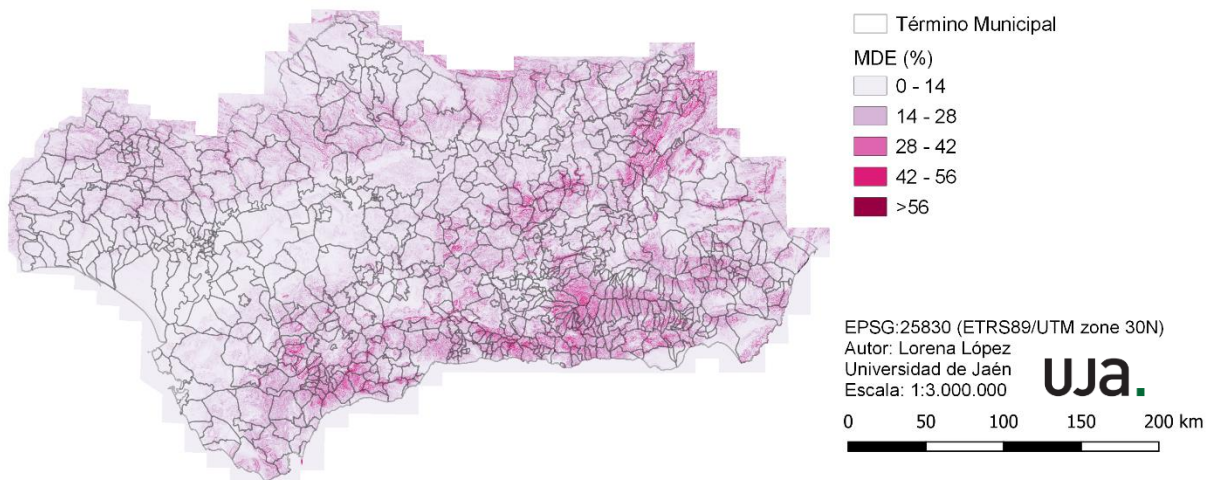


Ilustración 7.2. Modelo Digital del Elevaciones de Andalucía. Elaboración propia.

7.2. Potencial teórico

7.2.1. Recurso biomásico

La información del recurso biomásico se extrae del Sistema de Información Geográfica de Identificación de Parcelas Agrícolas (SIGPAC)⁷, la cual recoge las parcelas declaradas por los agricultores y ganaderos, en cualquier régimen de ayudas relacionado con la superficie cultivada o aprovechada por el ganado en todo el territorio español. En nuestro caso se procede a la descarga para el territorio andaluz en el año actual, 2021.

Esta base de datos ofrece una amplia información gráfica y alfanumérica de las parcelas agrícolas de cada provincia de Andalucía, como pueden ser su uso, superficie, pendientes medias, coeficientes de regadío y muchas más; en el caso de estudio es de interés el uso y superficie (m²) de cada recinto.

Este análisis abarcará el potencial procedente de biomasa de residuos agrícolas, concretamente, de la originaria del olivar, por ser este el uso notablemente más extendido en Andalucía, alcanzando 1.639.156 ha totales en la región en el año 2021 (FEGA, 2021). Es así, que se recogerá en una capa única vectorial todas las parcelas de las distintas provincias de Andalucía en las que el uso de estas sea el cultivo del olivar.

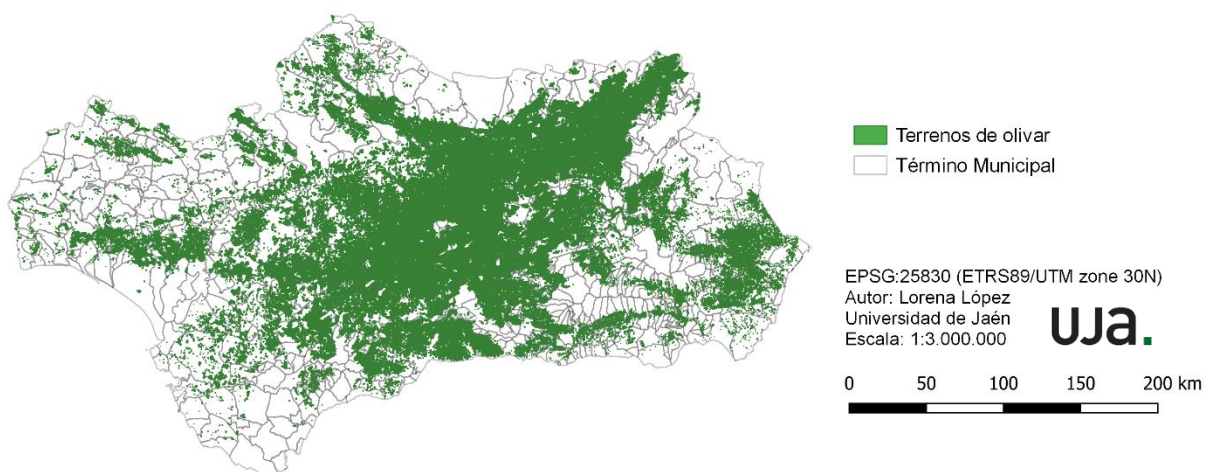


Ilustración 7.3. Terrenos de olivar a 2021. Elaboración propia.

⁷ **SIGPAC:**

<https://www.juntadeandalucia.es/organismos/agriculturaganaderiapescaydesarrollosostenible/servicios/sigpac/visor/paginas/sigpac-descarga-informacion-geografica-shapes-provincias.html>

7.2.2. Recurso eólico

Las características de viento necesarias para el estudio del potencial eólico, es decir, velocidad (m/s) y densidad (kg/m^3) medias anuales de este a 100 m de altura, se descargan del recurso Global Wind Atlas⁸.

Los datos proporcionados son a nivel nacional, de los cuales deben extraerse solo los correspondientes al territorio andaluz. La resolución de estos es de 250 m y se escoge una altura de 100 metros por la altura de buje de la torre del aerogenerador que se considerará para este estudio, aerogenerador Gamesa G80 de 2 MW, la cual varía entre 60 y 100 m.

A dicha altura, en la región andaluza la densidad de aire tiene un valor promedio de $1,14 \text{ kg}/\text{m}^3$. Por otra parte, a esta altura se alcanzan vientos de $12,31 \text{ m/s}$ suponiendo un promedio en la región de velocidad de viento de 5 m/s .

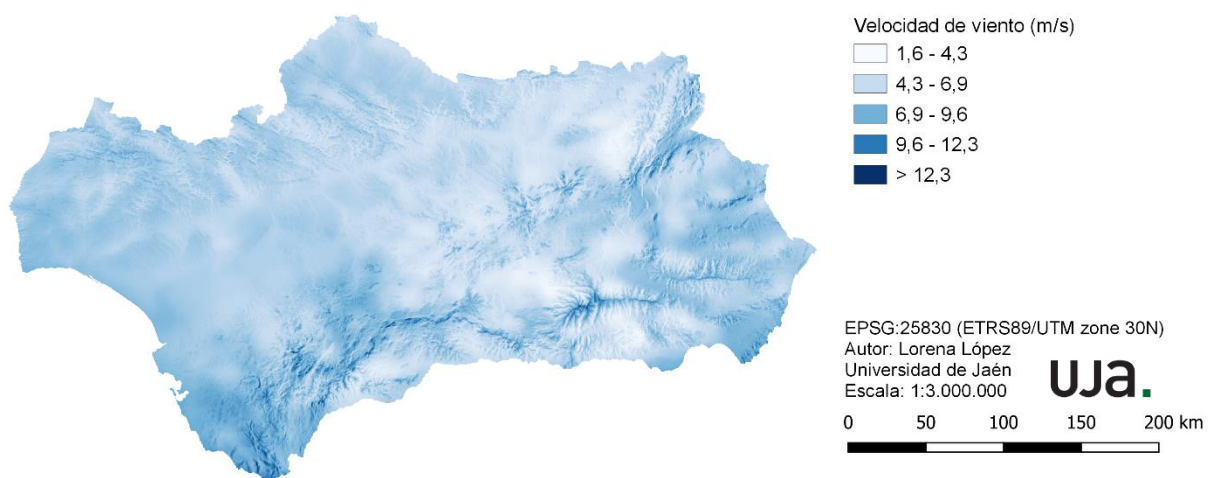


Ilustración 7.4. Velocidad media de viento anual a 100 m de altura. Elaboración propia.

⁸Global Wind Atlas: <https://globalwindatlas.info/download/gis-files>

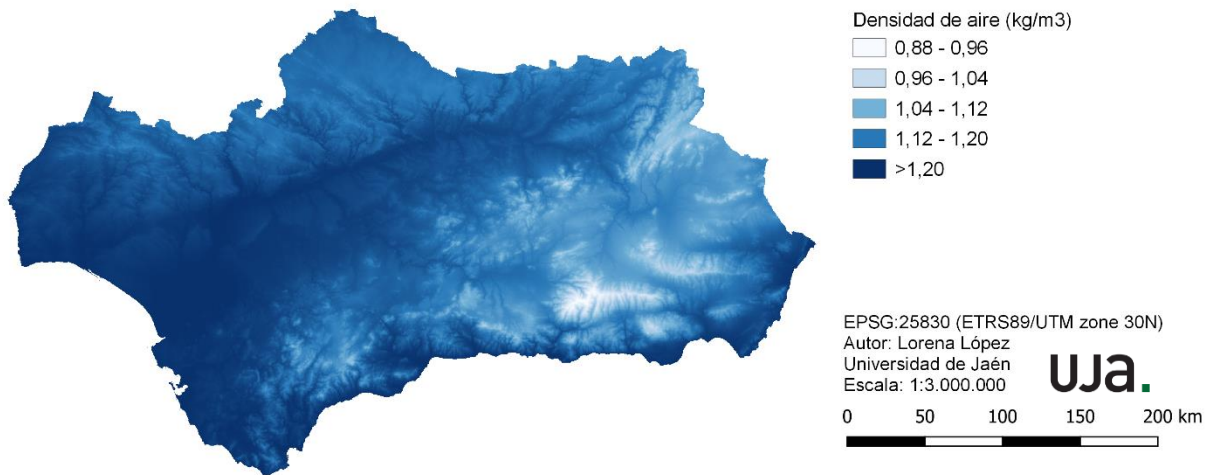


Ilustración 7.5. Densidad media de viento anual a 100 m de altura. Elaboración propia.

7.2.3. Recurso solar

La plataforma SOLARGIS⁹ permite la descarga libre de una amplia documentación en formato compatible GIS sobre el recurso solar. La irradiación global horizontal (GHI) es el parámetro más importante a la hora de medir la potencia de sistema solar fotovoltaico; en este caso, se dará uso de la base de datos de GHI que presenta el promedio de su suma anual con una resolución de 250 m, ofreciendo esta magnitud en unidades de kWh/m². Los datos son obtenidos de series de tiempo de varios años (desde 1994 hasta 2021).



Ilustración 7.6. Radiación Global Horizontal en Andalucía en un año. Elaboración propia.

⁹SOLARGIS: <https://solargis.com/es/maps-and-gis-data/download/spain>

Extrayendo datos para el territorio andaluz, se da cuenta del alto potencial solar con el que cuenta la provincia con una media de 1823 kWh/m² anuales lo que supone un total de 2.602 GWh anuales.

7.3. Potencial bruto

El potencial bruto es el resultado de evaluar las limitaciones técnicas y energéticas (potencial técnico) y las limitaciones geográficas como pueden ser terrenos con pendientes que dificulten la explotación de la actividad o territorios protegidos por la legislación andaluza (potencial geográfico).

7.3.1. Potencial técnico

7.3.1.1. Biomásico

El cultivo del olivar genera dos tipos de residuos o subproductos provenientes de la poda del mismo, el ramón (fracciones finas) y la leña (fracción gruesa). Pero además, en la almazara se generan otros varios subproductos que pueden ser valorizados, como el orujo y hueso de aceituna y en la extractora orujillo. Estos subproductos se destinan a distintas actividades como la quema del ramón o producción de astillas, para el autoconsumo del propio olivarero o industria, y, el que es de interés para este estudio, como biomasa para usos térmicos o generación eléctrica. Considerando todos estos usos La Cal J.A. (2020) estudia el volumen de generación de residuos que generaría una hectárea de terreno de olivar anualmente, es decir el índice de residuo (IR), descontando el volumen destinado a los usos anteriores mencionados. Realiza este análisis con consultas a expertos y profesionales del sector oleícola, en base a su experiencia de gestión directa, obteniendo los siguientes resultados:

Índice de residuo de subproductos del olivar	
Subproducto	IR (kg/ha)
Hueso bruto (almazara + extractora)	480
Orujillo	900
Ramón	310
Leña	250

Tabla 7.1. Índice de residuo de subproductos del olivar (datos anuales). Fuente: La Cal J.A. (2020).

El poder calorífico de cada subproducto se resume en la tabla siguiente:

Poder Calorífico Inferior de subproductos del olivar	
Subproducto	PCI (kJ/kg residuo)
Hueso bruto (almazara + extractora)	19.840,6
Orujillo	17.584,56
Ramón y leña	18.003,24

Tabla 7.2. Poder Calorífico Inferior de subproductos del olivar. Fuente: La Cal J.A. (2020).

Entonces, recuperando la disponibilidad del recurso olivar, medida en hectáreas de terreno ocupadas por este cultivo, se obtendrá el residuo agrícola producido por cada hectárea (considerando IR) y, finalmente, la cantidad de kWh anuales aprovechables de estos residuos (considerando PCI). Estas consideraciones se realizarán en una sola etapa teniendo en cuenta la ecuación [1] y [2], dando lugar la siguiente fórmula:

$$Potencial\ energético\ \left(\frac{kWh}{año}\right) = S \cdot IR \cdot PCI \cdot \frac{1}{3600} \quad [8]$$

Siendo:

S: Superficie ocupada por el olivar (potencial teórico) [ha de cultivo]

IR: Índice de residuo $\left[\frac{kg\ residuo}{ha\ de\ cultivo \cdot año}\right]$

PCI: Poder calorífico inferior $\left[\frac{kJ}{kg\ residuo}\right]$

$\frac{1}{3600}$: Conversión de unidades [kWh/kJ]

El volumen total de subproductos del olivar asciende a 3.168.322,4 toneladas anuales; de las cuales, 783.915,8 son de hueso de aceituna, 1.469.840,3 para el orujillo y 914.567,3 para el ramón y la leña. Aplicando la ecuación [8] a cada subproducto del olivar se concluye un potencial total de 16.073.819 MWh anuales totales generados por estos residuos, originarios de 4.320.459 MWh para el hueso de aceituna, 7.179.761 MWh para el orujillo y 4.573.598 MWh para el ramón y la leña.

Se representan a continuación los MWh totales anuales obtenidos de la suma de la energía aportada por anteriores subproductos del olivar. El mapa se encuentra trazado a una resolución de 1 ha, por lo que, al considerar solo un tipo de biomasa cada pixel tendrá el mismo valor, siendo este la suma de los MWh que puede producir el hueso de aceituna + orujillo + ramón y leña, alcanzando este valor 9,84 MWh/ha:

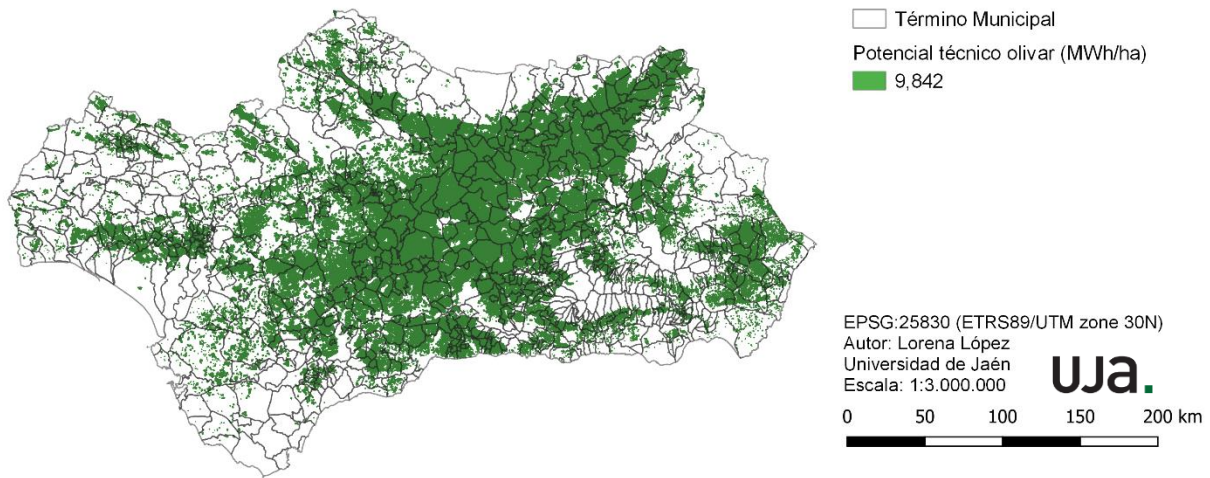


Ilustración 7.7. Potencial técnico anual de los subproductos del olivar. Elaboración propia.

7.3.1.2. Eólico

La evaluación de la energía generada por las características del viento en el territorio dependerá del aerogenerador a instalar en la planta. En este caso se seleccionará, el aerogenerador G87 de 2 MW de potencia nominal de la firma Gamesa, para una primera evaluación global y por ser una capacidad ampliamente utilizada en los parques eólicos. En una segunda evaluación, de manera más precisa y con el territorio más delimitado, podría elegirse el aerogenerador según la coincidencia entre la distribución de densidad de probabilidad de velocidad de viento y la curva de potencia del aerogenerador.

Las características principales de este aerogenerador son:

	Potencia nominal	Cut-out speed	Velocidad nominal viento	Altura de buje	Diámetro hélice	Área rotor
Gamesa G87	2 MW	3,5 m/s	12 m/s	60/67/78/100 m	80 m	5.027 m ²

Tabla 7.3. Características aerogenerador considerado.

Aplicando la ecuación [4] a los vientos mayores de 3,5 m/s, considerando zonas con esta característica de viento con potencial nulo, se obtiene la potencia eólica suministrada por cada aerogenerador instalado. Además, atendiendo a que cada uno de estos ocupa una superficie horizontal cuadrada de lado 7 veces el diámetro del rotor; el potencial eólico en cada punto debe ser dividido por este factor, es decir, 31 ha aproximadamente, obteniendo vatios anuales por unidad de superficie. Los resultados arrojados por este estudio superan los 9.374 MW propicios a instalar en todo el territorio andaluz, suponiendo una media de 6.577 W/ha distribuidos por el territorio andaluz.

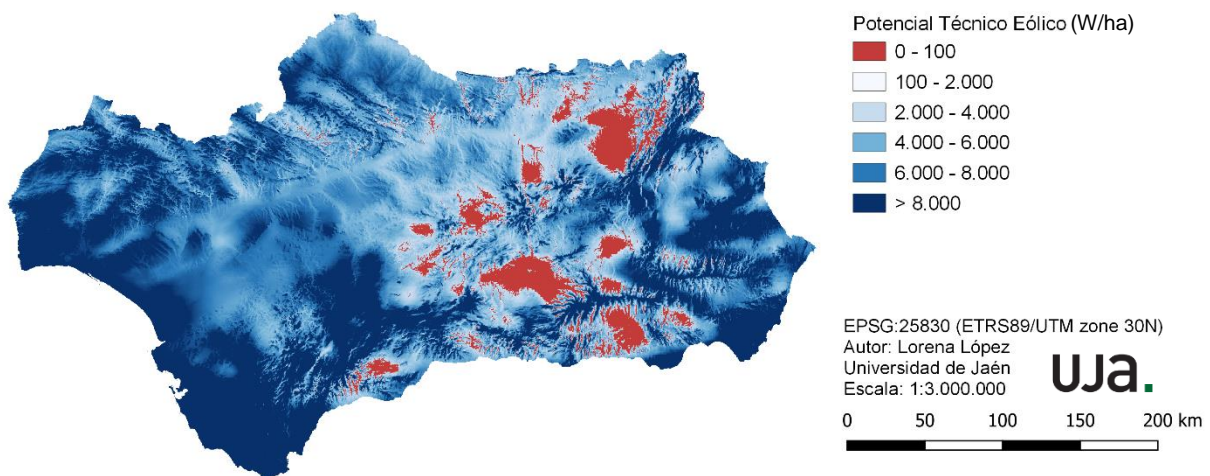


Ilustración 7.8. Potencial técnico eólico. Elaboración propia.

7.3.1.3. Solar fotovoltaico

Manteniendo la consideración de que una instalación de 1 MW de potencia ocupa aproximadamente 2 ha de terreno, el potencial energético fotovoltaico que puede producir la instalación anualmente a partir de la irradiación en el territorio andaluz se calcula a partir del factor HSP con la fórmula [6]. Se obtiene entonces como resultado un potencial técnico total que asciende a 975.991 GWh anuales suponiendo esto un valor promedio de 683,72 MWh/ha-año en todo el territorio andaluz.

En la ilustración siguiente podemos observar la distribución de este potencial:



Ilustración 7.9. Potencial técnico solar fotovoltaico anual. Elaboración propia.

7.3.2. Potencial geográfico

A continuación, se sitúan en el territorio andaluz todas las limitaciones geográficas que se recogen en la tabla 6.1. Esto supone que estas zonas son totalmente incompatibles para la implantación de una planta de generación eléctrica renovable tanto solar, eólica y biomásica; además de para la cosecha de residuo agrícola del olivar.

Como se ha mencionado en el subcapítulo 6.3.2. se debe atender a la legislación andaluza con respecto a la mínima distancia que ha de salvarse de estas zonas por criterios de precaución. En cuanto a las instalaciones fotovoltaicas y biomásicas, no se ha encontrado ninguna referencia a distancias mínimas en los documentos consultados, por lo que se traslada al modelo, considerando que el límite de cada zona será la línea que marque la zona de sensibilidad ambiental máxima para este tipo de instalaciones. Por el contrario, sí existen recomendaciones y normativas relativas a la relación entre distancias e instalación de parques eólicos en Andalucía. En general, la limitación se justifica por la generación de ruido, aunque también se tienen en cuenta el efecto intermitencia de sombra y los riesgos asociados a que ocurra algún accidente grave por desprendimiento de las palas. Se resumen en la siguiente tabla las distancias consideradas para cada zona:

Tabla 7.4. Restricciones de distancias a añadir para la implantación eólica. Fuente: Elaboración propia en base a MTERD (2020) y Cuevas M.P. (2017).

Espacio	Distancia	Legislación
Núcleos de población, edificaciones rurales y equipamientos de uso público	500 m	No existe ninguna ley en Andalucía que lo rija pero de acuerdo a: <i>Plan de energías renovables 2011-2020 aprobado por Acuerdo del Consejo de Ministros de 11 de noviembre de 2011.</i>
Carreteras, caminos y líneas ferroviarias	140 m para autopistas y autovías.	<i>Ley 8/200, de 12 de julio, de carreteras y Ley 9/2006, de 26 de diciembre, de Servicios Ferroviarios de Andalucía.</i>
	110 m para el resto de carreteras y líneas ferroviarias.	
	100 m para caminos.	
Vías pecuarias	175 m para las cañadas.	<i>Ley 3/1995, de 23 de marzo, de vías pecuarias y el Decreto 155/1998, de 21 de julio, por el que se aprueba el Reglamento de Vías Pecuarias en la Comunidad Autónoma de Andalucía</i>
	135 m para los cordeles.	
	20 m para las veredas.	
	100 m para el resto.	

A tener en cuenta también es que para las pendientes tampoco se ha encontrado alguna legislación en Andalucía que establezcan su valor idóneo, en cambio, se van a considerar los límites establecidos de pendientes máximas en la tabla 6.5 para una mejor valoración del potencial.

Aplicando las restricciones dadas, las zonas que quedan limitadas a la implantación y explotación renovable se presentan en las ilustraciones siguientes, suponiendo un área restringida de 17.737 km² del territorio andaluz para la biomasa, 29.740 m² para la actividad eólica y 14.824 km² para la actividad fotovoltaica:

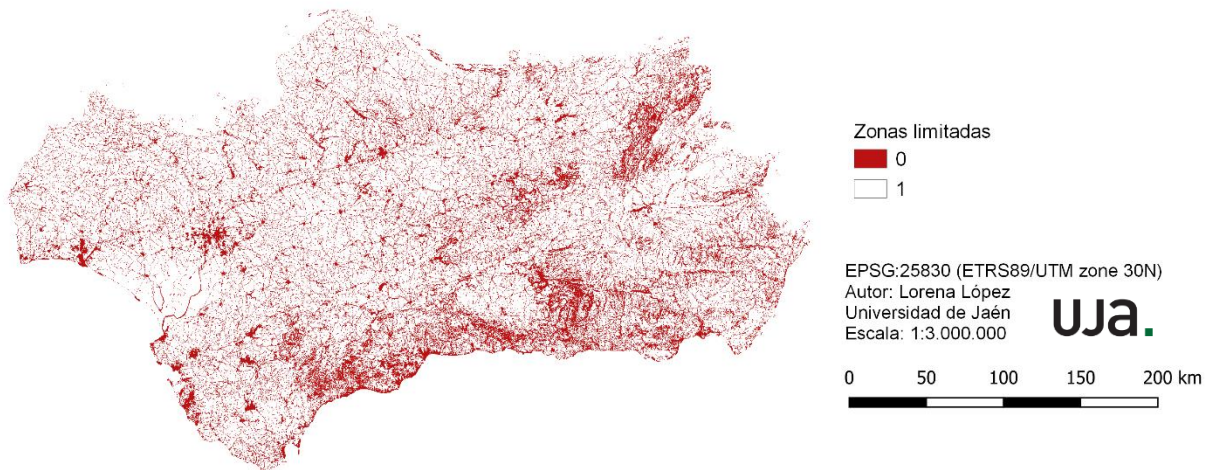


Ilustración 7.10. Zonas limitadas para la biomasa. Elaboración propia.



Ilustración 7.11. Zonas limitadas para la eólica. Elaboración propia.



Ilustración 7.12. Zonas limitadas para la solar fotovoltaica. Elaboración propia.

7.3.3. Resultados potencial bruto

Combinando los resultados del potencial técnico y el potencial geográfico obtenemos la cantidad de energía disponible incluyendo las zonas con limitaciones técnicas y legales para cada recurso.

Esta combinación se consigue con la herramienta Calculadora Ráster, multiplicando cada capa de potencial técnico con su correspondiente capa de limitaciones, en las que las zonas limitadas tienen valor 0 y las zonas que permiten la explotación renovable tienen valor 1. De esta manera se conserva el potencial técnico que reside en zonas permisibles y se descarta el potencial técnico de zonas limitadas.

Este proceso arroja los valores de potencial bruto para cada recurso, siendo esta una información jugosa, útil para todo tipo de decisiones con respecto a la integración de cualquier recurso en la región andaluza.

Se ha de destacar que la aplicación de la metodología a la comunidad andaluza se realiza con un fin meramente académico, por lo que los resultados presentados pueden variar según intenciones o restricciones que se puedan considerar.

Además, los siguientes resultados se refieren a potencial bruto, por lo que no todos los MW de cada recurso serán propicios a instalar, los cuales se reducirán considerablemente al considerar las zonas con mayor o menor aptitud localizadas en el potencial neto y localizar las plantas en estas, procedimiento que no abarca este trabajo de fin de máster.

El potencial energético biomásico procedente de los subproductos del olivar andaluz se reduce de 16.073.819 MWh anuales disponibles a 14.106.624 brutos MWh anuales considerando las restricciones dadas tanto para la recolección de esta biomasa como para la implantación de estas centrales. Tomando como consideración que una planta de generación eléctrica a partir de biomasa generalmente se encuentra en funcionamiento 7.800 h anuales y que cada una de estas plantas tiene una capacidad de 25 MW; se obtendría aproximadamente, un potencial de 1.808 MW a instalar en el territorio andaluz distribuidos en 72 plantas de generación eléctrica a partir de subproductos del olivar.

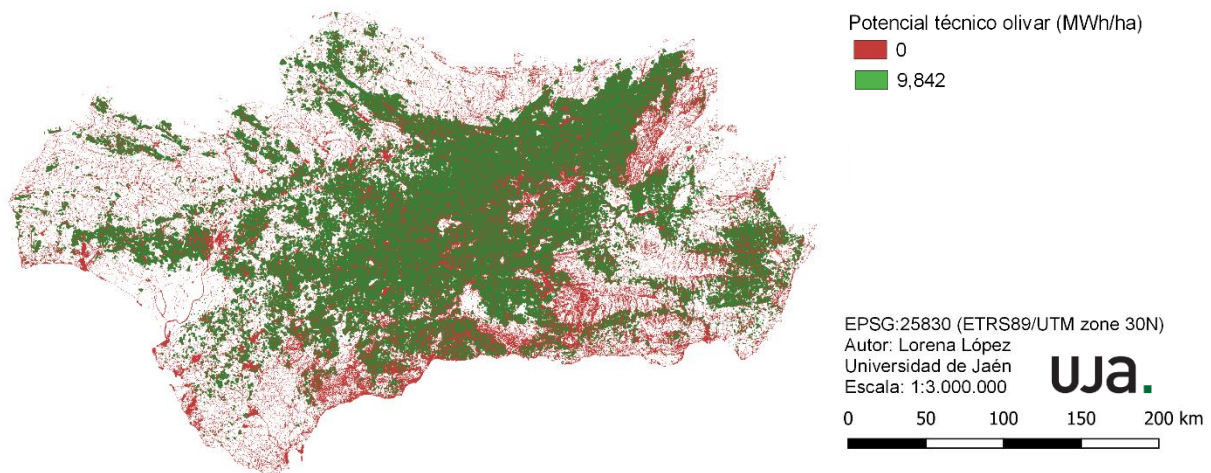


Ilustración 7.13. Potencial bruto anual de subproductos del olivar. Elaboración propia.

Puede observarse que la mayor potencialidad del recurso solar se encuentra en la zona del valle del Guadalquivir. La posible producción eléctrica se reduce de 975.991.690 MWh generados anualmente hasta 813.617.732 MWh anuales considerando las restricciones dadas para la implantación de una planta fotovoltaica. Tomando como premisa que una planta de generación eléctrica a partir de energía solar FV generalmente puede alcanzar las 2400 h/año en funcionamiento y que cada una de las plantas a instalar serán de una capacidad de 20 MW; se obtendría aproximadamente, un potencial de 339.007 MW a instalar en el territorio andaluz distribuidos en 16.950 plantas de generación eléctrica a partir de energía solar FV.



Ilustración 7.14. Potencial bruto anual solar fotovoltaico. Elaboración propia.

El potencial eólico andaluz se reduce de 9.374 MW disponibles a instalar hasta 6.444 MW brutos considerando las restricciones dadas para la implantación de un parque eólico. Considerando parques eólicos con una potencia de 25 MW podrían integrarse en el territorio andaluz 258 de estos parques. Resalta que, por el contrario al potencial solar, el menor potencial eólico se encuentra en la zona del valle del Guadalquivir y el mayor en las zonas costeras.

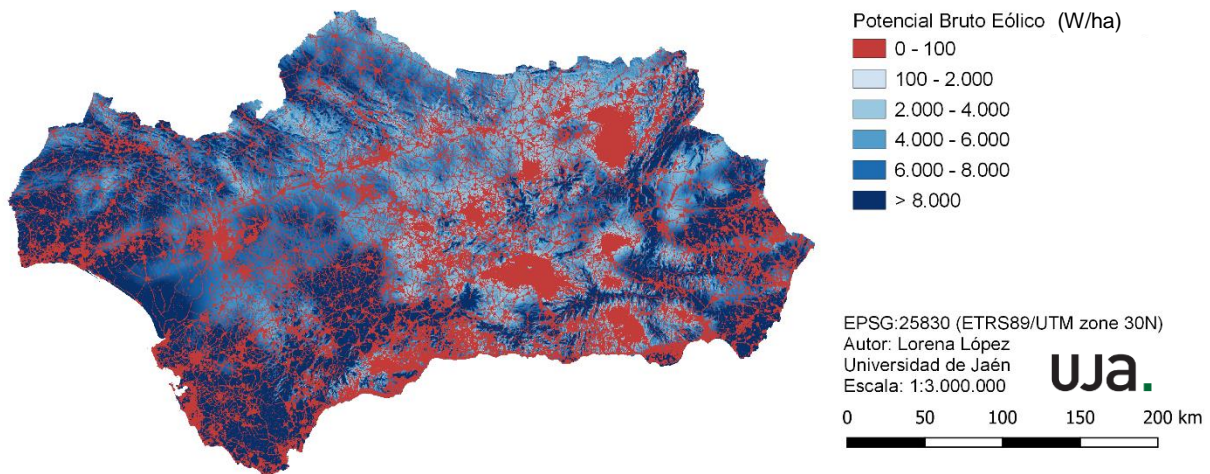


Ilustración 7.15. Potencial bruto eólico. Elaboración propia.

TABLA RESUMEN POTENCIAL BRUTO		
BIOMÁSICO (olivar)	1.808 MW	72 plantas de 25 MW
SOLAR FV	339.007 MW	16.950 plantas de 20 MW
EÓLICO	6.444 MW	258 plantas de 25 MW

Tabla 7.5. Resumen resultados obtenidos de potencial bruto. Elaboración propia.

Algunos de los resultados anteriores son excesivamente altos, como se ha mencionado anteriormente, este potencial se reducirá al considerar las restricciones socioeconómicas culturales y ambientales de la siguiente fase, por lo que no todo el territorio considerado hasta ahora es propicio para la instalación de todas las plantas. Además, recordando la finalidad de la aplicación de esta metodología, teniendo simplemente el fin académico y demostrativo, podrían haberse considerado más restricciones en fases anteriores, pero con este fin, solo se han considerado las más importantes.

7.4. Potencial neto o modelo de aptitud

La última fase para la evaluación del potencial en una región pretende tener en cuenta distintas variables culturales, socioeconómicas, ambientales legales o tecnológicas, que puedan afectar al potencial bruto. De esta manera, el resultado final para este estudio será la definición del territorio andaluz según una escala de aptitud al desarrollo renovable en cada una de estas, siendo el valor 0 la incompatibilidad de la zona a la implantación de una planta renovable y 5 la aptitud óptima, como se resume en la Ilustración 6.4. Este subcapítulo no pretende resultados numéricos de potencial en unidades de energía, si no de las zonas con mayor compatibilidad para la implantación de centrales necesarias para la explotación de los recursos y generación de la energía potencial determinada anteriormente

Este proceso se ayuda de las técnicas de evaluación multicriterio, permitiendo estas la evaluación territorial de variables de distinta índole, tanto cuantitativa como cualitativa. Concretamente, se aplicará la suma ponderada según la fórmula [7], siendo así que ha de seleccionarse las variables, o, criterios en adelante, que se evaluarán y que afectan a cada recurso. De los criterios recogidos en la Tabla 5.1., se desarrollará la evaluación de seis criterios de los más ponderados según la encuesta realizada en el ámbito andaluz que puede encontrarse en el Anexo III; con el fin de mostrar cómo afectarían variables culturales, ambientales, socioeconómicas, legales o técnicas en el proceso de evaluación de potencial renovable en una región y como lo harán en Andalucía. Estas seis variables son:

- ✓ Patrimonio
- ✓ Vulnerabilidad paisajística
- ✓ Pérdida de biodiversidad
- ✓ Disponibilidad de recurso
- ✓ Cercanía a la red eléctrica
- ✓ Costes de logística

Será en el siguiente capítulo dónde se analizará con mayor detenimiento la influencia de todas las variables que pueden afectar a los proyectos de EERR Andalucía; así, en esta etapa se dará cuenta de cómo pueden evaluarse en un entorno SIG las seis anteriores.

Como criterio de ámbito cultural se evaluará la influencia de la presencia de patrimonio protegido o de interés cultural, albergando Andalucía el Parque Nacional de Doñana, declarado Patrimonio de la Humanidad por la UNESCO en 1994. Aún de ser un entorno natural, se considerará en el criterio cultural por pertenecer al patrimonio declarado, sin embargo también se tendrá en cuenta en el criterio ambiental, por ser parte de la Red Natura 2000 y ser nombrado por más instituciones ambientales como espacio protegido. Existen otros enclaves culturales declarados Patrimonio de la Humanidad pero se encuentran en núcleos de poblaciones, por lo que ya han sido considerados como restricciones.

Los criterios clasificados como ambientales serán definidos por la vulnerabilidad paisajística y la pérdida de biodiversidad que pudiera suponer la instalación de una planta de EERR. Ambos criterios están íntimamente relacionados, pues pueden afectar simultáneamente a los parajes naturales considerados. Para representar estos factores se ha recopilado cartografía digital de distintas áreas que se puedan ver afectadas por estos criterios en el territorio andaluz; unificándose todas ellas en una sola capa ráster en el entorno QGIS conteniendo las siguientes áreas¹⁰:

- **Red Natura 2000:** la Red Ecológica más importante para la conservación de la naturaleza en la Unión Europea destinada a asegurar la supervivencia a largo plazo de las especies y los tipos de hábitat en Europa, contribuyendo a detener la pérdida de biodiversidad. Incluye tres tipos de Espacios Protegidos Red Natura 2000: los Lugares de Importancia Comunitaria (LIC), es decir, tipos de hábitats naturales y de especies de interés comunitario; las Zonas Especiales de Conservación (ZEC), siendo estos LIC designados por las Comunidades Autónomas, en los que se aplican medidas de conservación para los hábitats y poblaciones de especies especificadas en un instrumento o Plan de Gestión; y, las Zonas de Especial Protección para las Aves (ZEPA), albergando áreas donde residen aquellas especies de aves cuya protección

¹⁰ **DERA, subapartado 11, Patrimonio:**

https://www.juntadeandalucia.es/institutodeestadisticaycartografia/DERA/datos_espaciales.htm

***Excepto IBAs:** <https://www.miteco.gob.es/es/biodiversidad/servicios/banco-datos-naturaleza/informacion-disponible/ibas.aspx>

favorece la conservación del resto de especies de fauna y flora que habitan en sus áreas de distribución.

- **Reservas de la Biosfera:** constituyendo zonas ecológicamente representativas o de valor único, en ambientes terrestres, costeros y marinos, seleccionándose por su interés científico, basándose en una serie de criterios que determinan si un espacio se incluye en el Programa “Hombre y Biosfera”.
- **Zonas Especialmente Protegidas de Importancia para el Mediterráneo (ZEPIM):** son áreas marinas y costeras únicas declaradas en virtud del Convenio de Barcelona que garantizan la supervivencia de los valores y recursos biológicos del Mediterráneo al incorporar los hábitats mediterráneos más representativos y las áreas mejor conservadas. Complementa el resto de los espacios naturales protegidos, centrándose en la protección de áreas de verdadera importancia regional mediterránea, por lo que se sitúan bajo tutela internacional.
- **Montes de Utilidad Pública:** declarados como “Fuente de recursos naturales y sustento de actividades económicas como por ser proveedores de múltiples servicios ambientales, entre ellos, de protección del suelo y del ciclo hidrológico; de fijación del carbono atmosférico; de depósito de la diversidad biológica y como elementos fundamentales de la conectividad ecológica y del paisaje.”
- **Inventario de Áreas Importantes para la Conservación de las Aves y la Biodiversidad en España (IBAs):** SEO/BirdLife tiene un inventario o de zonas que, cumpliendo una serie de criterios científicos, son consideradas importantes a nivel internacional para la conservación de más de 150 especies de aves amenazadas. Se añade este inventario por ser más extendido que el de ZEPAS.

La capa creada, considerando los espacios antes enunciados, para la evaluación estos dos criterios ambientales constará de dos valores territoriales referenciados: valor 1 en las zonas donde existan estas zonas protegidas, comportándose como terreno de aptitud baja; y valor 5 en el resto de territorio andaluz donde no existan estas zonas, comportándose con aptitud óptima para la implantación de centrales de generación renovable.

En cuanto a los criterios que se van a evaluar en el ámbito tecnológico, se dará uso a la herramienta de distancia euclidiana *r.grow.distance* que incluye el módulo de GRASS GIS implementado en el programa, la cual proporciona la distancia desde cada celda en el ráster hasta el origen seleccionado más cercano. En la evaluación de la cercanía a la red eléctrica, se seleccionará como origen los puntos de vertido a la red existentes en Andalucía, siendo estos las subestaciones repartidas por el territorio andaluz. Como se ha concluido en otros estudios, la distribución de la red eléctrica andaluza es un obstáculo para la implantación de cualquier planta, por lo que el objetivo de la evaluación de este criterio es superar este obstáculo, reclasificando las zonas más cercanas a las subestaciones existentes con valor 5 y, conforme incrementa la distancia reducir el valor territorial hasta 1. Esta consideración supone minimizar pérdidas en el transporte de energía eléctrica y evitar la construcción de nuevas líneas eléctricas.

Distancia a punto de vertido	Valor píxel
0 – 2,5 km	5
2,5 - 5 km	4
5 – 7,5 km	3
7,5 - 10 km	2
> 10 km	1

Tabla 7.6. Distancias consideradas para criterio de cercanía a la red eléctrica.

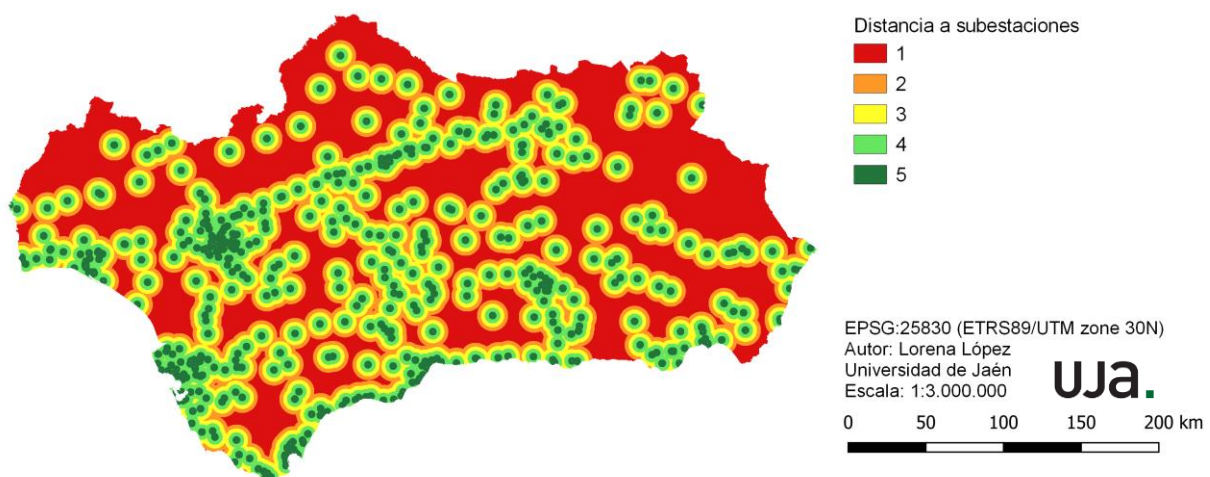


Ilustración 7.16. Resultados gráficos distancias consideradas a subestaciones eléctricas. Elaboración propia.

De la misma manera, los costes de logística derivados del transporte de la biomasa desde su recolección hasta su llegada a la central de generación eléctrica se valoran con la misma herramienta, situando el origen de distancias en las hectáreas de olivar consideradas para la recolecta:

Distancia a terreno de olivar	Valor píxel
0 km	0
0,1 – 10 km	5
10 – 20 km	4
20 – 30 km	3
30 – 40 km	2
> 40 km	1

Tabla 7.7. Distancias consideradas para criterio de costes de logística en la biomasa.

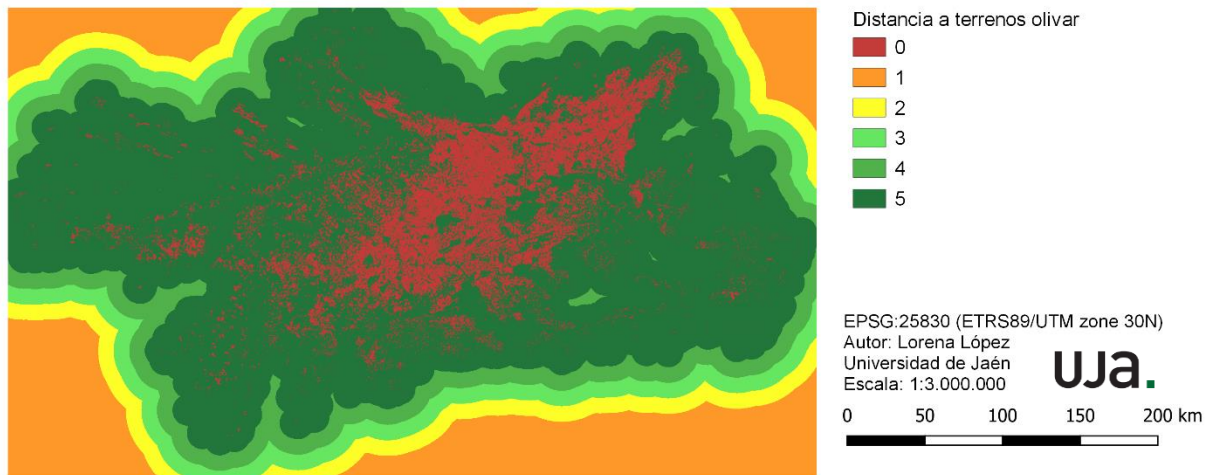


Ilustración 7.17. Resultados gráficas distancias consideradas a terrenos del olivar. Elaboración propia.

Se ha de destacar que algunas de las barreras recogidas en la tabla 5.1. ya han sido solventadas con algunas consideraciones tomadas a en el potencial geográfico de esta metodología. Todas las restricciones de suelo y distancias a estas zonas se han recogido en la tabla 6.1 al discriminar suelos urbanizados y vías de comunicación en este potencial, además de también incluir la presencia de cualquier tipo de hidrología. Otros criterios se ven representados en la consideración de limitar la pendiente de terreno a un valor recomendado o la distancia dispuesta para la eólica a determinadas áreas por protección a la población o reducir los efectos de la contaminación acústica que pueda producir la explotación de este recurso. Las demás barreras se pueden considerar en estudios más concretos y prudentes.

De esta manera, se resume a continuación las barreras consideradas para este capítulo con sus respectiva ponderación de influencia en el territorio andaluz derivada de la encuesta realizada en este trabajo; exceptuando la disponibilidad de recurso que en este trabajo se ha considerado determinante otorgándole un valor de 5 en la escala de 1 a 5.

CLASIFICACIÓN	CRITERIO	PONDERACIÓN (escala 1 a 5)
Cultural	Presencia de patrimonio	4,1
Ambiental	Pérdida de biodiversidad	2,7
	Vulnerabilidad paisajística	3,1
Tecnológico	Cercanía a la red eléctrica	2,9
	Disponibilidad de recurso	5
Económico	Costes de logística	3,4

Tabla 7.8. Tabla resumen criterios considerados y ponderación encuesta.

Se realiza el proceso distintamente a cada recurso a continuación.

7.4.1. Modelo de aptitud biomásico

El potencial neto biomásico tendrá como propósito la clasificación del territorio según su aptitud para la implantación de una central de generación eléctrica a partir de biomasa procedente de subproductos del olivar. Como es obvio, las zonas de explotación de biomasa se restringen para la actividad de la implantación de la planta pues serán estas zonas las que proporcionen el recurso.

Siendo así, los criterios influyentes para este propósito son la vulnerabilidad paisajística y la pérdida de biodiversidad por la implantación de la planta, la presencia de patrimonio cultural en la zona. Además de, por medio de los mencionados análisis de vecindad por distancias euclideas, se consideraran factores determinantes, la cercanía de la central tanto a subestaciones de red eléctrica, para evacuar la energía eléctrica generada con el mínimo de pérdidas; como a las zonas de explotación y recogida de subproducto de olivar para reducir costes y tiempos de logística y transporte.

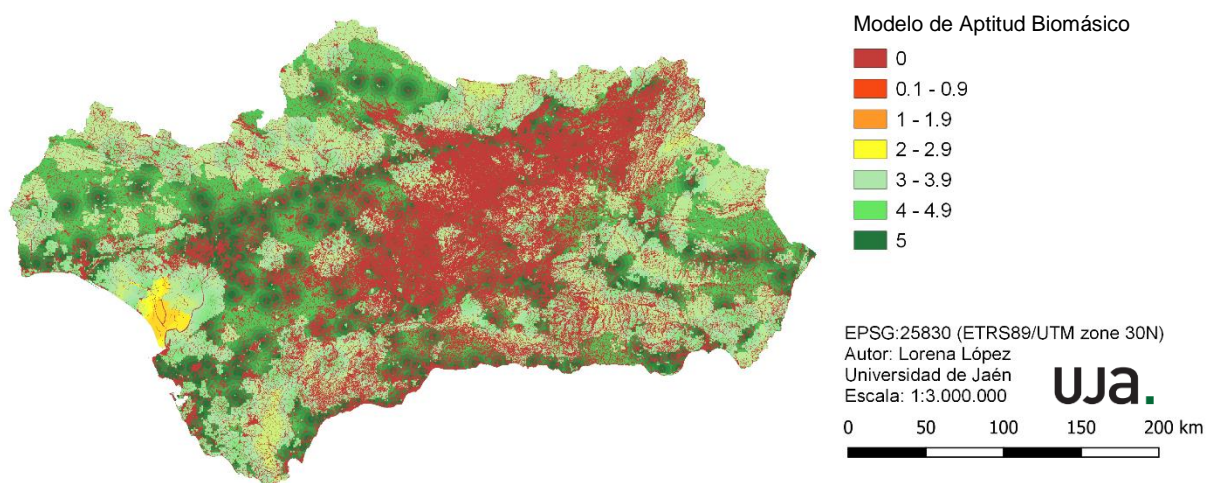


Ilustración 7.18. Modelo de aptitud biomásico de Andalucía. Elaboración propia.

Puede observarse una gran amplitud de territorio totalmente incompatible, por la gran extensión de terrenos de olivar presentes en Andalucía. Con una aptitud baja (amarillo y naranja) destaca la zona del Parque Natural de Doñana por su protección patrimonial y natural. Las zonas más óptimas se localizan en áreas donde la presencia de subestación y terreno de olivar se encuentra en un ratio de distancia cercano.

7.4.2. Modelo de aptitud eólico

Para la evaluación del potencial neto eólico se tendrán en cuenta la vulnerabilidad paisajística, la pérdida de biodiversidad el patrimonio cultural y la distancia a subestaciones de red eléctrica para evacuar la energía eléctrica generada con el mínimo de pérdidas; además de la disponibilidad de recurso (potencial bruto) reclasificado del 1 a 5, de menor a mayor potencial disponible. De esta manera, considerando la ecuación [7] y las cuatro capas que representan los criterios mencionados con sus respectivos pesos se obtiene como resultado:

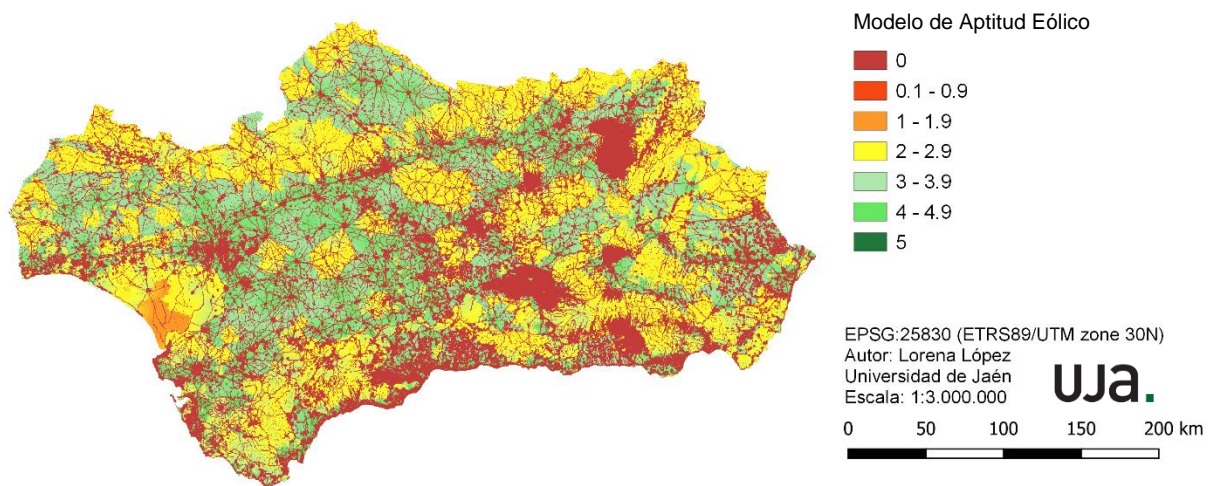


Ilustración 7.19. Modelo de aptitud de Andalucía. Elaboración propia.

La localización de una planta eólica se encuentra muy limitada por las restricciones más amplias con respecto a la situación y distancias que las torres de esta planta deben situarse por principios de precaución y protección. Se ha de destacar que, el potencial neto mayor se encuentra principalmente en la zona del valle del Guadalquivir, al contrario de lo que determinaba el potencial bruto. En estimaciones anteriores, el potencial mayor se encontraba en las zonas costeras, pero la presencia de hábitats protegidos ha cambiado las tornas, es entonces dónde se da cuenta la influencia de la presencia de áreas protegidas por criterios ambientales y culturales.

7.4.3. Modelo de aptitud solar

De la misma manera, las mismas consideraciones serán de estudio para el potencial neto solar. Obteniendo como resultados:

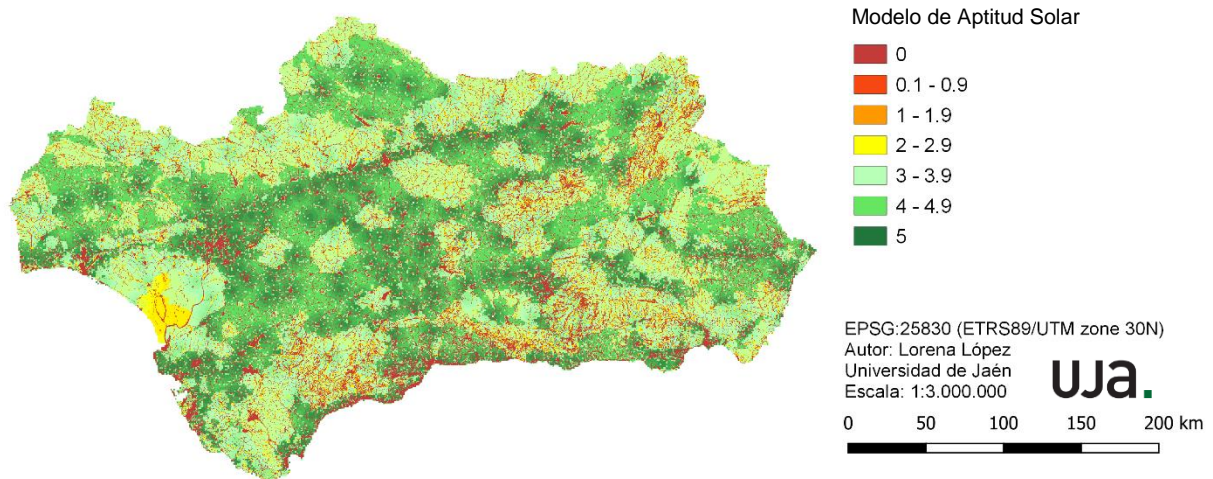


Ilustración 7.20. Modelo de aptitud fotovoltaico en Andalucía. Elaboración propia.

Este potencial encuentra meno limitaciones y una clara tendencia a la situación de la planta en zonas llanas como en el valle del Guadalquivir y en zonas sin relieve montañoso.

8. FACTORES DE INTEGRACIÓN DE PROYECTOS DE EERR EN ANDALUCÍA

La implementación de un proyecto renovable en el territorio andaluz y su integración en la matriz su matriz no está exenta de contradicciones y conflictos, como se ha estudiado en capítulos anteriores, a pesar del voluminoso potencial bruto de origen renovable presente en el territorio. No obstante, Andalucía también cuenta con fortalezas que propician el desarrollo y explotación de estas energías.

Habiéndose recogido en el capítulo 5 los factores influyentes en la integración de un proyecto de EERR en cualquier región, se pretende analizar la situación de Andalucía frente a estas variables, pudiendo esta posibilitar el desarrollo de estas energías limpias superando factores influyentes negativamente de distintos ámbitos, o suponer varias de estas variables barreras que se han de situar en el foco de estudio e investigación para su superación. Con este propósito se ha realizado una encuesta representativa de la opinión andaluza con respecto a cuáles se consideran más influyentes o toman mayor peso a la hora de decisión de continuar el desarrollo de un proyecto renovable en la comunidad.

La encuesta se ha realizado mediante formulario on-line a través de la plataforma 'Google Forms' en el periodo comprendido entre los días 9 y 12 de diciembre de 2021. Ha constado de una única cuestión en la que se solicita la valoración del grado de influencia de 32 variables o situaciones a las que se enfrenta la integración de un proyecto de EERR en el sistema energético de la región. Se solicita una ponderación de 0 a 5 puntos, siendo 0 el mínimo, si no se considera el enunciado como una barrera, y 5 el nivel máximo de influencia. La valoración de todos los enunciados fue de obligado cumplimiento y con respuesta anónima. De esta manera, este formulario se ha distribuido a un total de 23 miembros de la Comunidad Autónoma de Andalucía, distinguiendo entre ellos, personal docente de la Universidad de Jaén, estudiantes de diferentes carreras y másteres de universidades de Andalucía y familiares y amigos cercanos.

En el Anexo III, se proporciona explícitamente la encuesta realizada junto con las respuestas obtenidas y un análisis de su media y desviación típica, como medida de dispersión de la opinión de la población. Conviene enfatizar que ninguna de las barreras propuestas se ha puntuado con 0 puntos, lo que deriva, a que se considera que todas influyen en mayor o menor medida en la integración de un proyecto de EERR. Además, la media de todas las respuestas es de un 3,4 de influencia, por lo que mayoritariamente se considera un grado medio de influencia mayoritario; siendo así, que la puntuación más baja es de un 2,7, valor nada despreciable, y la más alta un 4,1. Es más, la desviación de las respuestas nunca sobrepasa 1,5 puntos, por lo que, aunque la opinión de la población sea dispersa, no lo es en un grado muy notable.

La relación entre la cultura ambiental junto con el desarrollo de las energías renovables es algo que no empezó a tomarse tan en cuenta hasta no hace tanto tiempo, es en la Estrategia Energética de Andalucía Horizonte 2020 donde se enfatizó y enfocó como objetivo la involucración de toda la sociedad andaluza en los procesos de planificación energética mediante la incorporación de propuestas y sugerencias, invitándola a participar en el seguimiento de las actuaciones encaminadas a la consecución de los objetivos marcados. La adecuada percepción social es una variable vital en cualquier progreso. Actualmente, el público general percibe la tecnología renovable como algo moderno y beneficioso, sobre todo en el nuevo contexto de la lucha contra el calentamiento global, a partir del que la Unión Europea, el Estado español y las Administraciones Autonómicas presentan las energías renovables como muy importantes para la sociedad y para el progreso. Según los Eurobarómetros sobre la actitud de la población acerca de la energía de los años 2006 y 2007, un 90% de los españoles opina que las energías renovables deberían tener una cuota mínima de base en el mix de generación. Consiguiéndose actualmente con una reforzada campaña a favor de las renovables y la cultura sobre estas en todos los ámbitos en España, en general, y Andalucía, en particular, se cuenta con una importante movilización por la concienciación del uso de este tipo de tecnologías. Andalucía, que está al frente de generación con algunas tecnologías, como la solar o la biomasa, ayuda a acercar de una u otra manera las energías renovables a la población.

No obstante aún siguen existiendo estigmas sociales perjudiciales para las energías renovables que junto con un pequeño porcentaje existente de analfabetismo energético puede generar de forma paulatina un descenso de la aceptabilidad social de las energías renovables. Las variables analfabetismo energético, falta de información sobre los beneficios de las ER, oposición local al desarrollo de proyectos de ER y falta de conciencia ambiental, enunciadas en el formulario, están íntimamente ligadas, y, según los encuestados, alcanzan una media de más de 3,5 puntos de influencia en la integración de las renovables en el sistema energético; por lo que es una variable que las administraciones no deben de infravalorar.

Algunas zonas del territorio andaluz que presentan las mejores condiciones para la expansión de las energías renovables se encuentran ya saturados o en proceso de saturación como se puede observar en la ilustración 8.1. Se podrían citar, como ejemplos de territorios con la alta densidad de instalaciones de EERR, y Cádiz, para la energía eólica, o el Bajo Guadalquivir, para la energía termosolar. Pudiendo ser uno de los principales motivos para la oposición social hacia las renovables, entre otros. Son también muchos la percepción de las barreras citadas en el formulario como la vulnerabilidad paisajística que presentan las instalaciones eólicas o fotovoltaicas, la preferencia de las convencionales por sus rendimientos y rapidez, los conflictos de uso como cultivos agrarios destinados a la producción de biomasa. Existen, por tanto, varios grupos sociales que pueden tomar una posición contraria a estos tipos de energía: algunas organizaciones ecologistas y ONGs; las poblaciones afectadas, que no se benefician de las instalaciones de energías renovables, etc.

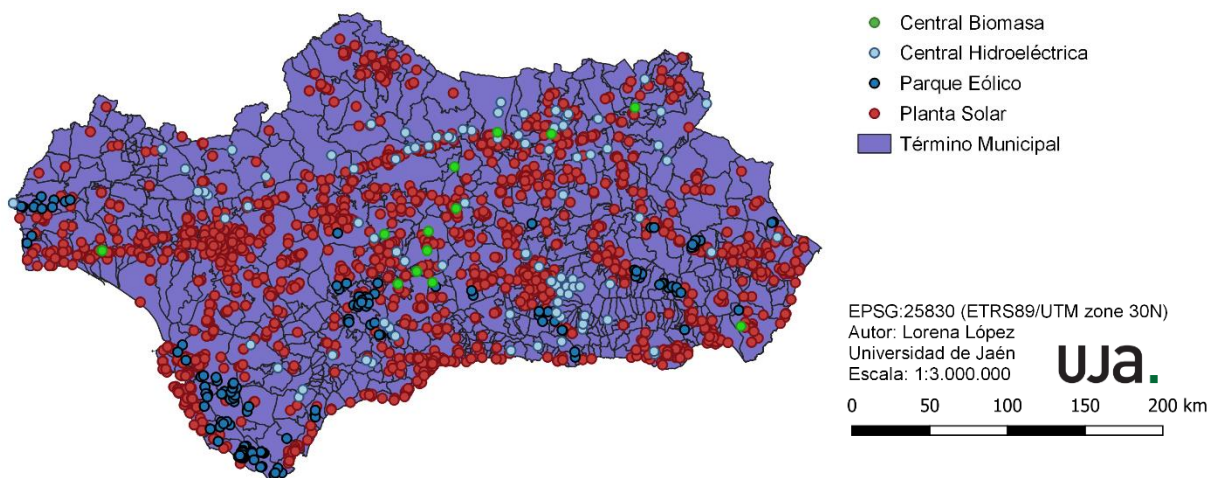


Ilustración 8.1. Centrales renovables a diciembre de 2018. Fuente: Elaboración propia.

Una gran oposición se genera a raíz de los criterios ambientales recogidos en el formulario. Pese a ser las llamadas energías limpias o energías verdes, por su carácter ecoamigable con el medio ambiente, no están exentas de connotaciones ambientales negativas. Los sistemas renovables, a diferencia de las energías convencionales, utilizan recursos dispersos, lo que da lugar a que las afecciones territoriales sean más importantes y notorias a la hora de integrar estos proyectos, particularmente en la forma más extensiva de generación, como la eólica y la solar fotovoltaica. Las zonas preferentes de localización es en el medio rural, donde su instalación es sencilla, rápida y barata, afectando a agricultores y ganaderos como se ha mencionado anteriormente, siendo esta variable considerada con 3 puntos de importancia alzándose, para los encuestados, entre las más influyentes en el género medioambiental.

Es notable que al ocupar mayor superficie, su implantación y localización aumenta su complejidad. La extensión en su dimensión paisajística provoca una exposición visual con condiciones estéticas que pueden considerarse desfavorables en la naturaleza (vulnerabilidad paisajística) y una pérdida de biodiversidad en el área. Los encuestados las sitúan a un nivel de 3,1 y 2,7 puntos de influencia, pero pueden ser de vital importancia en el paisaje andaluz, que a pesar de la conveniencia de ser la segunda comunidad más extensa en territorio de la nación, su suelo se caracteriza por su extensión rural y su riqueza natural. En total, prácticamente el 20 % del territorio andaluz se encuentra bajo protección de alguna institución, lo que supone aproximadamente el 30 % del territorio protegido en España. De ahí la paradoja y el conflicto que entraña la implantación territorial de las energías renovables. Paradoja en el sentido de que un tipo de energía que cuenta con un amplio respaldo social por la connotación genérica que conlleva: limpia, saludable y sostenible, es rechazada, a veces, debido a los impactos que ocasiona cuando se instala en el territorio concreto, local, próximo. El argumento sobre el deterioro del paisaje y pérdida de biodiversidad tiene cada vez más importancia en los movimientos ciudadanos por lo que Andalucía y todas las comunidades españolas se enfrentan al problema de encontrar un compromiso entre la necesidad de desarrollo de las energías renovables y la necesidad de la población de tener un marco de vida de calidad con la conservación de su identidad territorial y la necesidad de preservar la biodiversidad de cada territorio.

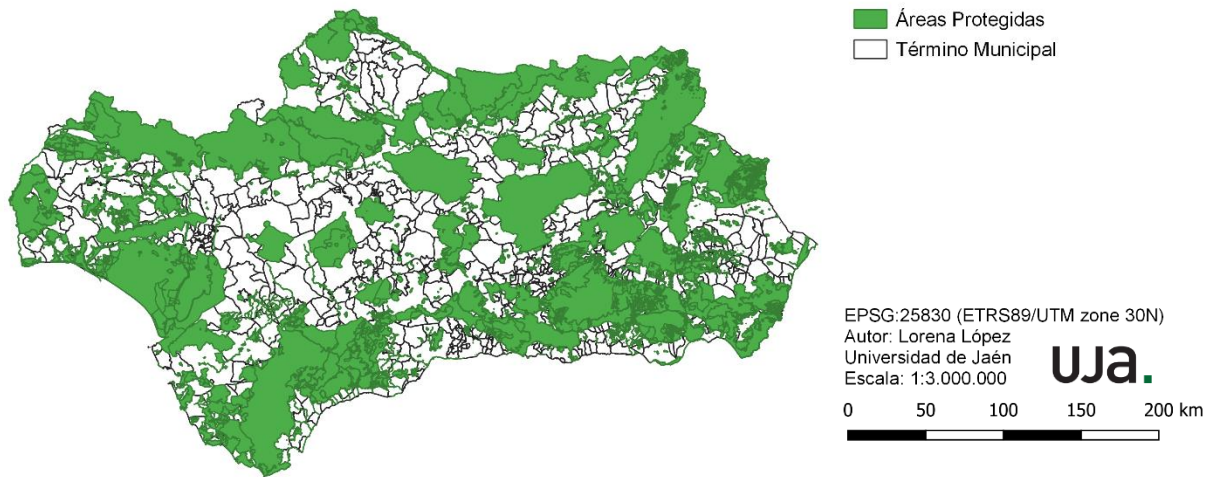


Ilustración 8.2. Áreas protegidas consideradas en el capítulo 7.4. para los criterios ambientales. Fuente: Elaboración propia.

Por todo ello, es de vital importancia llevar a cabo una exhaustiva evaluación del impacto en el entorno que pueda llegar a ocasionar la ejecución de estos proyectos. Sin más allá, pueden citarse protestas como la ocurrida el reciente pasado mes de septiembre de 2021 hacia el proyecto del parque eólico Llanos del Cuquillo en Las Arrodeas, Baza (Granada). La plataforma 'Di no a las Torres' proclamaba "las amenazas de los megaproyectos que irrumpen en el medio rural, destruyendo el paisaje, la biodiversidad y la forma de vida de los pueblos: la ganadería, agricultura, turismo rural". Según informa el diario digital, 'El Salto'¹¹. Si es destacable que no existe ninguna legislación establecida en toda España que regule la industrialización de plantas de generación eléctrica de ningún tipo en espacios naturales protegidos o vulnerables, dejando en manos de las comunidades este criterio. Si existen comunidades más prudentes o protectoras con el medioambiente que presentan restricciones específicas en estas áreas, principalmente para a fotovoltaica y eólica, en Andalucía no existe ninguna regulación totalmente limitadora de estas áreas para la implantación de plantas renovables, solo determinados planes de protección. Siendo necesaria la Evaluación de Impacto Ambiental en determinados proyectos, el Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico (MITECO) lanza a consulta pública el proyecto de Real Decreto que modifica los Anexos I y II de la Ley de evaluación ambiental (Ley 21/2013)¹² para adecuarla a la normativa europea e

¹¹**El Salto:** <https://www.elsaltodiario.com/energias-renovables/protestas-granada-baza-megaproyectos-energias-renovables>

¹²**Ley 21/2013**, de 9 de diciembre, de evaluación ambiental. Publicado en BOE núm. 296, de 11 de diciembre de 2013, páginas 98151 a 98227 (77 págs.)

incrementar así tanto la seguridad jurídica como el nivel de protección ambiental. El objetivo de garantizar evaluaciones de impacto ambiental más exigentes y acordes con la normativa europea.



Ilustración 8.3. Protesta en contra de proyecto renovable en Granada. Fuente: El Salto¹¹

Otro de los problemas ambientales de la generación eléctrica a partir de renovables, que no muy escandalizado socialmente, es el necesario uso de materiales tóxicos y contaminantes (cadmio y plomo, entre otros), principalmente en los paneles fotovoltaicos. Aún si para los encuestados, suponiendo la barrera de mayor influencia en el carácter ambiental, con una puntuación de 3,3. Además, la creciente demanda necesita de alternativas de bajo costo y más eficientes que las células solares basadas en materiales tan costosos de producir, como en silicio, las más utilizadas en la actualidad, a la vez de valiosos (como la plata). La gran cantidad de residuos que se generan al final de la vida útil de cada placa se suma a la contaminación que genera la extracción y producción de los componentes y la generada en el transporte de estos. Es necesario suplir estas dificultades aumentando la eficacia de los paneles (los más antiguos aprovechan solo un 20% de la energía solar que llega mientras los más avanzados aspiran a llegar al 80%); ampliar la vida útil de las instalaciones, variando estas entre 20 y 40 años; y utilizar materiales alternativos reciclables e inofensivos con el medioambiente. Si es cierto que están surgiendo nuevos materiales, como las perovskitas de haluro de plomo, pero estas son inestables y contienen plomo, uno de los elementos más contaminantes. Existen múltiples estudios en desarrollo investigando en esta materia, además, cabe destacar algunos países (EE UU, Alemania, Francia o Japón) que incorporan políticas de reciclaje para los paneles solares.

En el ámbito socioeconómico y regulatorio encontramos las condiciones más desfavorables para la integración de proyectos renovables en la región, desde el punto de vista de los encuestados. Andalucía construye un marco muy propicio para el desarrollo de las energías renovables a raíz de la preocupación generalizada de responder a los importantes retos energéticos de calidad, sostenibilidad y reducción de emisiones de CO₂. La administración andaluza apoya este desarrollo con una política energética que privilegia a las EERR en detrimento de las convencionales. Una de las concesiones con las que se demuestra el apoyo gubernamental a las EERR son los incentivos económicos, destacando la última convocatoria 2021-2023 de 97,2 millones de euros en incentivos coordinados por el IDAE y gestionados en Andalucía por la AAE. Destinados a instalaciones de autoconsumo con fuentes de energía renovable, almacenamiento y para equipos de energías renovables térmicas para climatización y agua caliente sanitaria para el sector residencial, las administraciones públicas, las entidades sin ánimo de lucro y los sectores productivos; lo cual motiva a los proyectos de menor escala. También se han de destacar, fuera del marco regional, las ayudas del Fondo Europeo de Desarrollo Regional (FEDER) de las que pueden beneficiarse proyectos de inversión en instalaciones de generación de energía eléctrica con fuentes de energía renovable en el territorio nacional.

Si es cierto que no siempre esta característica ha ido en auge, en 2015 se instauró el conocido “impuesto al sol” (peaje de respaldo que se aplicaba a la energía generada mediante el uso de instalaciones fotovoltaicas) suponiendo un retroceso en la transición energética de España hacia el autoconsumo fotovoltaico. Este impuesto debilitó las instalaciones FV durante tres años, siendo derogado en 2018. Como pudo observarse en esos años, el respaldo gubernamental y la falta de incentivos son variables decisivas en el desarrollo de proyectos de EERR, situando estas variables, para la encuesta realizada, entre las más puntuadas con un 3,9 y 4,1 respectivamente.

Es más, desfavorablemente, el marco regulatorio del sector eléctrico español ha sido muy cambiante e inestable, y, especialmente en la regulación de las energías renovables, alcanzando esta barrera 4 puntos de influencia. Desde la primera entrada en consideración de estas energías (impulsando la energía hidráulica) con la Ley del Sector Eléctrico (Ley 54/1997), se han dictado casi 400 disposiciones, lo que equivale

¹³Ley 54/1997, de 27 de noviembre, del Sector Eléctrico. Publicado en: BOE, núm. 285, de 28 de noviembre de 1997, páginas 35097 a 35126 (30 págs.)

a una cada 15 días aproximadamente, siendo así una legislación modificada más de 33 veces mediante Leyes o Reales Decretos-Leyes. En ningún otro sector económico regulado se han producido tantos cambios normativos, y tan relevantes, en un lapso temporal tan breve. Por lo que en este sector no se ha respetado a lo largo de su desarrollo unos mínimos criterios de técnica legislativa, lo que ha degradado muchas veces este sector y ha aumentado la incertidumbre de los inversores.

Entre los principales problemas financieros comunes a la mayoría de los proyectos de energías renovables, cabe citar los prolongados períodos de amortización acompañados de las altas inversiones iniciales que suponen estos proyectos, valorándose con 3,8 y 4 puntos de influencia respectivamente, dejando estas variables entre las más reacias al desarrollo de proyectos. Sin indicaciones claras del escenario futuro, se deriva a que los inversores y las instituciones financieras sean incapaces de tener una visión a largo plazo de los proyectos confirmando así un nivel de incertidumbre que perjudica notablemente a las renovables; acompañando esta situación de los largos y tediosos procedimientos administrativos junto con el coste que estos acarrear (aunque suelen implicar aproximadamente un 2% del coste total del proyecto), convierte al desarrollo de las renovables en un terreno farragoso e incierto dejándolas sin inversores y actores clave que financien y apoyen estas iniciativas limpias. Esta falta de inversores, la complejidad administrativa de los proyectos renovables y sus costes derivados sigue a las anteriores barreras con 3,6, 3,7 y 3,3 puntos de influencia. A la situación de riesgos económicos, técnicos y administrativos se suma el hecho de que la escala de muchos proyectos renovables es demasiado pequeña para muchas instituciones financieras, lo que explica que sean numerosos los proyectos energéticos renovables, sólidos y económicamente viables, que no superan la fase de planificación, siendo una de las explicaciones de la mentalidad de megaproyectos que se alza con un 3,2 de influencia.

Económicamente hablando la curva de costes de la mayoría de las fuentes renovables está decreciendo rápidamente pero su uso se ve en muchos casos obstaculizado por el mayor coste de inversión frente a los ciclos de combustible convencionales, siendo así valorada con un 3,4 de influencia. Ello se debe fundamentalmente al hecho de que los precios de la energía y los combustibles no

reflejan actualmente los costes totales, incluido el coste externo que representa para la sociedad el daño ambiental causado por el uso de combustibles fósiles y convencionales. En muchas ocasiones, la evaluación económica de un sistema renovable no considera aspectos como la durabilidad de las instalaciones, su escaso coste de operación y mantenimiento, la ausencia de gastos de combustible (y por lo tanto la independencia de los precios del mercado) y el coste ambiental positivo que supone la ausencia de emisiones de CO₂.

Aunque de cómo afectan las barreras tecnológicas y orográficas en un proyecto renovable en Andalucía se ha desarrollado a lo largo de todo este trabajo, cabe especificar sobre las más influyentes para los encuestados, aun de que estas barreras son las que conforman la puntuación más baja. La trayectoria e impulso de las energías renovables ha posibilitado el crecimiento del tejido industrial y empresarial especializado en las renovables, contabilizando 6.800 empresas del sector energético que generan 69.136 empleos directos. Aun así, muchos expertos señalan la falta de tejido industrial renovable en Andalucía y su dependencia nacional, si bien, en cuanto a formación experta, existen varias oportunidades académicas en las universidades andaluzas relacionadas con las renovables que proporcionan un alto nivel de personal cualificado desaprovechado por la falta de industria renovable. La falta de formación experta se valora en Andalucía con un 2,9 de puntuación y la ausencia de industria renovable con una puntuación mucho mayor, de 3,4 puntos.

En el caso de las infraestructuras de distribución la electricidad se mencionó el obstáculo que supone la falta de puntos de vertido y el necesario refuerzo de esta. Aunque en la actualidad el sistema permite la evacuación de la energía generada en Andalucía sin grandes restricciones, el escenario esperable para el medio y largo plazo de un crecimiento de la generación, en particular con fuentes renovables, hace prever una saturación de las redes de transporte de energía, que podría llevar a unas mayores restricciones y una desventaja respecto a otras regiones de España a la hora de captar nuevos proyectos de generación, consiguiendo esta barrera 2,9 puntos de influencia. Además, en la actualidad se promociona la llamada generación distribuida (3 puntos de influencia), es decir, situar el punto de generación cerca del punto donde se consume. Esta tendencia se observa con la distribución y aumento de presencia de subestaciones cerca de los núcleos de población en la siguiente imagen.

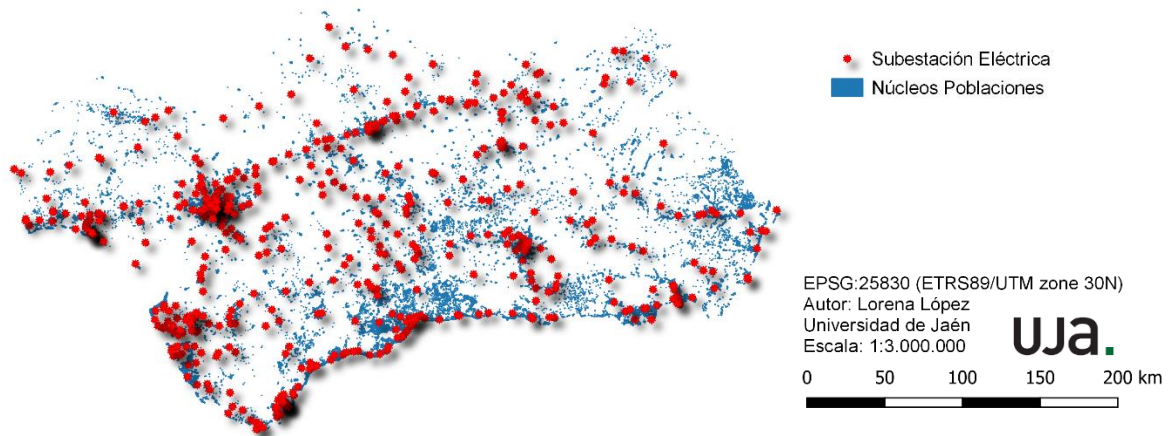


Ilustración 8.4. Presencia de subestaciones y núcleos urbanos en Andalucía. Fuente: Elaboración propia.

Y, finalmente, la gran lacra de las renovables es, como se ha mencionado anteriormente, la competencia existente con las energías convencionales. Aunque las energías limpias están superando esta fuerte competencia a pasos agigantados, todavía restan déficits de las primeras por mejorar para superar a la barrera de la dependencia con las energías derivadas del petróleo. Entre estas características, resaltan el bajo factor de planta, es decir, el bajo ratio de generación por potencia instalada en una planta, altamente ligado a la necesidad de grandes espacios para la instalación del sistema de generación y del elevado rendimiento de generación de las instalaciones y componentes de energía de las convencionales frente a las renovables. La idea de esta gran diferencia de rendimiento supone uno de los grandes estigmas sociales de las renovables, llegando a una puntuación de 3,1 puntos para los encuestados, además de añadir la mayor rapidez para suplir la demanda con convencionales y su facilidad de adaptarse a los vaivenes de demanda, alcanzando un 3,3 de puntuación.

No obstante, las nuevas tecnologías están trayendo soluciones a estas y otras muchas limitaciones. Las energías renovables están siendo mucho más competitivas que no hace muchos años, gracias a la apuesta por la investigación, innovación y desarrollo; por lo que es una acción en la que no se puede dejar de invertir para el progreso de las renovables, llegando a valorarse con 3 puntos de influencia en el formulario realizado. Como ya se ha mencionado, Andalucía cuenta con numerosos centros de investigación y universidades con oferta académica especializada en las EERR, empresas con una amplia experiencia en tecnología innovadora energética y múltiples proyectos de investigación en las EERR en desarrollo.

9. CONCLUSIONES

Este trabajo de fin de máster ha pretendido servir de apoyo al desarrollo de las energías renovables para la generación eléctrica en cualquier región y, principalmente, despuntar el territorio andaluz y su altísimo potencial renovable gracias a su clima privilegiado, su riqueza natural y su adecuada orografía. Tras el estudio de la situación actual en este ámbito en Andalucía, puede concluirse que es una comunidad comprometida con el desarrollo sostenible de su gestión energética y con una amplia extensión de plantas de generación eléctrica partir de fuentes renovables.

En primer lugar, quiere destacarse, entre la amplia bibliografía consultada, la dificultad encontrada para unificar criterios y pautas para la estimación del potencial energético de una región, siendo dispares los procedimientos de un estudio a otro. Además de no haberse encontrado ningún estudio a día de hoy en el que se realice exhaustivamente un estudio del potencial renovable en todo el territorio andaluz que incluya, además de las variables técnicas y orográficas, las variables económicas, ambientales o culturales que puedan influir en ese potencial. En virtud de ello, este trabajo pretende definir una metodología concreta y completa incluyendo estas variables, que, como se ha visto pueden ser muy influyentes en el desarrollo de un proyecto renovable; y aplicarla a la comunidad de Andalucía para demostrar su viabilidad y corroborar el ya mencionado gran potencial renovable andaluz.

El desarrollo de esta metodología pretende facilitar el estudio del potencial renovable en cualquier región, asegurando que, con el cumplimiento de todas sus fases, se consigan unos resultados consistentes en los que se incorporen todas los factores influyentes para las energías renovables y la integración de estas en una matriz energética; factores tanto tecnológicos y orográficos, como económicos, culturales, ambientales y legales. La aplicación de la metodología demuestra que, si bien los SIG todavía no constituyen una herramienta generalizada en los estudios de este campo, su competencia para este fin es enorme debido a las propias características espaciales de las EERR y a la capacidad de los SIG para gestionar y analizar la voluminosa cantidad de datos georreferenciados en cualquier extensión de territorio. De esta manera, se consigue la obtención de valores energéticos en MW anuales para todo el territorio andaluz, y su distribución.

Para conseguir aprovechar el potencial y una integración más efectiva de las EERR en una región, es necesario un planeamiento integrado que combine el sistema energético, el socioeconómico, el ambiental, el cultural y el territorial. Para ello, se han usado las técnicas AMC; permitiendo estas, evaluar variables de tipo tanto cuantitativo como cualitativo. Su aplicación a la problemática territorial ha sido exitosa, así como su integración en los programas SIG. Con ellas, se ha conseguido la individualización de las alternativas espaciales y su evaluación respecto a alcanzar los determinados criterios dependientes del territorio, logrando un modelo locacional, donde el territorio de estudio se divide conforme una escala de valores de aptitud al desarrollo de un proyecto cumpliendo uno de los objetivos de este trabajo, la integración de variables de distinta índole, a parte de las técnicas y orográficas.

También destacar la facilidad que ha supuesto la existencia de datos libres de recurso, no habiendo sido necesario la realización de simulaciones para su estimación, lo que ha agilizado el progreso de este trabajo. Varias instituciones proporcionan estas bases de datos de recurso en formato compatible con el software SIG, tanto de radiación solar, velocidad y densidad de viento a diferentes alturas y de hectáreas de olivar. Las estimaciones de estas variables pueden consultarse para territorios y países de todos los continentes, habiéndose conseguido con márgenes de error muy bajos.

Con el procedimiento seguido y los cálculos realizados se han conseguido unos resultados relativamente buenos para un primer estudio de potencial de generación eléctrica a partir de energía solar fotovoltaica, eólica y biomásica en el territorio andaluz. Si bien, se deberían de considerar más criterios en el capítulo 7.4. para la fase de AMC, la metodología aplicada en este trabajo tenía el fin de realizar una primera aproximación de potencial energético renovable y de demostrar la viabilidad de la metodología en sí, es por ello que los valores de potencial alcanzan valores demasiado altos. Como línea de futuro uso de la estrategia diseñada en este trabajo, para un estudio más profundizado y exhaustivo, pueden considerarse más condiciones y variables influyentes en el potencial dependiendo de los intereses de la localidad de estudio o de la persona o institución que lo realice.

Aun así, se han conseguido resultados muy interesantes y contundentes; se alcanzan unos altísimos potenciales, sobre todo de energía solar fotovoltaica y de biomasa de subproductos del olivar, los cuales deberían de incentivarse un mayor desarrollo de estos proyectos. Especialmente del uso de la biomasa para la generación de energía, siendo uno de los recursos con más posibilidades de desarrollo, en Andalucía y en España, por la cantidad de biomasa disponible y desaprovechada energéticamente (para fin eléctrico o térmico) a partir de residuos (forestales, agrícolas, leñosos, herbáceos, industrias agrarias y silvícolas) como de cultivos energéticos.

Tras el estudio de los posibles enclaves para la implantación de las diferentes plantas de generación de energía eléctrica en el territorio Andaluz, de acuerdo con los criterios empleados en el desarrollo del proyecto, llegamos a la conclusión de que los enclaves más prósperos son las zonas del valle del Guadalquivir, como muchos otros estudios concluyen. También puede concluirse que las variables socioeconómicas, medioambientales y culturales, pueden influir más de lo que cabría imaginar en la localización de una planta, como ha ocurrido en el potencial eólico, el cual en un principio, las zonas con mayor potencial bruto se encontraban en zonas costeras, dónde la presencia de patrimonio y enclave naturales protegidos ha cambiado las tornas y ha hecho que esas zonas pasen a una aptitud de implantación media.

Finalmente, se quiere destacar el uso de la encuesta realizada para la ponderación de los factores que influyen en el potencial de integración de las EERR en Andalucía y el agradecimiento a la participación de compañeros de máster, familiares, amigos y personal docente de la Universidad de Jaén. Antes de realizarla, se recogieron en la tabla 5.1. todas estas barreras a las que puede enfrentarse un proyecto de EERR en cualquier país, sirviendo esta para que cualquier otro proyecto en otro territorio distinto pueda consultar cuáles de estas alcanzan mayor magnitud en su nación. La realización de la encuesta ha sido muy útil para concluir cuales son las barreras en las que tanto la administración, gobierno y población andaluces deben trabajar y superar. Para los encuestados, representantes de todos los ámbitos de la población andaluza, los factores socioeconómicos son los más determinantes, tales como la falta de financiación e incentivos a las EERR o las grandes inversiones iniciales que supone emprender un proyecto renovable. Así como, también, se

consideran a la par de influyentes las variables políticas y regulatorias como la falta de apoyo gubernamental y los marcos legales cambiantes y poco favorables por los que se rigen las EERR en Andalucía y España. Es esencial entonces, el papel desarrollado por los actores sociales, entre los que destacan las autoridades locales y regionales, siendo necesario que los diferentes agentes de decisión dispongan de instrumentos de planificación energética regional, que evalúen las potencialidades técnicas y económicas de las energías renovables, que incluyan programas que apunten a fortalecer la introducción de las tecnologías renovables en la matriz de generación eléctrica y dotar de normativas que planteen un uso eficiente y sostenible de la energía eléctrica. También se ha valorado la falta de conciencia ambiental de la población como factor limitante, por lo que, además del esfuerzo institucional, es necesario avanzar en la investigación y en la difusión de los conocimientos tecnológicos a la sociedad, fomentando así su aceptación y su demanda. Sin duda alguna esta es una de las principales bazas para superar las barreras de la integración de las energías renovables, ya que permite desarrollar una tecnología más competitiva y mejorar su posición en los aspectos territoriales, ambientales y sociales.

BIBLIOGRAFÍA

Agencia Andaluza de la Energía. (s.f.). *Información energética. Generación eléctrica*. Recuperado el 25 de septiembre de 2021 de <https://www.agenciaandaluzadelaenergia.es/es/informacion-energetica/infraestructuras-energeticas/energia-electrica/generacion-electrica>>

Agencia Andaluza de la Energía (2021a). *Potencia eléctrica instalada con tecnologías renovables, cogeneración y residuos*. [Archivo PDF]. https://www.agenciaandaluzadelaenergia.es/sites/default/files/Documentos/Infraestructuras/tabla_cogen_renov_residuos_jun2021.pdf>

Agencia Andaluza de la Energía (2020a). *Centrales convencionales existentes en Andalucía*. [Archivo PDF]. https://www.agenciaandaluzadelaenergia.es/sites/default/files/Documentos/Infraestructuras/tabla_generacion_convencional_dic2020-2.pdf>

Agencia Andaluza de la Energía (2019). *Situación energética de Andalucía. BALANCE 2019*.

Agencia Andaluza de la Energía (2021b). *Informe de Infraestructuras Energéticas, Andalucía*.

Agencia Andaluza de la Energía (2021c). *Plantas de generación e infraestructuras energéticas de Andalucía 2021*. <https://www.agenciaandaluzadelaenergia.es/es/biblioteca/plantas-de-generacion-e-infraestructuras-energeticas-de-andalucia>>

Agencia Andaluza de la Energía (2020b). *Potencial de centrales renovables en Andalucía*.

Marquina J., Colinet M.J. y Pablo-Romero M.P (2021). *The economic value of olive sector biomass for thermal and electrical uses in Andalusia (Spain)*. Renewable and Sustainable Energy Reviews, Volume 148, 111278, ISSN 1364-0321.

Terrados J., Ruiz-Arias J.A., Hontoria L., Almonacid G., Pérez P.J., Pozo-Vázquez D., Gallego Fj., Gómez P., Castro E., Martín-Mesa A., Del Jesús M.J. (2011). *Proyecto Mágica: estudio, análisis y desarrollo de un modelo energético basado en el uso masivo de energías*

renovables (biomasa, fotovoltaica y eólica) para producción de electricidad en la provincia de Jaén. Universidad de Jaén.

Díaz Cuevas, M.P., Pita López, M.F., Fernández Tabales, A., & Limones Rodríguez, N. (2017). *Energía eólica y territorio en Andalucía: diseño y aplicación de un modelo de potencialidad para la implantación de parques eólicos.* Investigaciones Geográficas, (67), 9-29.

Díaz Cuevas, M.P., Pita López, M.F. y Zoido Naranjo F. (2011). *El papel de la red eléctrica en la definición de las potencialidades territoriales para la implantación de la energía eólica en Andalucía.* Asociación de Geógrafos Españoles. Congreso (22º. 2011. Alicante), 109-118

Arán J., Espín A., Aznar F. y Ramos A. (2008). *The electricity production capacity of photovoltaic power plants and the selection of solar energy sites in Andalusia (Spain).* Renewable Energy, Volume 33, Issue 4, Pages 545-552, ISSN 0960-1481.

Agencia Andaluza De La Energía (2015). *Estrategia Energética de Andalucía 2020.*

Agencia Andaluza De La Energía (2021). *Directrices Energéticas de Andalucía. Horizonte 2030.*

Domínguez, J. (2002). *Los Sistemas de Información Geográfica en la Planificación e Integración de Energías Renovables.* CIEMAT. Madrid.

Lozano García D.F., Santibañez Aguilar J.E., Lozano F.J y Flores Tlacuahuac A. (2020). *GIS-based modeling of residual biomass availability for energy and production in Mexico.* Renewable and Sustainable Energy Reviews, Volume 120, 2020, 109610, ISSN 1364-0321.

Aymamí J., García A., Lacave O., Lledó Ll., Mayo M., Parés S. (2011). *Análisis del Recurso. Atlas Eólico de España. Estudio Técnico Per 2011- 2020.* Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía. Madrid.

Centro Nacional de Energías Renovables (2018). *New European Wind Atlas.* <<https://map.neweuropeanwindatlas.eu/>>

Villarubia López, M. (2013). *Ingeniería de la Energía Eólica,* Alfaomega Grupo Editor, S.A de C.V. México, D.F.

Flores-Irigollen, A., Toledo-Cornejo, J.A., Mata-Vaca, G.I.; Aguilar-Burgoin, H.A.; Bermúdez-Contreras, A., Lauterio-García, R. (2017). *Metodología para la Evaluación del Potencial Eólico en una Región Específica*. XXIV Congreso Nacional de Ciencia y Tecnología del Mar. México.

Cabrera A.V., Cornejo J.M, Ordás I., Tolosana E, Ambrosio Y., Martínez I., Vignote S., Hotait N., Lafarga A. y Garraza J.A. (2011). *Evaluación del potencial de Energía de la Biomasa. Estudio Técnico Per 2011- 2020*. Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía. Madrid.

Domínguez Bravo, J., Ciria, P., Esteban, L. S., Sánchez, D., Lasry, P. (2003). *Evaluación de la biomasa potencial como recurso energético en la región de Navarra (España)*. GeoFocus (Informes y Comentarios), nº 3, p.1-10. ISSN: 1578- 5157.

Antolín Giraldo G., González Falcones L., Díez Castilla S. y López Alonso R. (2006). *Evaluación del Potencial de Aprovechamiento Energético de la Biomasa en Castilla y León*. Universidad de Valladolid.

Hung V. (2011). *Propuesta Metodológica de Selección de Empalamientos Viables para Instalaciones de Energía Solar Fotovoltaica*. Trabajo de Fin de Máster. Universidad Complutense de Madrid.

Posso, F., González J., Guerra F., Gómez H. (2014). *Estimación del potencial de energía solar en Venezuela utilizando sistemas de información geográfica*. Revista Geográfica Venezolana, 55(1), 27-43. ISSN: 1012-1617.

Santos Preciado J.M. (1997). *El planteamiento teórico multiobjetivo/multicriterio y su aplicación a la resolución de problemas medioambientales y territoriales, mediante los S.I.G. Ráster*. Espacio, Tiempo y Forma, Serie VI, Geografía, t. 10, 1997, págs. 129-151.

Gutiérrez Velayos J., Aguiló Pastrana M.L. y Velázquez Saonil. J. (2018). *Metodología para la Localización Óptima de Instalaciones de Energía Solar Fotovoltaica en la Isla de Tenerife, España*. Comarca 2018. Congreso Nacional del Medio Ambiente. Universidad Católica de Ávila.

Quijano R. (2012). *Diseño e Implementación de una Plataforma Integrada de Modelización de Modelación para la planificación Energética Sostenible –MODERGIS-. “Estudio de Caso Colombia”*. Informes Técnicos Ciemat. 1268.

Romero I.E. y Jara D.A. (2020). *Identificación de las Barreras que obstaculizan la Expansión de la Energía Eólica y Solar Fotovoltaica como Fuentes de Generación Eléctrica en el Ecuador*. Trabajo de Fin de Carrera. Cuenca. Ecuador.

Gobierno de Navarra (2017). *Plan Energético de Navarra Horizonte 2030 (PEN 2030)*. Departamento de Desarrollo Económico. Dirección General de Industria, Energía e Innovación. Comunidad Foral de Navarra. (pp.118)
<https://gobiernoabierto.navarra.es/sites/default/files/pen_2030_borrador_definitivo_20170330.pdf>

Decreto Ley 14/2020, de 7 de agosto, de medidas para acelerar la implantación de instalaciones para el aprovechamiento de las energías renovables por la emergencia climática y la necesidad de la urgente reactivación económica. *Diario Oficial de la Generalitat Valenciana*. núm. 8893, de 28 de agosto de 2020, páginas 32878 a 32930

De la Paz-Blanco, C. (2012). *Metodologías para la Localización Óptima de Centrales de Biomasa y Minihidráulica como Recursos Energéticos Renovables en la Comarca de El Bierzo*. Trabajo Fin de Master. Universidad Complutense de Madrid.

Junta de Andalucía (2008). *Potencial Energético de la Biomasa Residual Agrícola y Ganadera en Andalucía*. Consejería de Agricultura y pesca. [Archivo PDF].
<<https://www.juntadeandalucia.es/export/drupaljda/biomasa.pdf>>

Cruz Peragón F. y Palomar Carnicero J.M. (s.f.). *Tecnología Energética*. Escuela Politécnica Superior de Jaén. Universidad de Jaén.

Fondo Español de Garantía Agraria, FEAGA. (2021). *Resumen de los datos contenidos en el SIGPAC para la campaña 2021*. Ministerio De Agricultura, Pesca, Y Alimentación.
<https://www.fega.es/sites/default/files/48406_26_Nota_web_resumen_datos_USOS_CA_SIGPAC_2021.pdf>

La Cal Herrera J.A (2020). *Estrategias para la Transformación de las Industrias del Sector Oleícola (Almazaras y Extractoras de Aceite de Orujo) en Bioindustrias*. VII Premio de Investigación del Consejo Económico y Social de la provincia de Jaén. Diputación Provincial De Jaén.

Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico, MTERD. (2020). *Zonificación Ambiental para la Implantación de Energías Renovables: Eólica y Fotovoltaica. Sensibilidad ambiental y Clasificación del Territorio*. Gobierno de España.



UNIVERSIDAD DE JAÉN

ANEXO I:

ÍNDICES DE RESIDUO DE BIOMASA AGRÍCOLA

ANEXO I: ÍNDICES DE RESIDUO DE BIOMASA AGRÍCOLA

A continuación se recogen los índices de residuo de los cultivos agrícolas más extendidos utilizados para la explotación de biomasa como recurso energético renovable.

Tabla A.1. Índices de residuo. Fuente: Elaboración propia en base a resultados del Laboratorio de Caracterización de la Biomasa del CIEMAT, Junta de Andalucía (2008) y La Cal J.A. (2020).

CULTIVO	IR (kg residuo / kg producto)	CULTIVO	IR (kg residuo / ha cultivada)	
Trigo	1,2	Olivar	Hueso bruto (almazara + extractora)	480
Maíz	2		Orujillo	900
Cebada	1,3		Ramón	310
Avena	1,3		Leña	250
Sorgo	1,7	Almendro		1.300
Girasol	1,5	Viñedo		3.500
Arroz	1,5	Cítricos		2.000
Algodón	1,8	Melocotonero		3.500
Remolacha	0,3	Aguacate		2.000
Tomate	0,1	Residuos vegetales de invernadero		28.500



UNIVERSIDAD DE JAÉN

ANEXO II:

PODER CALORÍFICO INFERIOR DE BIOMASA AGRÍCOLA

ANEXO II: PODER CALORÍFICO INFERIOR DE BIOMASA AGRÍCOLA

A continuación se recogen los valores PCI de los cultivos agrícolas más extendidos utilizados para la explotación de biomasa como recurso energético renovable:

Tabla A.1. Poder calorífico inferior. Fuente: Elaboración propia en base a resultados del Laboratorio de Caracterización de la Biomasa del CIEMAT, Junta de Andalucía (2008) y La Cal J.A. (2020).

CULTIVO		Porcentaje de humedad (%)	PCI (kJ / kg)
	Trigo	12	15.499,53
	Maíz	12	15.059,92
	Cebada	12	15.549,78
	Avena	12	15.629,32
	Sorgo	10	15.198,08
	Girasol	12	14.159,76
	Arroz	10	15.198,08
	Algodón	10	15.198,08
	Remolacha	10	15.198,08
	Tomate	10	15.198,08
Olivar	Hueso bruto (almazara + extractora)	0	19840,6
	Orujillo	10	17584,56
	Ramón y leña	26	18003,24
	Almendra	20	12.568,77
	Viñedo	20	13.732,70
	Cítricos	20	12.568,77
	Melocotonero	20	12.568,77
	Aguacate	20	9.001,62
	Residuos vegetales de invernadero	60-80	9.001,62



UNIVERSIDAD DE JAÉN

ANEXO III:

ENCUESTA DE INTEGRACIÓN DE ENERGÍAS RENOVABLES (BIOMASA, SOLAR FOTOVOLTAICA Y EÓLICA) EN ANDALUCÍA

**ANEXO III: ENCUESTA DE INTEGRACIÓN DE ENERGÍAS RENOVABLES
(BIOMASA, SOLAR FOTOVOLTAICA Y EÓLICA) EN ANDALUCÍA**

Se presenta un enunciado de cómo rellenar correctamente la encuesta, teniendo en cuenta la obligatoriedad de puntuación de todos los enunciados y la respuesta anónima:

A continuación, se recogen las posibles barreras a las que se enfrenta un proyecto de energías renovables (ER) a la hora de ser integrado en la matriz energética de una región. Por favor, valore el grado de influencia que, a su juicio, tienen estas barreras en la integración de las energías renovables en el sistema energético de su región. Para ello puntúe cada enunciado entre 0 y 5 puntos, siendo 0 el mínimo, si no se considera el enunciado como una barrera, y 5 el nivel máximo de influencia (es una barrera que influye mucho en la integración de las ER).

Resumen de la encuesta

Periodo de realización: 9/12/2021 - 12/12/2021

Tamaño: 23 encuestas online

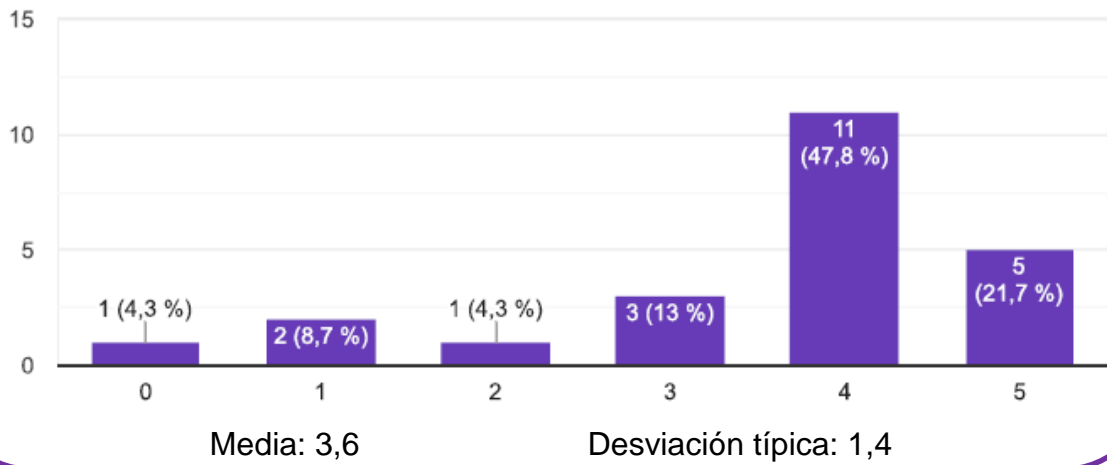
Formato de respuesta: Escala lineal de 0 a 5

Respuesta: Anónima

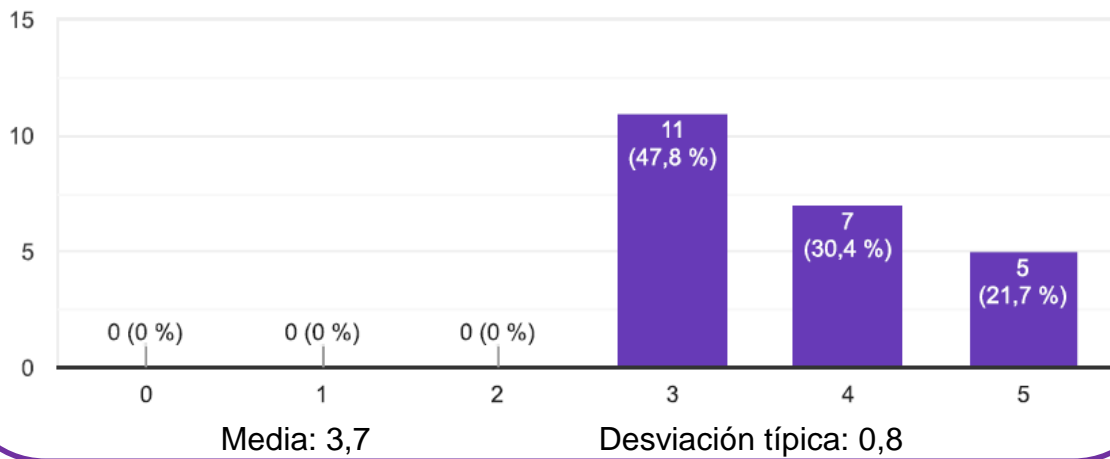
Las 23 respuestas recogidas se muestran a continuación, junto con la media de estas y su desviación típica como medida de dispersión:

BARRERAS CULTURALES

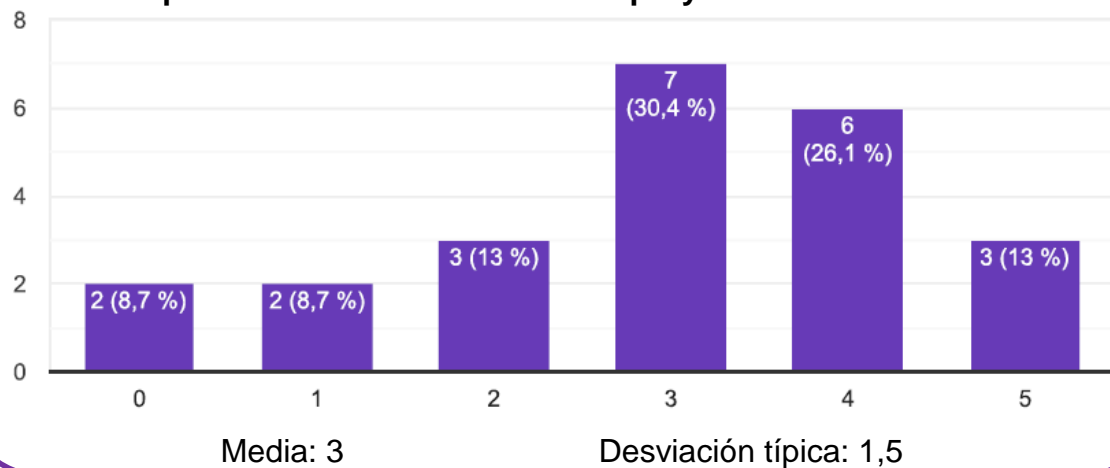
1. Analfabetismo energético de la población.



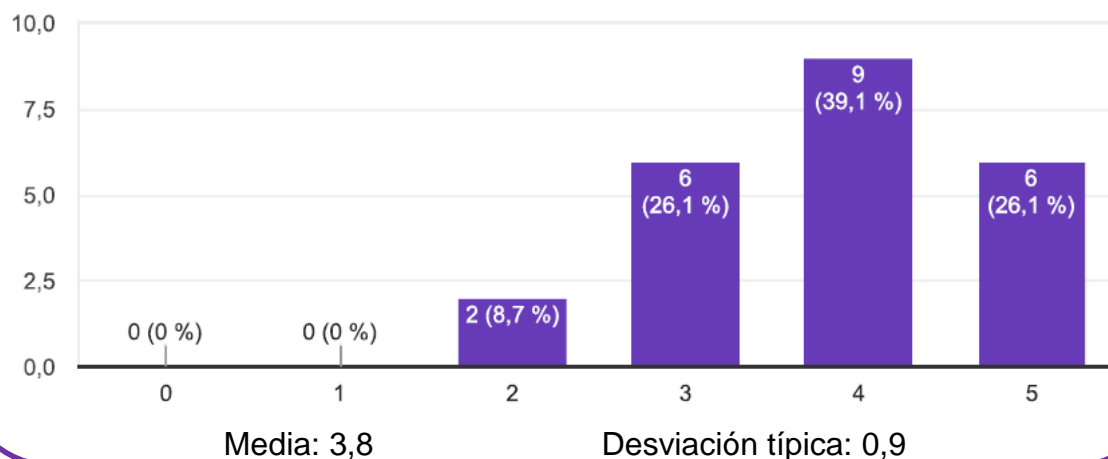
2. Falta de información sobre los beneficios de las ER.



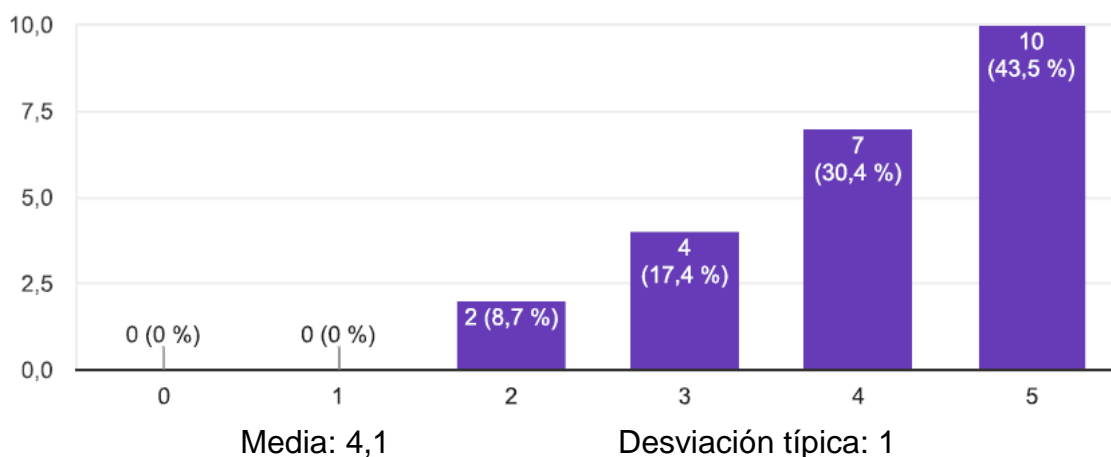
3. Oposición local al desarrollo de proyectos de ER.



4. Falta de conciencia ambiental.

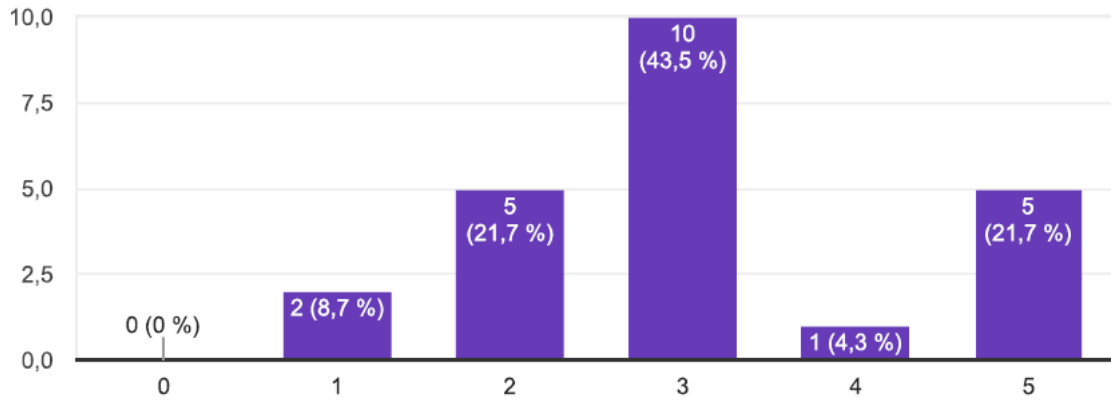


5. Presencia de patrimonio protegido por la UNESCO o de interés arqueológico o cultural



BARRERAS AMBIENTALES

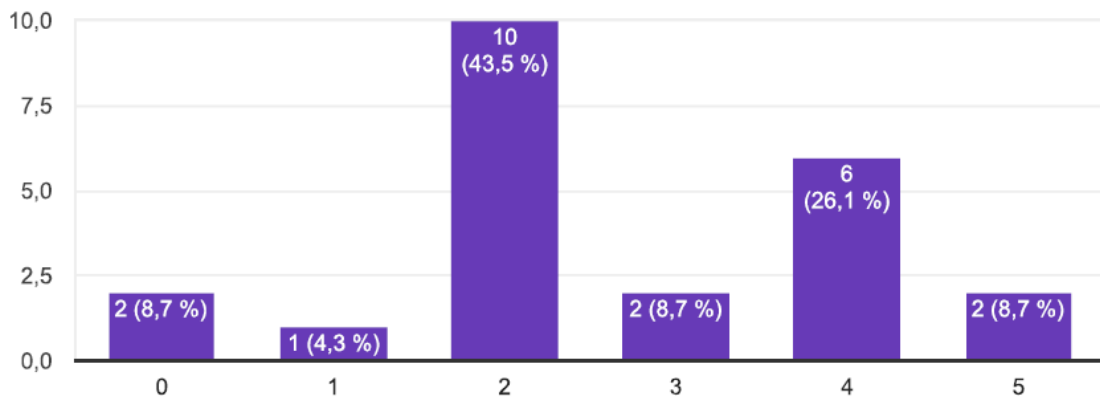
1. Vulnerabilidad paisajística: condiciones estéticas desfavorables con la instalación de proyectos de ER.



Media: 3,1

Desviación típica: 1,2

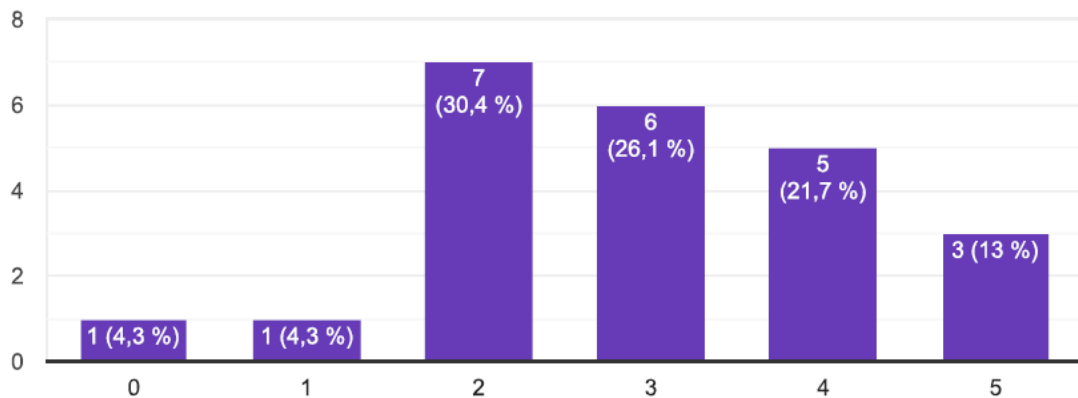
2. Pérdida de biodiversidad con la instalación de plantas de ER.



Media: 2,7

Desviación típica: 1,4

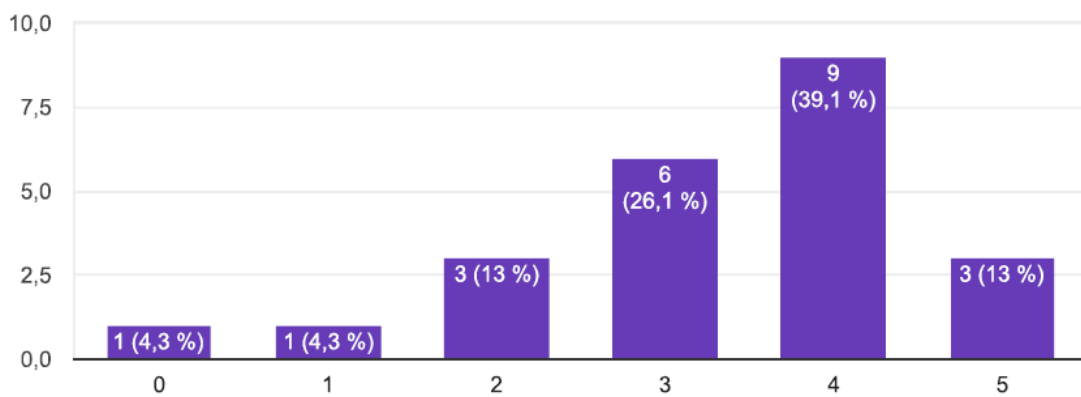
3. Conflictos de usos del suelo (p.e. cultivos agrarios que pudieran ser destinados para el aprovechamiento alimentario en lugar de a la producción de biomasa).



Media: 3

Desviación típica: 1,3

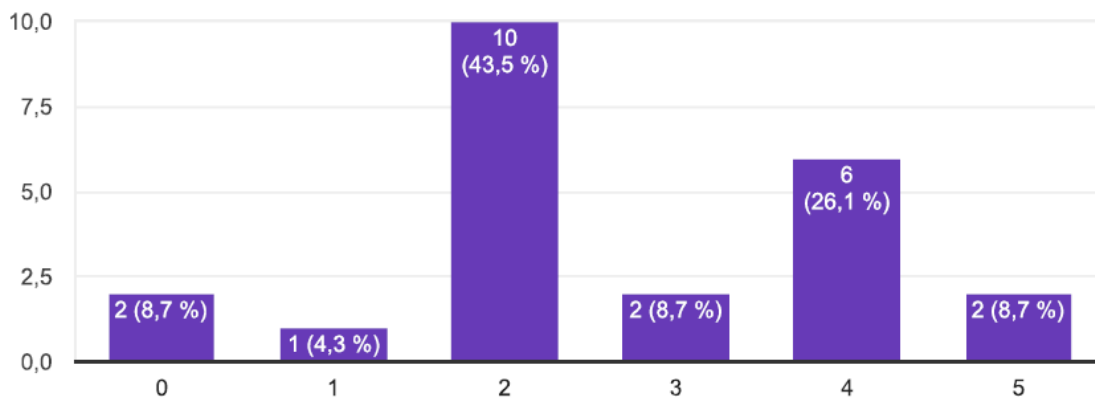
4. Necesidad en los sistemas fotovoltaicos de materiales costosos de producir (silicio) y tóxicos (cadmio y plomo, entre otros).



Media: 3,3

Desviación típica: 1,3

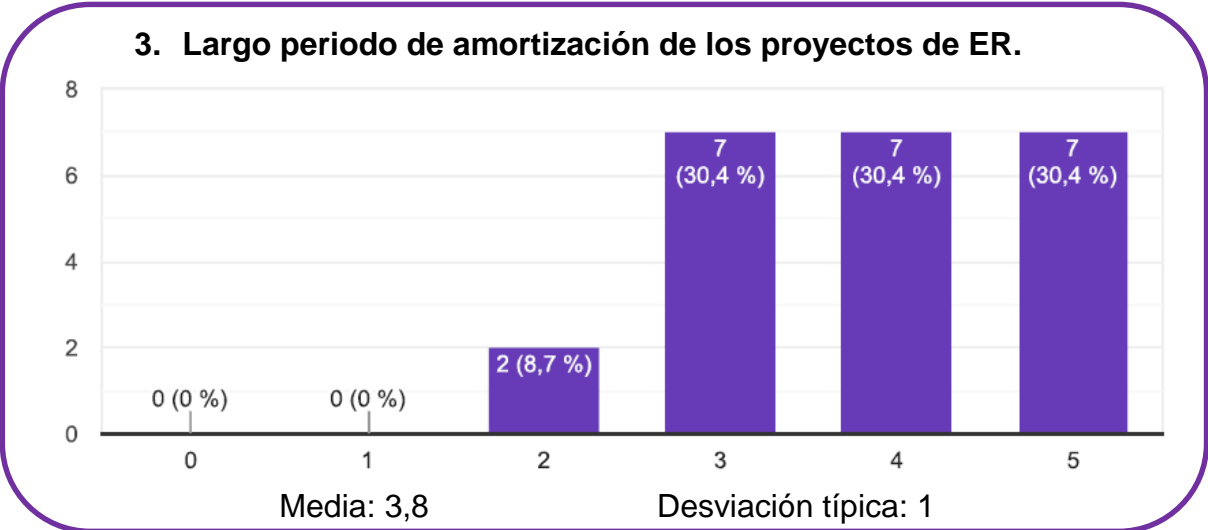
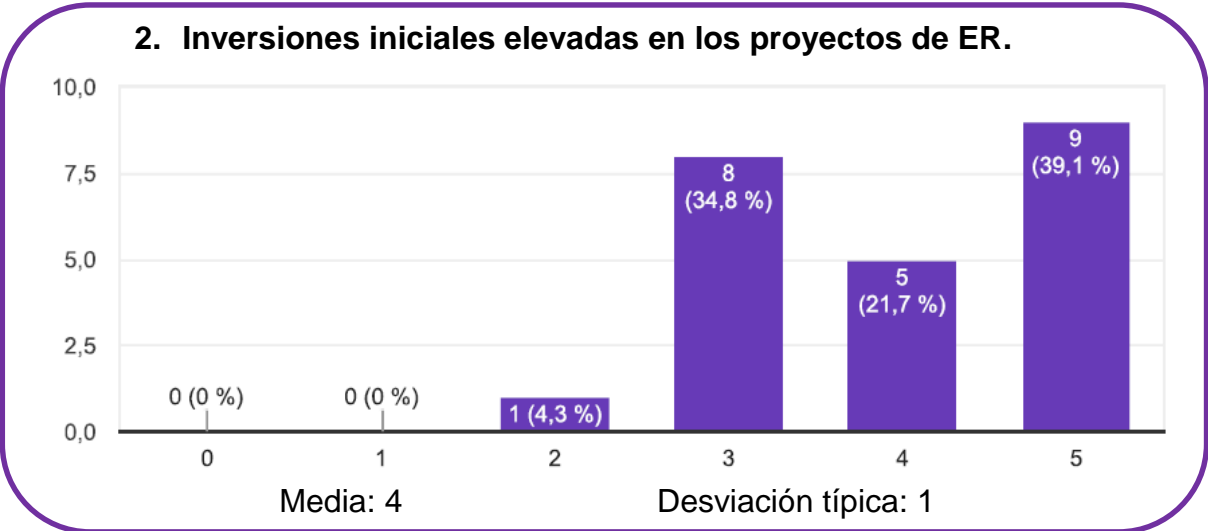
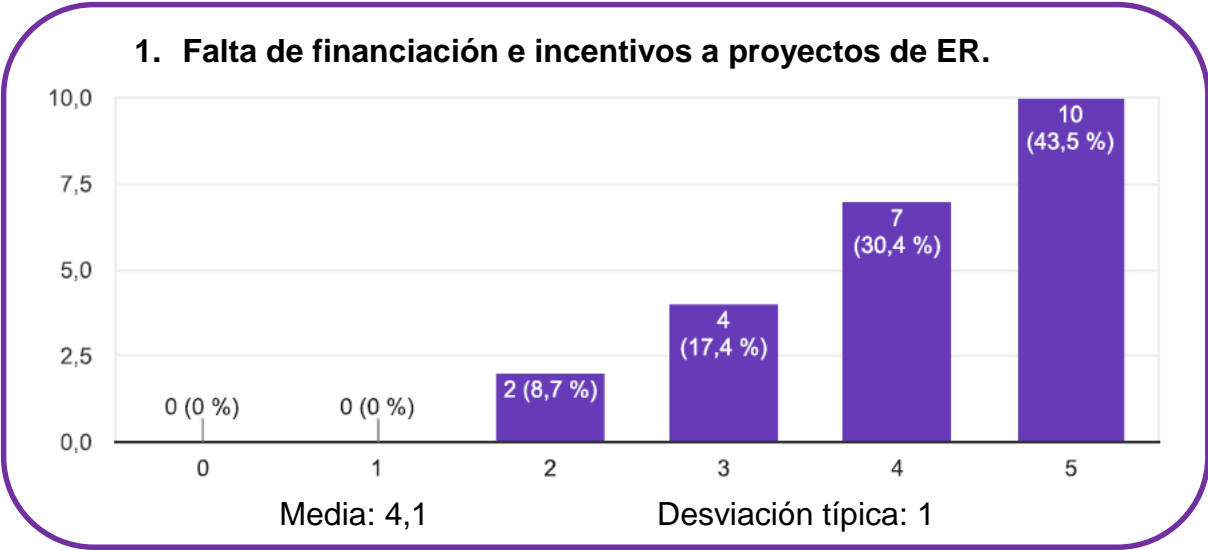
5. Emisiones contaminantes de la biomasa.



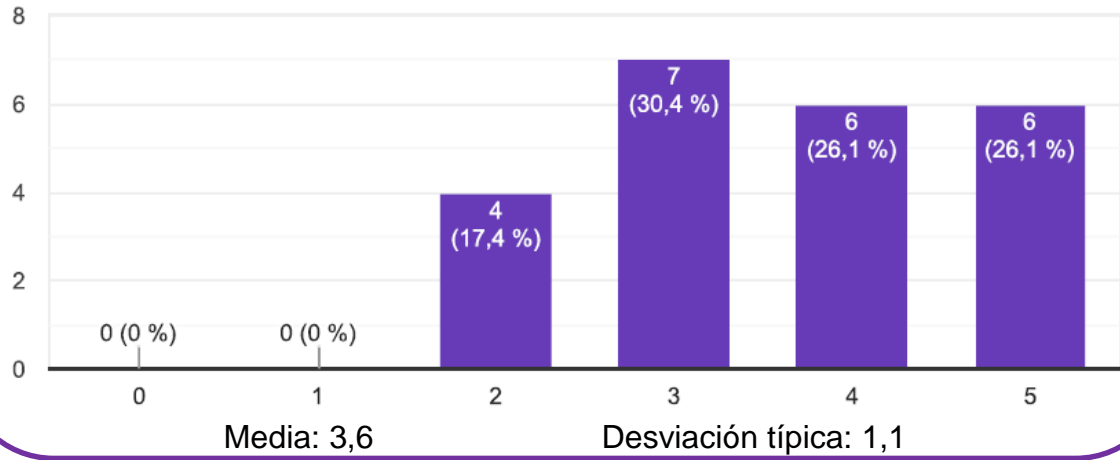
Media: 2,7

Desviación típica: 1,4

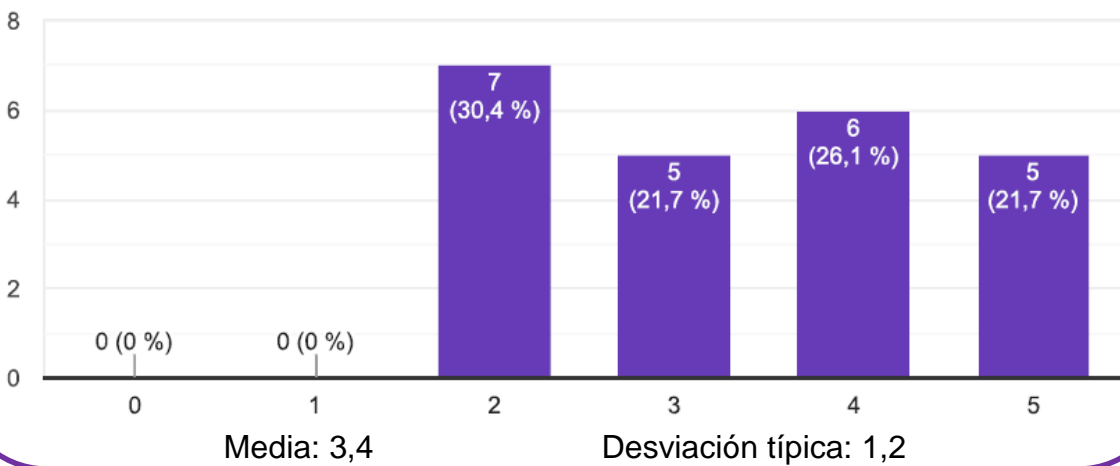
BARRERAS SOCIOECONÓMICAS



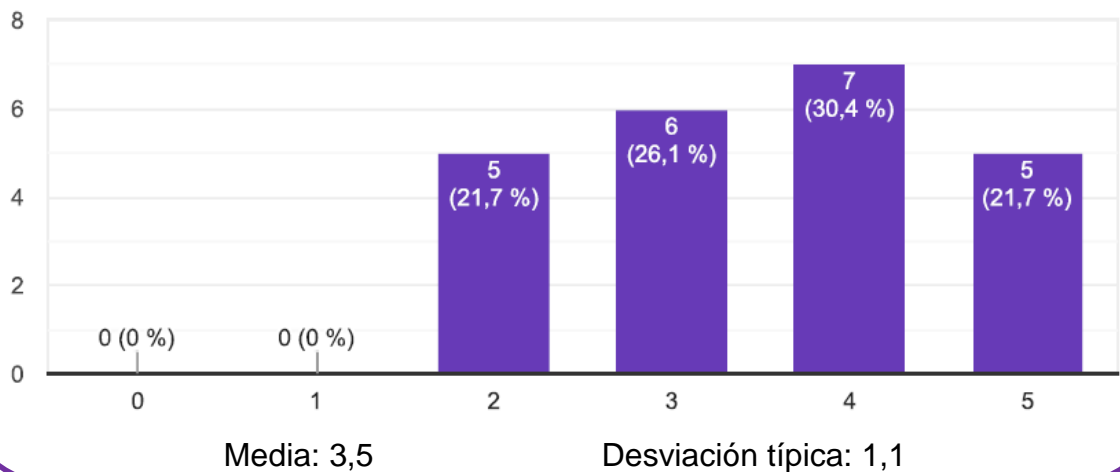
4. Ausencia de inversores y actores clave.



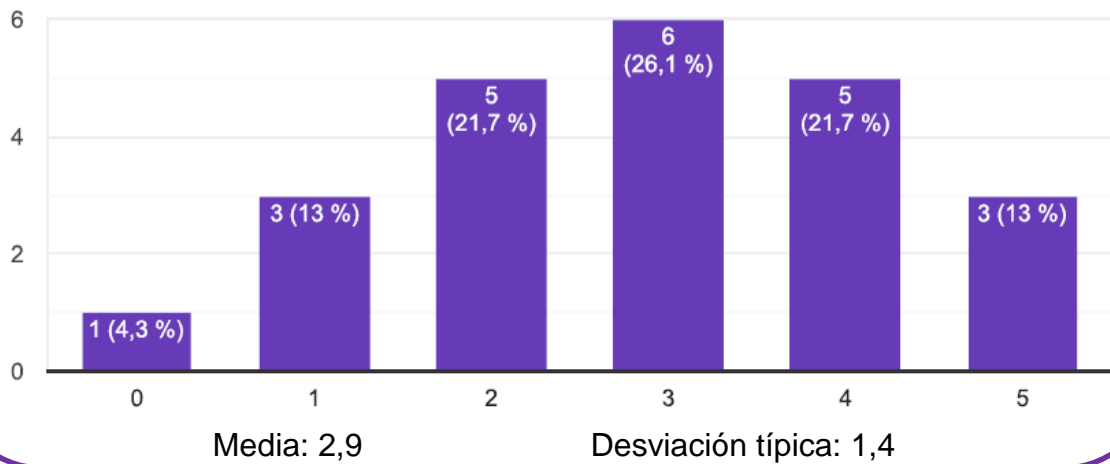
5. Falta de industria relacionada con las ER.



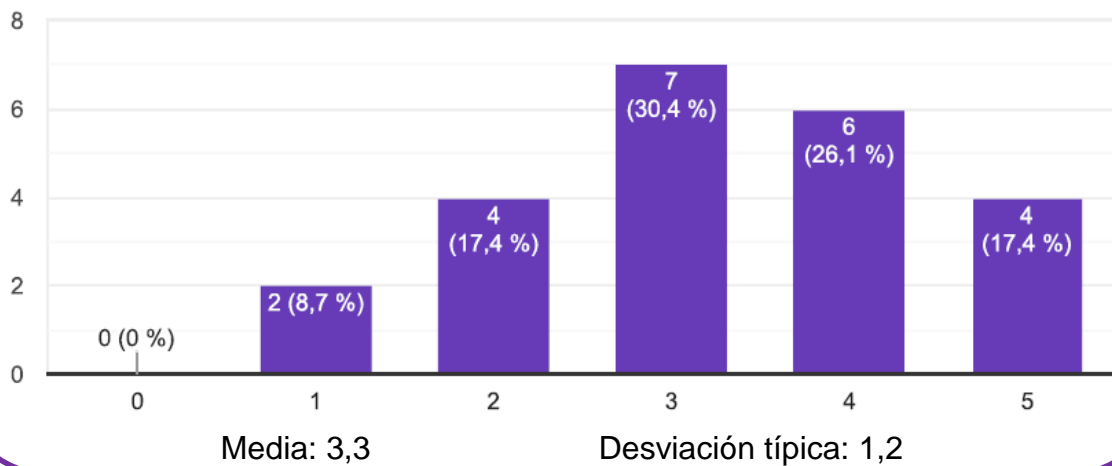
6. Nivel de desarrollo socioeconómico de la población.



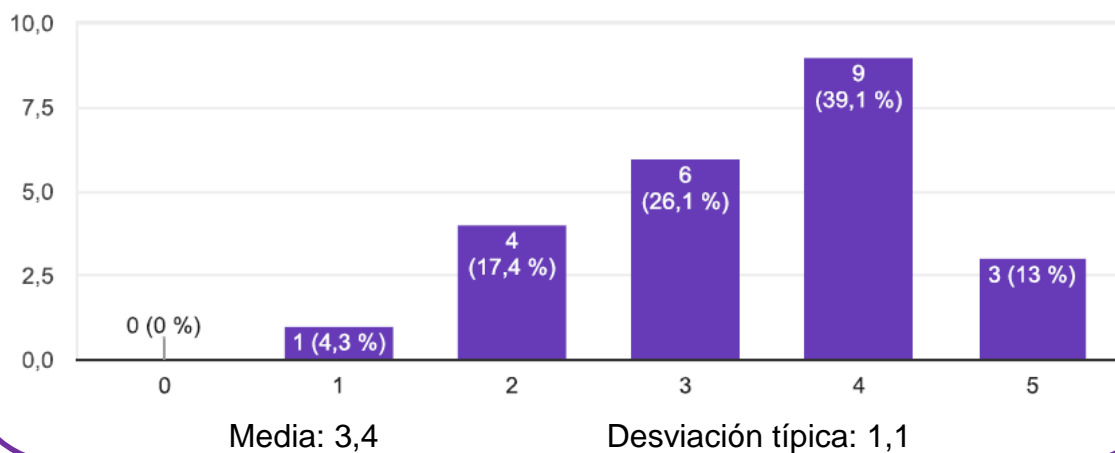
7. Costes de conexión a la red eléctrica.



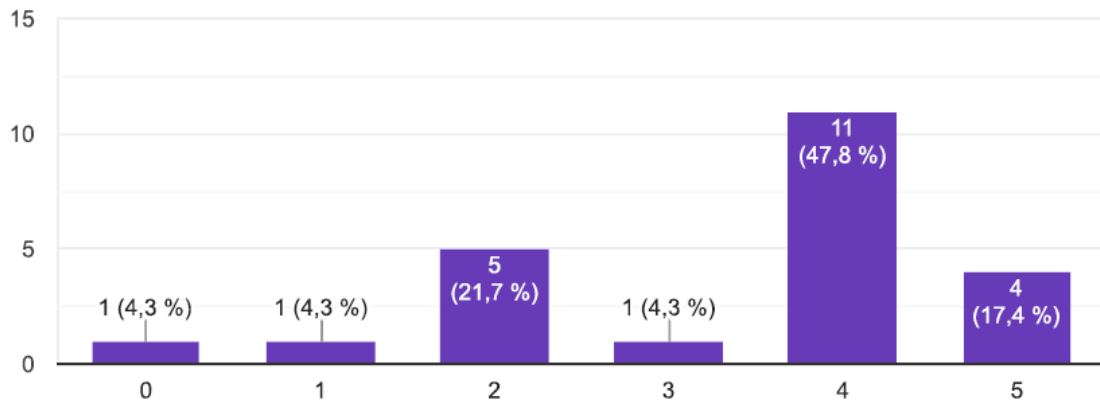
8. Costes legales y administrativos para los proyectos de ER.



9. Coste de procesos de suministro, como el de logística y transporte de la biomasa.



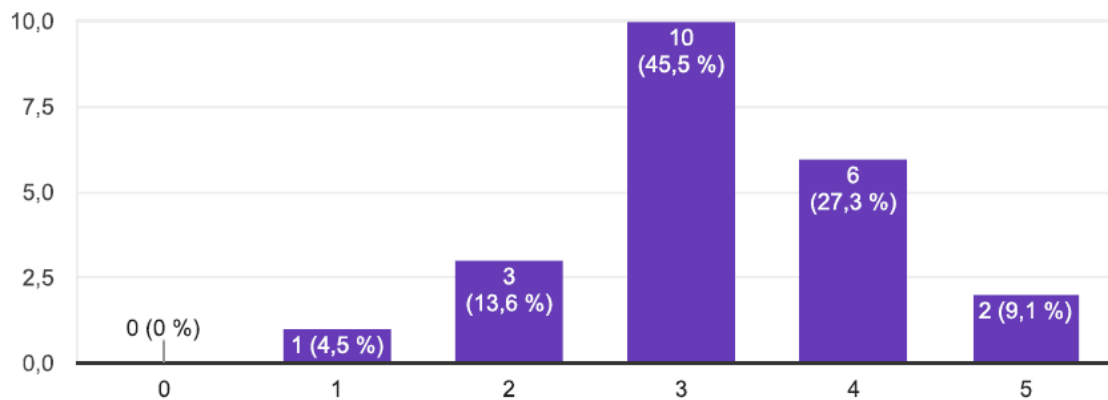
10. Precio de la energía y competitividad de las ER frente a las energías convencionales.



Media: 3,4

Desviación típica: 1,4

11. Inviabilidad de grandes plantas (mentalidad de megaproyectos frente a proyectos de pequeña escala).

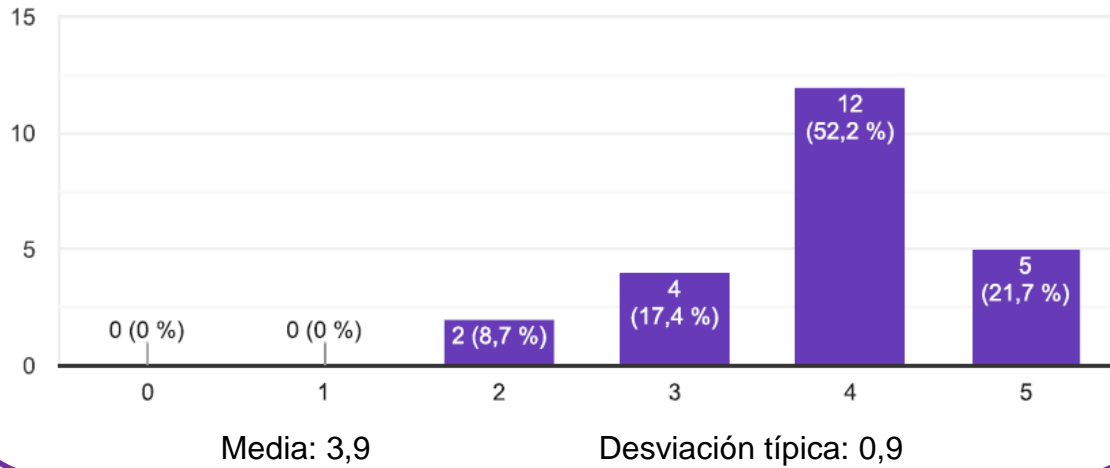


Media: 3,2

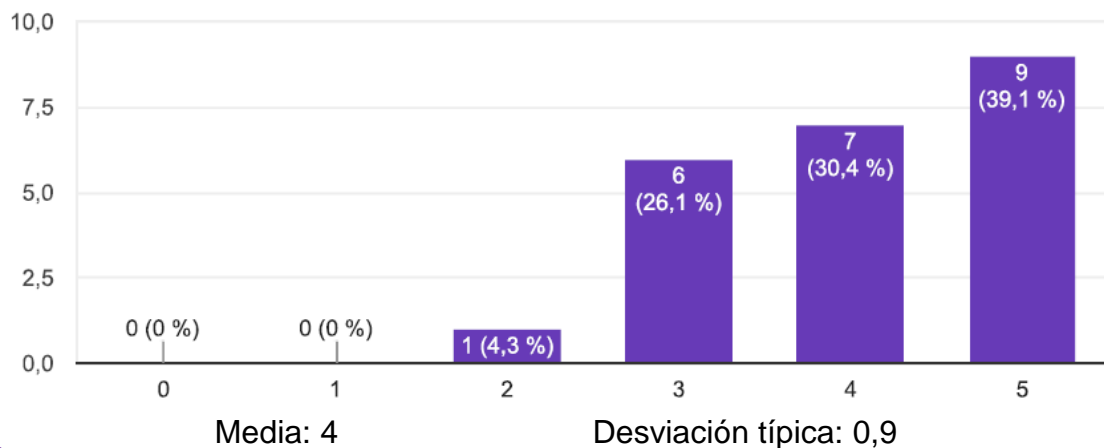
Desviación típica: 1

BARRERAS POLÍTICAS Y REGULATORIAS

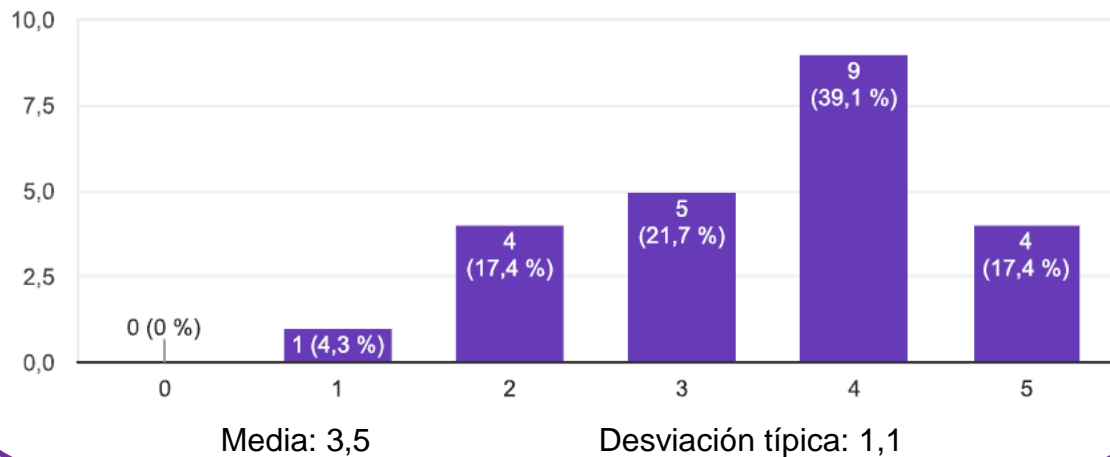
1. Falta de apoyo gubernamental a las ER.



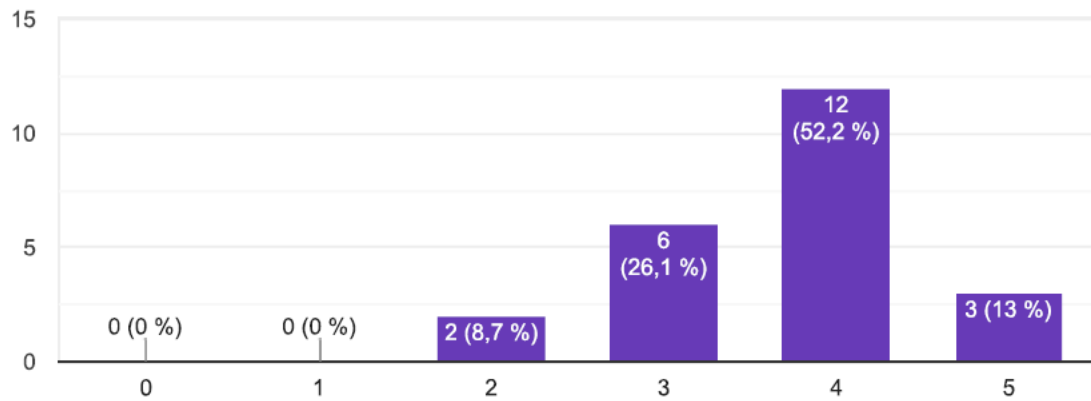
2. Marcos legales cambiantes y poco favorables.



3. Límites de potencia de generación eléctrica renovable establecidos por la regulación nacional.



4. Largos procedimientos administrativos.

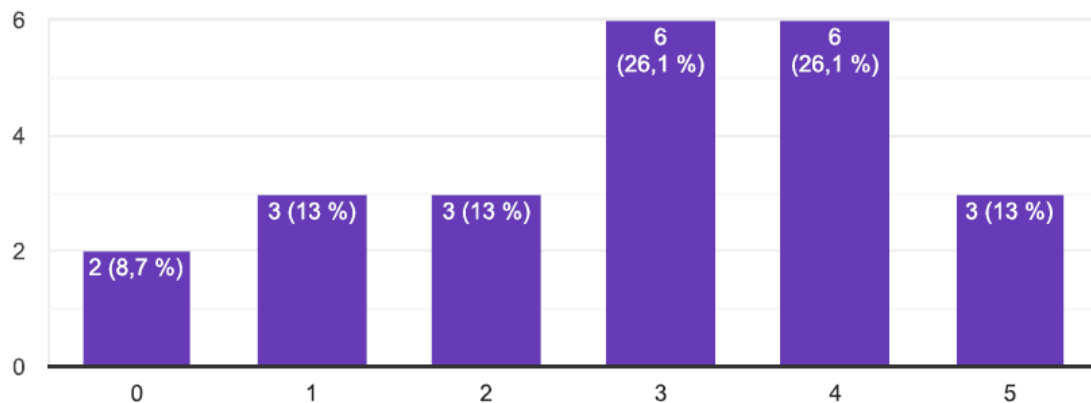


Media: 3,7

Desviación típica: 0,8

BARRERAS TECNOLÓGICAS Y OROGRÁFICAS

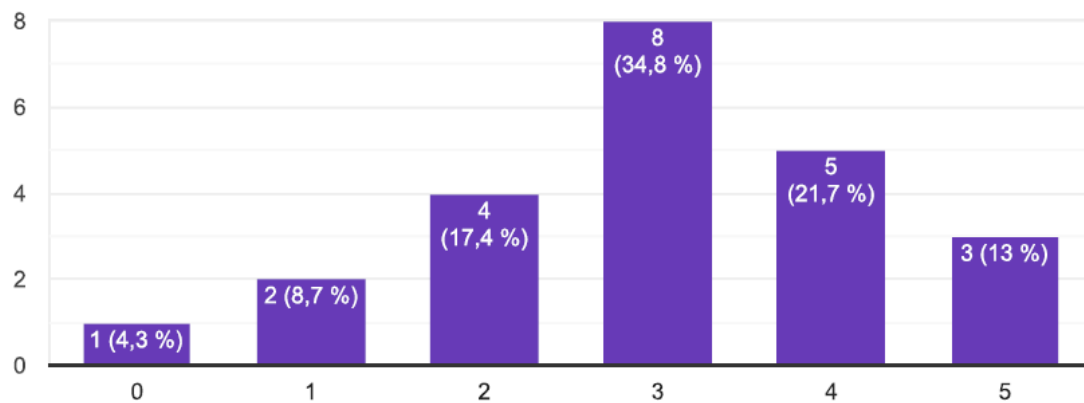
1. Falta de formación experta, ingenieros, técnicos y operarios en el ámbito de las ER.



Media: 2,9

Desviación típica: 1,5

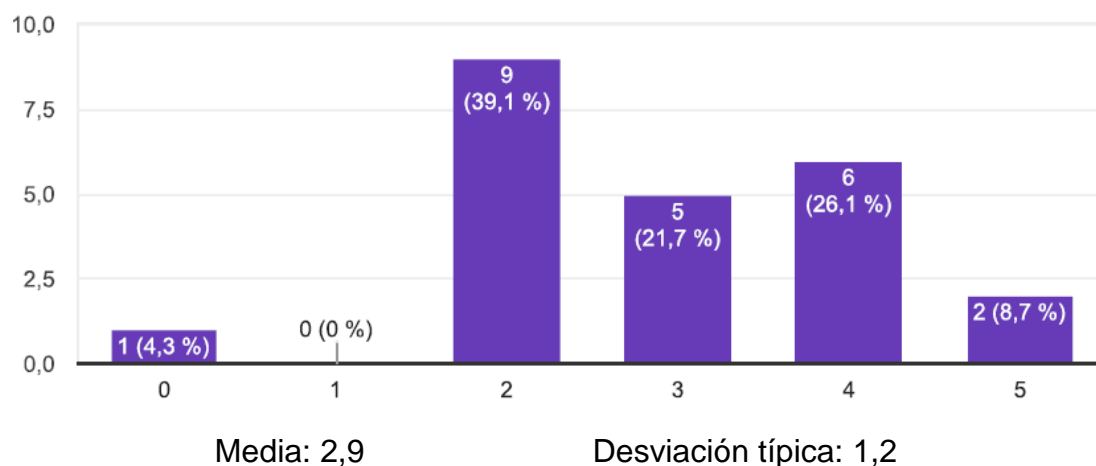
2. Falta en investigación y desarrollo en el ámbito de las ER.



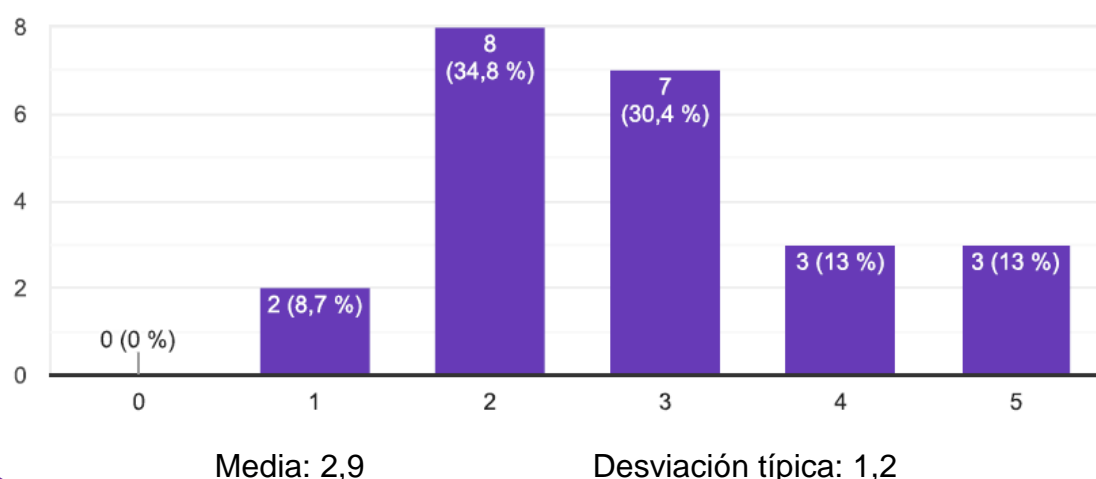
Media: 3

Desviación típica: 1,3

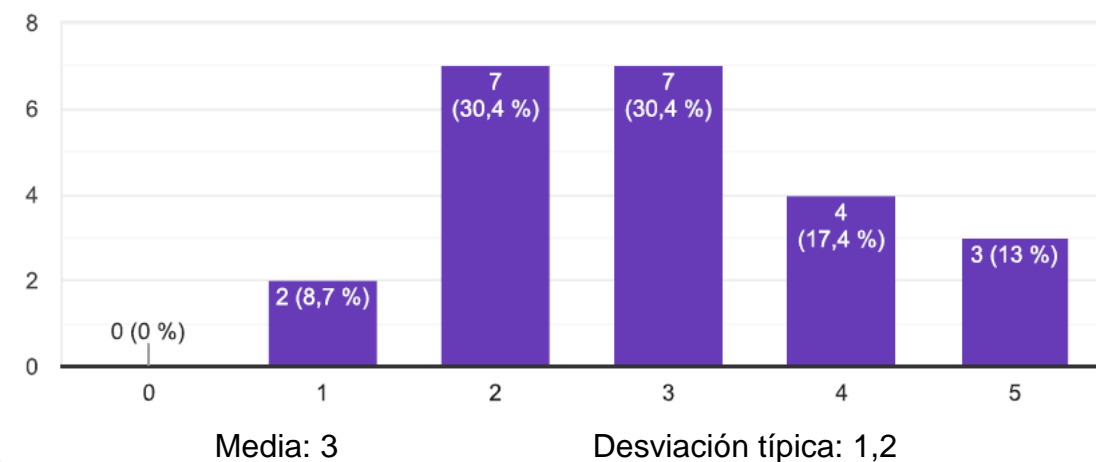
3. Cercanía de la planta a vías de comunicación.



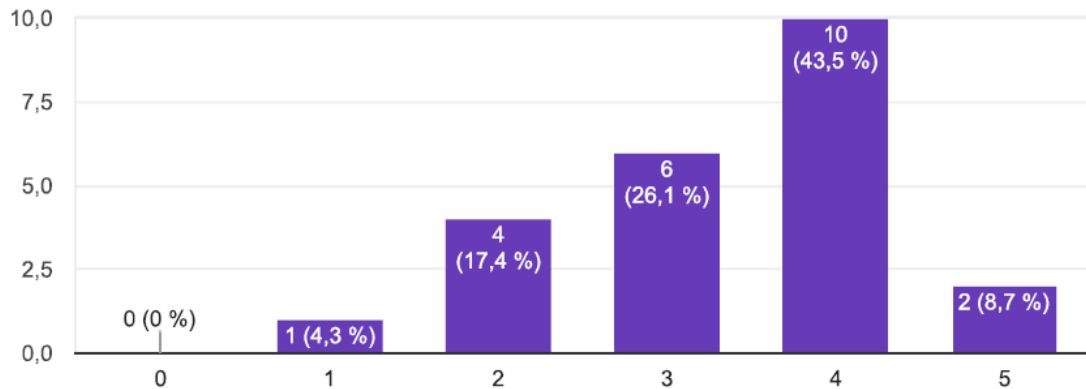
4. Cercanía de la planta a la red eléctrica y puntos de vertido a esta.



5. Cercanía a núcleos urbanos: tendencia a apostar por la generación distribuida.



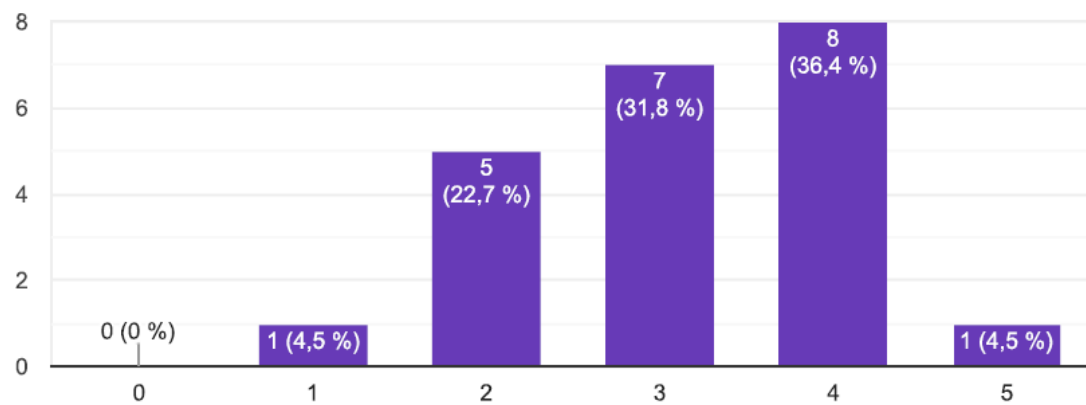
6. Rapidez para suplir la demanda con convencionales y su facilidad de adaptarse a los vaivenes de demanda.



Media: 3,3

Desviación típica: 1

7. Bajo factor de planta de las ER (bajo ratio de producción por potencia instalada).



Media: 3,1

Desviación típica: 1