



MÁSTER UNIVERSITARIO EN INGENIERÍA INDUSTRIAL

TRABAJO FIN DE MÁSTER ENERGÍAS RENOVABLES EN LA ESPAÑA VACIADA

Autor: Jacobo Cabanzón Labat

Directores: Ana María Santos Montes

Carlos Martín Sastre

Madrid

Junio de 2020

Declaro, bajo mi responsabilidad, que el Proyecto presentado con el título
...Energías Renovables en la España Vacía

.....
.....
en la ETS de Ingeniería - ICAI de la Universidad Pontificia Comillas en el
curso académico 2019/2020..... es de mi autoría, original e inédito y
no ha sido presentado con anterioridad a otros efectos. El Proyecto no es
plagio de otro, ni total ni parcialmente y la información que ha sido tomada
de otros documentos está debidamente referenciada.

Fdo.: Jacobo Cabanzón Labat

Fecha: ...24.../ ...06.../ ...2020...

JACOBO CABANZÓN LABAT



Autorizada la entrega del proyecto

EL DIRECTOR DEL PROYECTO



Fdo.: Ana María Santos Montes / Carlos Martín Sastre

Fecha: ...24.../ ...06.../ ...2020...



MÁSTER UNIVERSITARIO EN INGENIERÍA INDUSTRIAL

TRABAJO FIN DE MÁSTER ENERGÍAS RENOVABLES EN LA ESPAÑA VACIADA

Autor: Jacobo Cabanzón Labat

Directores: Ana María Santos Montes

Carlos Martín Sastre

Madrid

Junio de 2020

ENERGÍAS RENOVABLES EN LA ESPAÑA VACIADA

Autor: Cabanzón Labat, Jacobo

Director: Martín Sastre, Carlos / Santos Montes, Ana María

RESUMEN DEL PROYECTO

Durante las últimas tres décadas, la sostenibilidad ha comenzado a convertirse en un elemento esencial en la agenda de organizaciones regulatorias, negocios, ONGs, científicos y demás agentes de la sociedad (San Miguel et al., 2015), (Corona & San Miguel, 2018).

Sin embargo, el término sostenibilidad es algo difuso. ¿Cómo se puede medir la sostenibilidad de un producto, un servicio o una nueva tecnología? ¿Cómo podría incorporarse la sostenibilidad como un factor a tener en cuenta a la hora de tomar decisiones sobre el medio ambiente?

La mayoría de autores concuerdan con el Informe Brundtland en que la sostenibilidad está compuesta de tres dimensiones interrelacionadas: económica, medioambiental y social (*Brundtland Commission 1987 our common world.pdf*, n.d.). También está globalmente aceptado que para realizar un estudio de la sostenibilidad, es necesario llevar a cabo un Análisis de Ciclo de Vida (ACV), teniendo en cuenta la extracción y procesamiento de los materiales iniciales, el transporte, la fabricación, la utilización del producto por el cliente final y las acciones de fin de ciclo, tal y como se describe en las normas ISO 14040 e ISO 14044 (Iso, 2006).

En este trabajo se realiza un estudio acerca de la sostenibilidad de implantación de dos energías renovables, la eólica y solar fotovoltaica, que son las que más facilidades ofrecen a la hora de recabar datos e información. El estudio se llevará a cabo en tres ubicaciones distintas de la península: Cantabria, Jaén y Soria. Se han elegido estas provincias debido a su baja densidad de población, sus definidas diferencias en cuanto a clima, ocupación de sus habitantes (industria, agricultura o servicios), distancia respecto de la costa etc. Llevando a la práctica el ACV en cada una de ellas se pretende establecer una comparativa entre los resultados que indique cómo afectan las diferencias climatológicas, sociales, económicas y medioambientales de una población a la hora de decidir el emplazamiento para una central de tipo eólico o fotovoltaico.

En cuanto al Estado del Arte, existen numerosas publicaciones relacionadas con el tema de la sostenibilidad. Entre las revisadas detalladamente, destacan las siguientes por su utilidad para completar el trabajo. Un estudio considerado de gran utilidad fue el elaborado por Corona y San Miguel en el cual se detalla el análisis de sostenibilidad del ciclo de vida como una herramienta holística para evaluar los impactos ambientales, económicos y sociales de una nueva configuración de energía solar llamada HYSOL, en España. (Corona & San Miguel, 2018).

Respecto a la metodología, cabe destacar los textos originales de los que se ha obtenido. El escrito por Hu, Kleijn, Bozhilova-Kisheva y Di Maio aplica los pasos (descritos más adelante) para el estudio del reciclaje de cemento (Hu, Kleijn, Bozhilova-Kisheva, & Di Maio, 2013).

En otra publicación se estudia una planta eólica de la sureña región de Jordania, Tafilah. Al igual que en este TFM, se utiliza la herramienta SimaPro y se actúa de acuerdo a los estándares de las normativas ISO. Una de las principales utilidades de este texto será la de obtener datos relativos a la central eólica (materiales, costes...) que se analiza en las tres provincias peninsulares (Gomaa, Rezk, Mustafa, & Al-Dhaifallah, 2019). De la misma forma, el tipo de aerogeneradores y otros datos relativos a la central eólica a instalar en todas las provincias fueron obtenidos de un estudio titulado “Life Cycle Assessment Of Electricity Production from a Vestas V112 Turbine Wind Plant”. (D'Souza et al., 2011)

Para más datos, esta vez en cuanto a centrales fotovoltaicas, como las fases de su ciclo de vida, los componentes, los procesos útiles para su análisis en la herramienta de ACV Simapro o el origen de los materiales y los modos de transporte se consultó el trabajo de Martínez, un trabajo acerca del ciclo de vida de la generación de energía mediante carbón y mediante paneles fotovoltaicos. (Martínez, 2018)

Para el apartado social, se utilizaron una serie de documentos publicados por la International Renewable Energy Agency (IRENA). Estos textos, que datan desde 2013 a 2017, ayudan a entender cómo puede influir la energía renovable en el bienestar y la mejora de la calidad de vida de las personas de una determinada localidad o región. Así pues, aportan estadísticas, explicaciones socio-económicas, datos de empleo y posibles beneficios de las energías renovables que aplicar en las provincias seleccionadas. (IRENA, 2016a) (IRENA, 2016b) (IRENA, 2013) (IRENA, 2017)

En cuanto al aspecto económico, Boston Consulting Group y el IDAE (Instituto para la Diversificación y Ahorro de Energía) elaboraron en 2011 un estudio acerca de la Evolución Tecnológica y Prospectiva de Costes de las Energías Renovables. (BCG & IDAE, 2011). Por su parte, siguiendo con el aspecto económico, la Asociación de Empresas de Energías Renovables publicó en 2018 un Estudio del Impacto Macroeconómico de las Energías Renovables en España. Este texto facilita los datos acerca de la potencia instalada, la energía producida y la rentabilidad de las diferentes energías renovables presentes en el país. (Asociación Empresas Energías Renovables, 2018)

Siguiendo lo aprendido a raíz de la revisión de dicho estado del arte, la propuesta de trabajo se basa en la metodología aplicada por Hu (Hu et al., 2013), que sigue las indicaciones descritas en el proyecto CALCAS (Zamagni et al., 2009) (Heijungs et al., 2009). Dicha metodología se puede dividir en tres fases:

1. Definición del objetivo y alcance

- 1.1. Definición global del sistema: descripción del ámbito a analizar (central eólica y fotovoltaica en este caso) para definir claramente las relaciones entre todos los factores de la instalación (materiales, procesos...) y entre las tres dimensiones de sostenibilidad (medioambiental, económica y social). En esta fase debe quedar definido el principal objetivo del proyecto, la pregunta que habrá que responder al final del estudio.
 - 1.2. Creación de diferentes escenarios: formulación de hipótesis relativas a los resultados esperados o a posibles cambios que se puedan producir en el futuro en relación al estudio. Sirve como medida para comparar y tomar decisiones.
 - 1.3. Definición de preguntas para medir la sostenibilidad: asociación de cada pregunta elaborada a uno o varios indicadores (de los tres tipos) para extraer conclusiones y determinar el grado de sostenibilidad de la planta.
2. Creación de un modelo y aplicación de herramientas: utilización del software SimaPro para producir una serie de indicadores cuantitativos que describan la sostenibilidad de los distintos escenarios en cada una de las tres dimensiones.

3. Interpretación de resultados: traducción de los datos cuantitativos obtenidos en respuestas a las preguntas planteadas en el apartado primero.
4. Finalmente, se añade una cuarta fase a modo de conclusión del proyecto.

Así pues, hay que formular preguntas que establezcan los objetivos que se persiguen en el trabajo. La primera de ellas podría formularse de la siguiente manera: **¿Hasta qué punto la instauración de una central solar o eólica es beneficiosa y sostenible en cada una de las provincias elegidas?** Esta pregunta debe responderse desde los tres puntos de vista desde los cuales se aborda el Análisis de Ciclo de Vida (ACV a partir de ahora): medioambiental, social y económico. A tenor de los impactos que se obtengan, se determinará si es recomendable la instalación de plantas de este tipo, o si, por el contrario, causan más daños que beneficios para la comarca.

La segunda, por su parte, tiene más forma de comparativa: **¿Cuál de los dos tipos de energía sería más recomendable utilizar en cada provincia de acuerdo a los resultados?** Una vez se haya decidido si es una buena solución implementar las ciudades energías renovables (eólica y fotovoltaica), se podrá realizar una comparación de los resultados e impactos generados por ambas para decidir cuál sería más aconsejable instalar en cada provincia.

Por tanto, una vez realizado el análisis con SimaPro y un estudio del impacto socioeconómico, las respuestas a dichas preguntas son las siguientes.

¿Hasta qué punto la instauración de una central solar o eólica es beneficiosa y sostenible en cada una de las provincias elegidas?

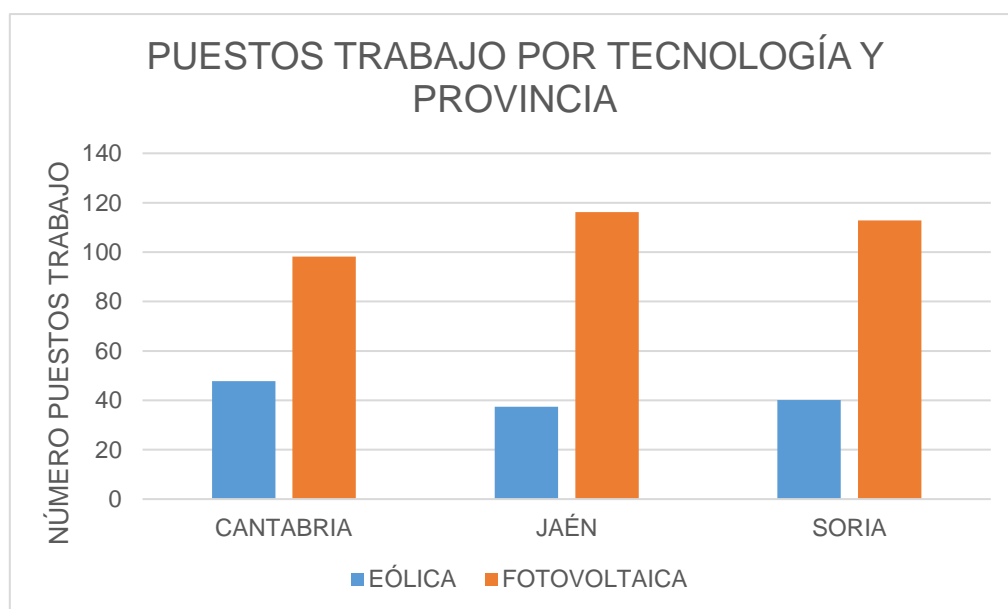
		CANTABRIA	JAÉN	SORIA
Agotamiento Recursos Abióticos (kg Sb Eq/kWh)	EÓLICA	$1,82 \times 10^{-6}$	$2,34 \times 10^{-5}$	$5,71 \times 10^{-6}$
	FOTOVOLTAICA	$3,51 \times 10^{-5}$	$2,55 \times 10^{-5}$	$2,69 \times 10^{-5}$
Calentamiento Global (kg CO₂ Eq/kWh)	EÓLICA	0,1	1,34	0,33
	FOTOVOLTAICA	1,32	0,96	1,01
Agotamiento de la Capa de Ozono (kg CFC-11 Eq/kWh)	EÓLICA	$9,64 \times 10^{-9}$	$1,24 \times 10^{-7}$	$3,02 \times 10^{-8}$
	FOTOVOLTAICA	$2,15 \times 10^{-7}$	$1,57 \times 10^{-7}$	$1,65 \times 10^{-7}$
Toxicidad Humana (kg 1,4-DB eq/kWh)	EÓLICA	0,25	3,22	0,78
	FOTOVOLTAICA	1,13	0,82	0,86
Ecotoxicidad para Sistemas de Agua Dulce (kg 1,4-DB eq/kWh)	EÓLICA	0,08	1,02	0,25
	FOTOVOLTAICA	1,63	1,18	1,25
Ecotoxicidad para Sistemas Marinos (kg 1,4-DB eq/kWh)	EÓLICA	174,83	2253,33	548,11
	FOTOVOLTAICA	4785,12	3480,09	3670,78
Ecotoxicidad para Sistemas Terrestres (kg 1,4-DB eq/kWh)	EÓLICA	$9,02 \times 10^{-4}$	0,01	$2,83 \times 10^{-3}$
	FOTOVOLTAICA	$3,47 \times 10^{-3}$	$2,52 \times 10^{-3}$	$2,66 \times 10^{-3}$
Oxidación Fotoquímica (kg C₂H₄ eq/kWh)	EÓLICA	$3,49 \times 10^{-5}$	$4,5 \times 10^{-4}$	$1,09 \times 10^{-4}$
	FOTOVOLTAICA	$4,76 \times 10^{-4}$	$3,47 \times 10^{-4}$	$3,66 \times 10^{-4}$
Acidificación (kg SO₂ eq/kWh)	EÓLICA	$5,81 \times 10^{-4}$	$7,48 \times 10^{-3}$	$1,82 \times 10^{-3}$
	FOTOVOLTAICA	$9,35 \times 10^{-3}$	$6,8 \times 10^{-3}$	$7,17 \times 10^{-3}$
Eutrofización (kg PO₄ eq/kWh)	EÓLICA	$1,59 \times 10^{-4}$	$2,05 \times 10^{-3}$	$4,99 \times 10^{-4}$
	FOTOVOLTAICA	$2,63 \times 10^{-3}$	$1,91 \times 10^{-3}$	$2,01 \times 10^{-3}$

En el ámbito medioambiental, no cabe ninguna duda de que es beneficiosa la inclusión de cualquier fuente de energía renovable en el mix energético de cualquier provincia. Y es que, a medida que la gente se preocupa cada vez más por el medio ambiente y su contribución personal a la huella de carbono, las fuentes alternativas de energía han pasado a ocupar un lugar central. El aumento de la concienciación y la acción para reducir las huellas de carbono puede tener un impacto positivo duradero.

Por lo tanto, a pesar de que el impacto medioambiental es mayor para el caso de este estudio que para la media de los impactos a nivel global de otras plantas de tipo eólico o fotovoltaico y de que en algunos casos, como el de la eólica en Jaén, la producción de energía es mínima, siempre es beneficioso disponer de energías renovables para abastecer a la región.

Pasando al ámbito social, la vara de medida utilizada en este trabajo, que han sido los empleos totales generados, es otro de los grandes beneficios de las energías renovables. La tecnología y los conocimientos técnicos necesarios para el éxito del diseño, el desarrollo, la producción y la instalación representan una gran oportunidad de trabajo, ya que se prevé que este campo en ciernes dentro del sector de la energía crezca sin signos de desaceleración.

De esta forma, según se puede apreciar en el siguiente gráfico, la creación de empleo resulta mayor en la fotovoltaica que en la eólica para todas las provincias. Sin embargo, sea mayor o menor el número de trabajos generados, este impacto es beneficioso dada la situación demográfica, social y laboral en la que se encuentran los emplazamientos en los que se han colocado las distintas plantas.

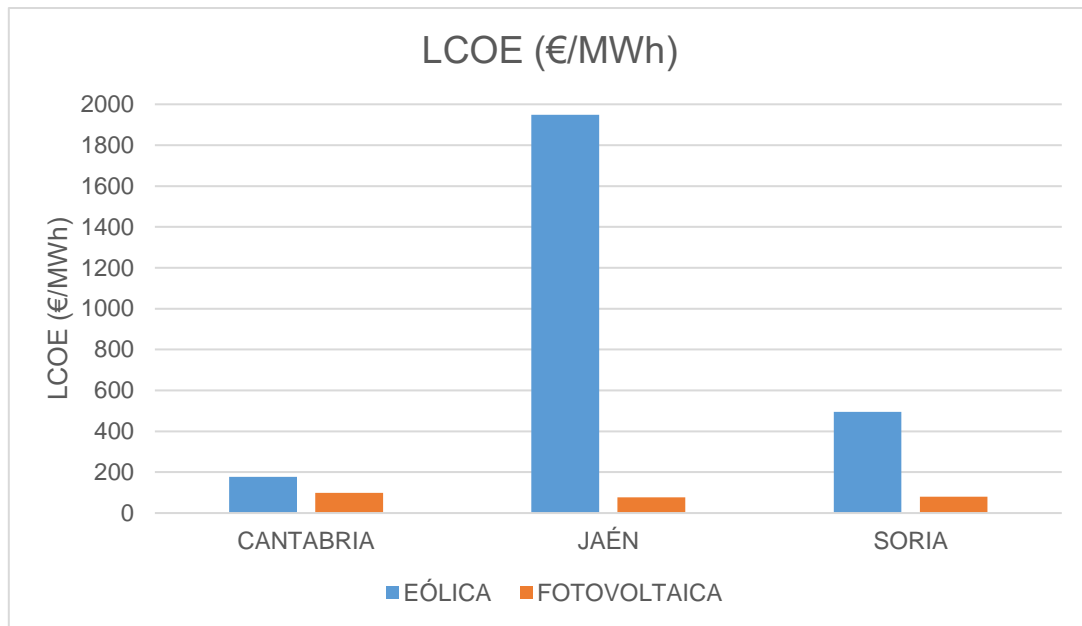


Por su parte, desde el punto de vista económico también se puede apreciar que el uso de energías renovables produce ciertos beneficios, si bien hay que esperar para verlos al

largo plazo, ya que a corto su instalación puede ser más cara que la de las energías tradicionales. Aunque la instalación inicial de las fuentes de energía renovable puede ser costosa, eliminan el costo de las recargas de combustible. El sol, el viento y otras fuentes naturales son absolutamente gratuitas, por lo que al final, se ahorrarán grandes cantidades de dinero tras la inversión inicial de la instalación. Además, muchas naciones, como España, ofrecen grandes incentivos fiscales e incluso subvenciones para la actualización a opciones energéticas más respetuosas con el medio ambiente.

Revisadas estas reflexiones, podría parecer que es beneficioso en lo económico pero, ¿es esto sostenible? Si observamos los gráficos expuestos a continuación y recordamos que la tarifa de venta de electricidad normalizada (LROE) es de 81,35 €/MWh, solamente alcanzan la rentabilidad las plantas fotovoltaicas de Jaén y Soria, mientras que con ayuda del gobierno podría alcanzarla la fotovoltaica y la eólica de Cantabria (mucho ayuda en éste último caso). Por su parte, la eólica de Soria y de Jaén, especialmente ésta última, supondrían grandes costes infinitamente superiores al dinero que se podría ingresar.

	LCOE (€/MWh)	LROE (€/MWh)
EÓLICA CANTABRIA	177,17	81,35
EÓLICA JAÉN	1948,67	81,35
EÓLICA SORIA	495,32	81,35
FOTOVOLTAICA CANTABRIA	98,34	81,35
FOTOVOLTAICA JAÉN	76,31	81,35
FOTOVOLTAICA SORIA	79,53	81,35



Así pues, para responder la pregunta, hay que diferenciar bien entre las palabras beneficioso y sostenible. Si omitimos las ayudas del gobierno, que quedan fuera de la competencia de este estudio, las únicas que aúnan ambos adjetivos, beneficiosas y sostenibles, son las centrales fotovoltaicas de Jaén y Soria. Por el contrario, pese a los beneficios en el ámbito medioambiental y social, el resto de las plantas a instalar no serían viables en lo económico, por lo que no serían sostenibles a largo plazo y no sería recomendable llevar a cabo su instalación.

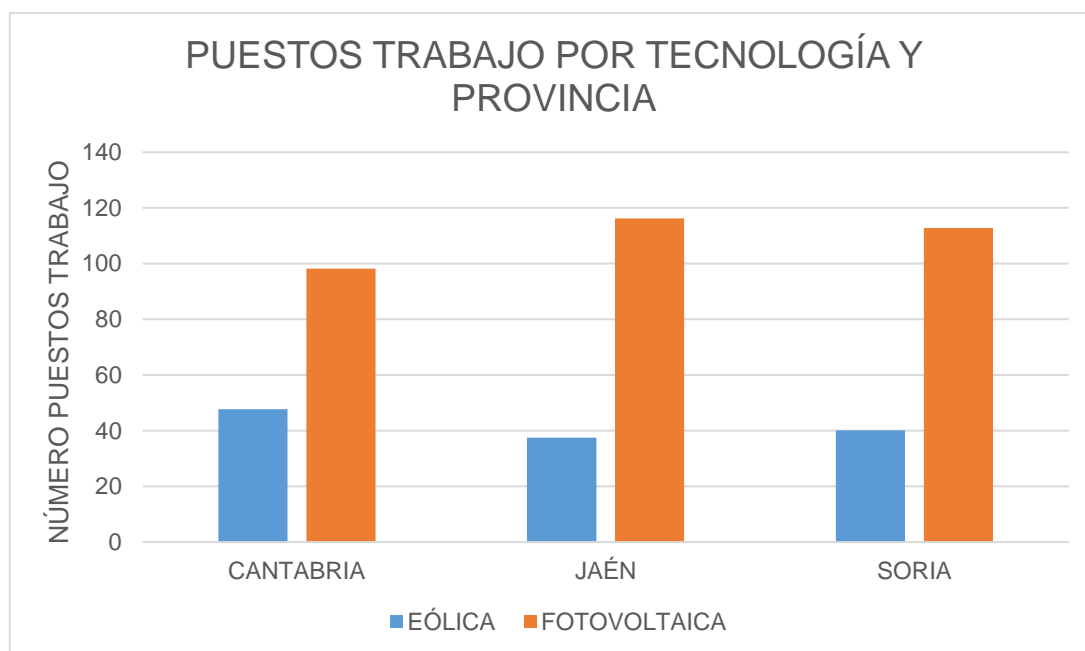
¿Cuál de los dos tipos de energía sería más recomendable utilizar en cada provincia de acuerdo a los resultados?

Comenzando por el factor medioambiental, analizando los distintos impactos que genera en cada una de las provincias por unidad funcional generada, los resultados obtenidos son los siguientes.

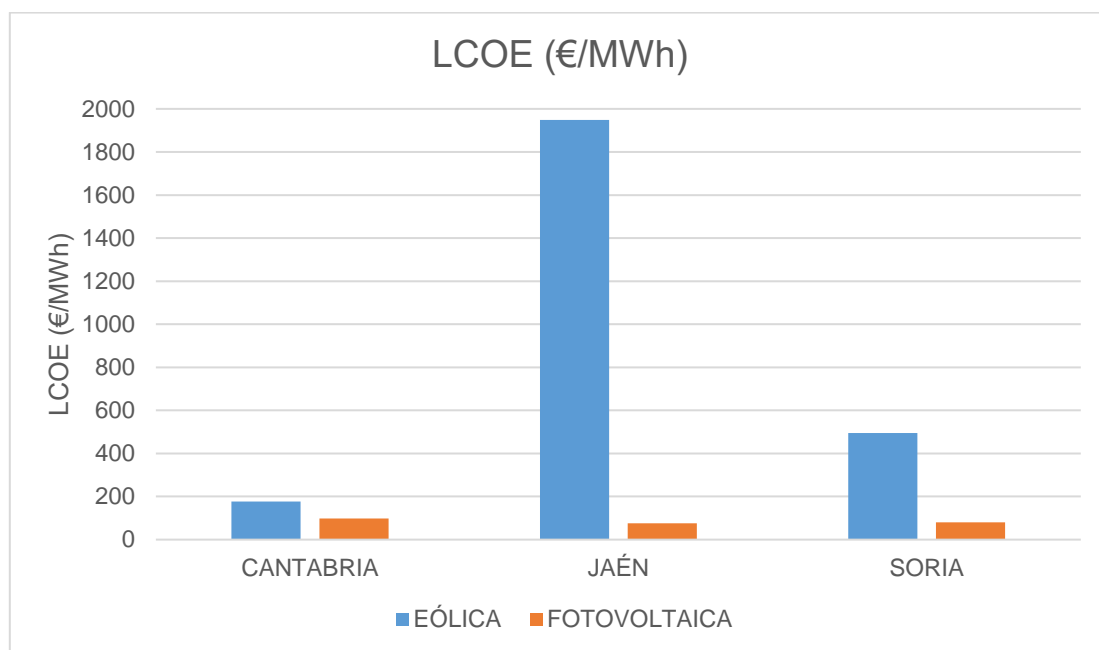
IMPACTO MEDIOAMBIENTAL			
CANTABRIA	EÓLICA	<	FOTOVOLTAICA
JAÉN	EÓLICA	>	FOTOVOLTAICA
SORIA	EÓLICA	<	FOTOVOLTAICA

La energía eólica prevalece tanto en Cantabria como en Soria, generando menos impacto negativo que la fotovoltaica. Por su parte, en Jaén, es tan escasa la producción eólica que se alcanza que el impacto por kWh generado resulta más elevado que en la fotovoltaica.

En cuanto al factor social analizado de los puestos de trabajo, la fotovoltaica se impone por una gran distancia en las tres provincias analizadas, como se puede comprobar en las siguientes gráficas, por lo que resulta la más recomendable según este criterio.



Lo mismo ocurre en el apartado económico, en todas las provincias hay un coste normalizado de generación (LCOE) superior para la eólica que para la fotovoltaica, haciendo que esta última sea más rentable.



Por lo tanto, en Cantabria, ninguna de las dos energías alcanza la sostenibilidad en lo económico, con un LCOE superior al LROE en ambos casos. Por tanto, cualquiera de las dos necesitaría de las ayudas gubernamentales para poder operar. Suponiendo que el esfuerzo para alcanzar dicha sostenibilidad fuese el mismo (no lo es, la eólica está bastante más lejos de lograrlo) debería decidirse a cuál de los otros dos factores se le quiere dar prioridad. Y es que la eólica arroja mejores resultados en lo medioambiental y la fotovoltaica en lo social para esta región. Al no haber establecido en ningún momento un orden de impactos, resulta difícil elegir en esta provincia sobre la idoneidad de la una sobre la otra, ya que el emplazamiento cercano al mar requiere cuidado con el tema medioambiental, pero la situación del área de Torrelavega en lo social es de lo más precaria.

En Jaén, la elección resulta mucho más sencilla. La fotovoltaica se impone en los tres registros, medioambiental, social y económicamente, y además es sostenible, estando la eólica muy lejos de esa condición. Por lo tanto, la fotovoltaica es la recomendada para esta provincia.

Finalmente, en Soria, pese a que el impacto medioambiental es mayor en la fotovoltaica que en la eólica, la primera se impone con claridad en los otros dos apartados. Alcanzando la sostenibilidad en lo económico, la fotovoltaica ofrece además casi tres veces los

puestos de trabajo de la eólica, lo que resulta muy importante dada la demografía de la comarca, que cuenta con muy pocos habitantes.

RENEWABLE ENERGIES IN DEPOPULATED SPAIN

During the last three decades, sustainability has begun to become an essential element in the agenda of regulatory organizations, businesses, NGOs, scientists and other agents of society (San Miguel et al., 2015), (Corona & San Miguel, 2018).

However, the term sustainability is somewhat diffuse. How can the sustainability of a product, service or new technology be measured? How could sustainability be incorporated as a factor to be taken into account when making decisions about the environment?

Most authors agree with the Brundtland Report that sustainability is composed of three interrelated dimensions: economic, environmental and social (Brundtland Commission 1987 *our common world.pdf*, n.d.). It is also generally accepted that in order to carry out a sustainability study, it is necessary to carry out a Life Cycle Assessment (LCA), taking into account the extraction and processing of the initial materials, the transport, the manufacturing, the use of the product by the final customer and the end-of-cycle actions, as described in the ISO 14040 and ISO 14044 standards (Iso, 2006).

In this work, a study is carried out on the sustainability of the implementation of two renewable energies, wind and solar photovoltaic, which are the ones that offer more facilities when it comes to collecting data and information. The study will be carried out in three different locations in the peninsula: Cantabria, Jaén and Soria. These provinces have been chosen because of their low population density, their defined differences in climate, occupation of their inhabitants (industry, agriculture or services), distance from the coast, etc. By implementing the LCA in each of them, the aim is to establish a comparison between the results that indicate how the climatic, social, economic and environmental differences of a population affect the decision to locate a wind or photovoltaic plant.

As for the State of the Art, there are numerous publications related to the subject of sustainability. Among all of them, which have been analyzed more in depth in the development of the work, the following stand out for their usefulness in completing the work. A study considered to be very useful was that prepared by Corona and San Miguel in which life cycle sustainability analysis is detailed as a holistic tool for evaluating the environmental, economic and social impacts of a new solar energy configuration called HYSOL, in Spain. (Corona & San Miguel, 2018).

Touching on the subject of methodology, it is worth noting the original texts from which it has been obtained. The paper by Hu, Kleijn, Bozhilova-Kisheva, & Di Maio applies the steps (described below) to the study of cement recycling (Hu, Kleijn, Bozhilova-Kisheva, & Di Maio, 2013).

Another publication studies a wind farm in the southern region of Jordan, Tafilah. As in this TFM, the SimaPro tool is used, and both studies act according to the standards of the ISO regulations. One of the main uses of this text will be to obtain data relating to the wind power plant (materials, costs...) which is analysed in the three peninsular provinces (Gomaa, Rezk, Mustafa, & Al-Dhaifallah, 2019). Similarly, the type of wind turbines and other data relating to the wind power plant to be installed in all provinces were obtained from a study entitled "Life Cycle Assessment Of Electricity Production from a Vestas V112 Turbine Wind Plant". (D'Souza et al., 2011)

For more data, this time in terms of photovoltaic plants, such as the phases of their life cycle, the components, the processes useful for analysis in the Simapro LCA tool or the origin of the materials and the modes of transport, the work of Martínez was consulted, a work on the life cycle of energy generation using coal and photovoltaic panels. (Martinez Maturana, 2018)

For the social section, a series of documents published by the International Renewable Energy Agency (IRENA) were used. These texts, which date from 2013 to 2017, help to understand how renewable energy can influence the well-being and improved quality of life of people in a given locality or region. They therefore provide statistics, socio-economic explanations, employment data and possible benefits of renewable energies to be applied in the selected provinces. (IRENA, 2016a) (IRENA, 2016b) (IRENA, 2013) (IRENA, 2017)

As regards the economic aspect, in 2011 the Boston Consulting Group and the IDAE (Institute for Energy Diversification and Saving) prepared a study on the Technological Evolution and Prospective Costs of Renewable Energies. (BCG & IDAE, 2011). For its part, continuing with the economic aspect, in 2018 the Association of Renewable Energy Companies published a Study of the Macroeconomic Impact of Renewable Energies in Spain. This text provides data on the installed power, energy produced and profitability of the different renewable energies present in the country. (Association of Renewable Energy Companies, 2018)

Following what was learned from the review of the state of the art, the work proposal is based on the methodology applied by Hu (Hu et al., 2013), which follows the indications described in the CALCAS project (Zamagni et al., 2009) (Heijungs et al., 2009). This methodology can be divided into three phases:

1. Definition of the objective and scope

1.1. Overall definition of the system: description of the area to be analysed (wind and photovoltaic power plants in this case) in order to clearly define the relationships between all the factors in the installation (materials, processes, etc.) and between the three dimensions of sustainability (environmental, economic and social). At this stage the main objective of the project must be defined, the question to be answered at the end of the study.

1.2. Creation of different scenarios: formulation of hypotheses concerning the expected results or possible future changes in relation to the study. It serves as a measure for comparison and decision making.

1.3. Definition of questions to measure sustainability: association of each question developed with one or more indicators (of the three types) to draw conclusions and determine the degree of sustainability of the plant.

2. Modelling and tool application: using the SimaPro software to produce a series of quantitative indicators that describe the sustainability of the different scenarios in each of the three dimensions.

3. Interpretation of results: translation of the quantitative data obtained in response to the questions posed in the first section.

4. Finally, a fourth phase is added as a conclusion to the project.

Questions must therefore be asked that set out the objectives pursued in the work. The first could be formulated as follows: **To what extent is the establishment of a solar or wind power plant beneficial and sustainable in each of the chosen provinces?** This question must be answered from the three points of view from which Life Cycle Analysis (LCA) is approached from now on: environmental, social and economic. Depending on the impacts obtained, it will be determined whether the installation of plants of this type is advisable, or if, on the contrary, they cause more damage than benefits to the region.

The second, on the other hand, has more form of comparison: **Which of the two types of energy would be more advisable to use in each province according to the results?** Once it has been decided whether it is a good solution to implement the aforementioned renewable energies (wind and photovoltaic), a comparison of the results and impacts generated by both can be made to decide which would be more advisable to install in each province.

Therefore, after the analysis with SimaPro and a socio-economic impact study, the answers to these questions are as follows.

To what extent is the installation of a solar or wind power plant beneficial and sustainable in each of the chosen provinces?

		CANTABRIA	JAÉN	SORIA
ABIOTIC DEPLETION (kg Sb Eq/kWh)	WIND	$1,82 \times 10^{-6}$	$2,34 \times 10^{-5}$	$5,71 \times 10^{-6}$
	PHOTOVOLTAIC	$3,51 \times 10^{-5}$	$2,55 \times 10^{-5}$	$2,69 \times 10^{-5}$
GLOBAL WARMING (kg CO ₂ Eq/kWh)	WIND	0,1	1,34	0,33
	PHOTOVOLTAIC	1,32	0,96	1,01
OZONE LAYER DEPLETION (kg CFC-11 Eq/kWh)	WIND	$9,64 \times 10^{-9}$	$1,24 \times 10^{-7}$	$3,02 \times 10^{-8}$
	PHOTOVOLTAIC	$2,15 \times 10^{-7}$	$1,57 \times 10^{-7}$	$1,65 \times 10^{-7}$
HUMAN TOXICITY (kg 1,4-DB eq/kWh)	WIND	0,25	3,22	0,78
	PHOTOVOLTAIC	1,13	0,82	0,86
FRESH-WATER AQUATIC ECOTOXICITY (kg 1,4-DB eq/kWh)	WIND	0,08	1,02	0,25
	PHOTOVOLTAIC	1,63	1,18	1,25
MARINE ECOTOXICITY (kg 1,4-DB eq/kWh)	WIND	174,83	2253,33	548,11
	PHOTOVOLTAIC	4785,12	3480,09	3670,78
TERRESTRIAL ECOTOXICITY (kg 1,4-DB eq/kWh)	WIND	$9,02 \times 10^{-4}$	0,01	$2,83 \times 10^{-3}$
	PHOTOVOLTAIC	$3,47 \times 10^{-3}$	$2,52 \times 10^{-3}$	$2,66 \times 10^{-3}$
PHOTOCHEMICAL OXIDATION (kg C ₂ H ₄ eq/kWh)	WIND	$3,49 \times 10^{-5}$	$4,5 \times 10^{-4}$	$1,09 \times 10^{-4}$
	PHOTOVOLTAIC	$4,76 \times 10^{-4}$	$3,47 \times 10^{-4}$	$3,66 \times 10^{-4}$
ACIDIFICATION (kg SO ₂ eq/kWh)	WIND	$5,81 \times 10^{-4}$	$7,48 \times 10^{-3}$	$1,82 \times 10^{-3}$
	PHOTOVOLTAIC	$9,35 \times 10^{-3}$	$6,8 \times 10^{-3}$	$7,17 \times 10^{-3}$
EUTROPHICATION (kg PO ₄ eq/kWh)	WIND	$1,59 \times 10^{-4}$	$2,05 \times 10^{-3}$	$4,99 \times 10^{-4}$
	PHOTOVOLTAIC	$2,63 \times 10^{-3}$	$1,91 \times 10^{-3}$	$2,01 \times 10^{-3}$

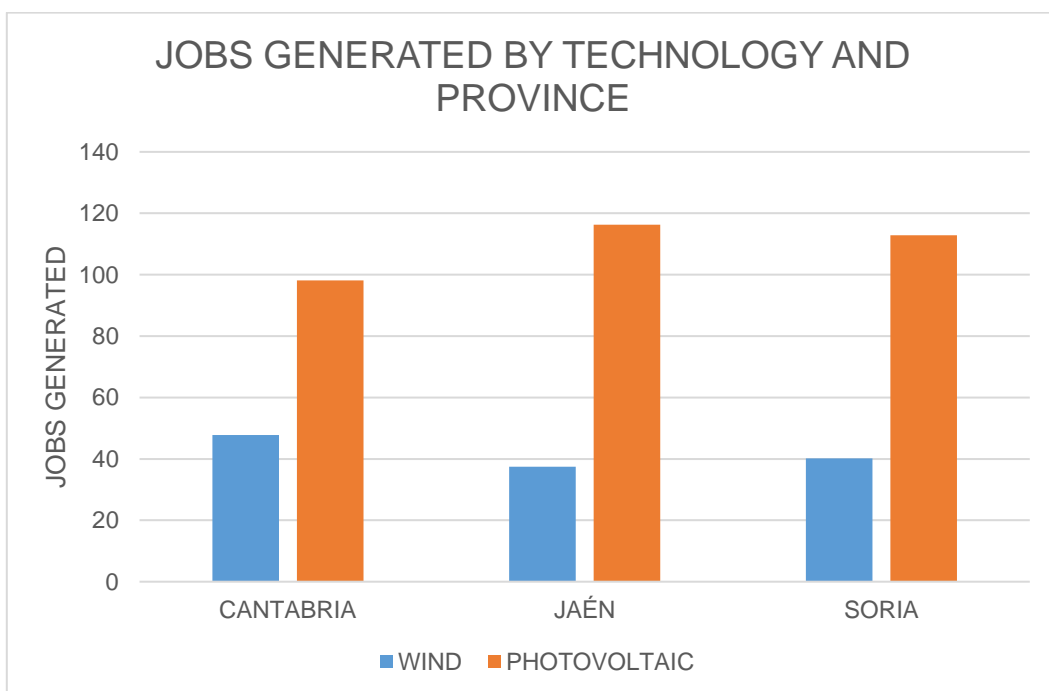
In the environmental field, there is no doubt that the inclusion of any renewable energy source in the energy mix of any province is beneficial. As people are increasingly

concerned about the environment and their personal contribution to the carbon footprint, alternative sources of energy have come to the fore. Increased awareness and action to reduce carbon footprints can have a lasting positive impact.

Therefore, despite the fact that the environmental impact (that can be seen on the table above) is greater in the case of this study than the average global impact of other wind or photovoltaic plants and that in some cases, such as the wind power plant in Jaén, energy production is minimal, it is always beneficial to have renewable energies to supply the region.

Turning to the social sphere, the yardstick used in this work, which has been the jobs generated, is another of the great benefits of renewable energies. The technology and know-how required for successful design, development, production and installation represent a great job opportunity, as this fledgling field within the energy sector is expected to grow without signs of slowing down.

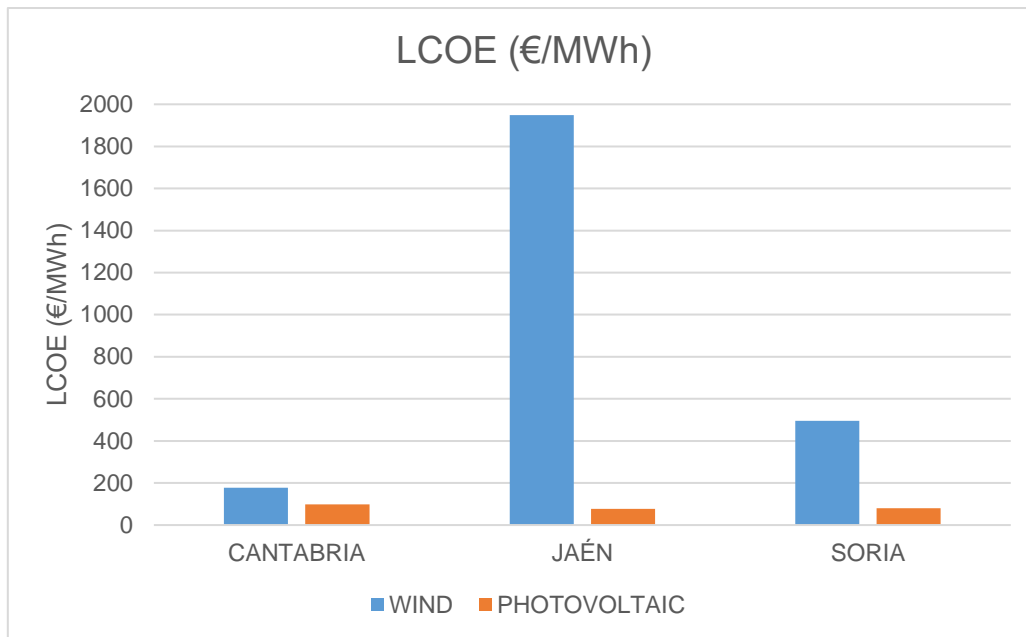
Thus, as can be seen in the following graphs, job creation is higher in photovoltaic than in wind power for all provinces. However, whether the number of jobs generated is greater or lesser, this impact is beneficial given the demographic, social and employment situation in the locations where the various plants have been located.



From the economic point of view, it can also be seen that the use of renewable energies produces certain benefits, although we must wait to see them in the long term, since in the short term their installation can be more expensive than that of traditional energies. Although the initial installation of renewable energy sources can be expensive, they eliminate the cost of fuel refills. The sun, wind and other natural sources are absolutely free, so in the end, you will save large amounts of money after the initial investment of the installation. In addition, many nations, such as Spain, offer large tax incentives and even subsidies for upgrading to more environmentally friendly energy options.

In view of these reflections, it might seem to be economically beneficial, but is this sustainable? If we look at the graphs below and remember that the standardized electricity sales rate (LROE) is 81.35 euros/MWh, only the photovoltaic plants in Jaén and Soria reach profitability, while with government help, photovoltaic and wind power in Cantabria could reach it (much help in the latter case). On the other hand, the wind power in Soria and Jaén, especially the latter, would mean great economic catastrophes, with costs infinitely higher than the money that could be earned.

	LCOE (€/MWh)	LROE (€/MWh)
WIND CANTABRIA	177,17	81,35
WIND JAÉN	1948,67	81,35
WIND SORIA	495,32	81,35
PHOTOVOLTAIC CANTABRIA	98,34	81,35
PHOTOVOLTAIC JAÉN	76,31	81,35
PHOTOVOLTAIC SORIA	79,53	81,35



So, to answer the question, we must differentiate well between the words beneficial and sustainable. If we omit the government aid, which is outside the competence of this study, the only ones that combine both adjectives, beneficial and sustainable, are the photovoltaic plants of Jaén and Soria. On the other hand, despite the environmental and social benefits, the rest of the plants to be installed would not be economically viable, so they would not be sustainable in the long term and it would not be advisable to carry out their installation.

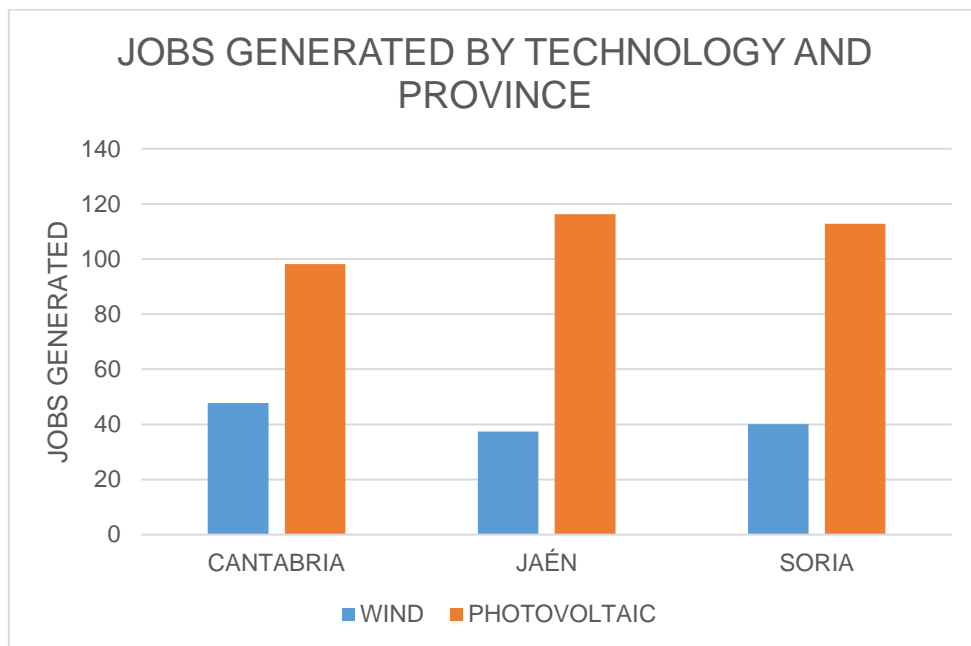
Which of the two types of energy would be more advisable to use in each province according to the results?

Starting with the environmental factor, analyzing the different impacts it generates in each of the provinces per functional unit generated, the results obtained are as follows.

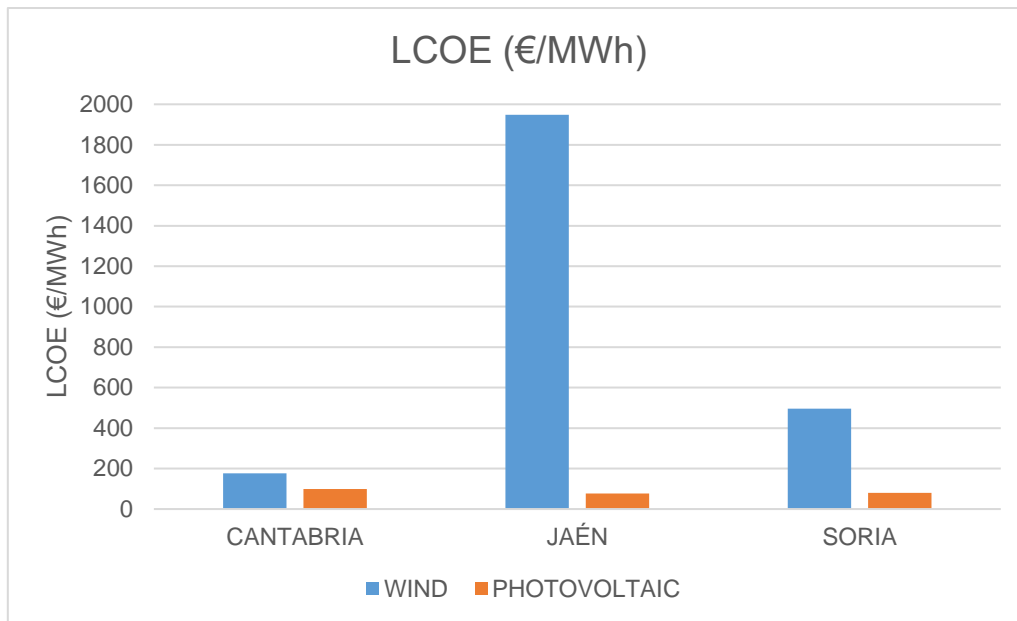
		ENVIRONMENTAL IMPACT	
CANTABRIA	WIND	<	PHOTOVOLTAIC
JAÉN	WIND	>	PHOTOVOLTAIC
SORIA	WIND	<	PHOTOVOLTAIC

Wind energy prevails in both Cantabria and Soria, generating less negative impact than photovoltaic. In Jaén, wind power production is so scarce that the impact per kWh generated is higher than in photovoltaic.

With regard to the social factor analysed of the jobs, photovoltaics is imposed by a large distance in the three provinces analysed, as can be seen in the following graphs, and is therefore the most recommended according to this criterion.



The same occurs in the economic section, in all provinces there is a higher standardized cost of generation (LCOE) for wind than for photovoltaic, making the latter more profitable.



Therefore, in Cantabria. Neither of the two energies achieves sustainability in economic terms, with an LCOE higher than the LROE in both cases. Therefore, either of them would need the government's help to be able to operate. Assuming that the effort to achieve such sustainability is the same (it is not, wind is far from it) it should be decided which of the other two factors is to be given priority. Wind power is the most environmentally friendly and photovoltaic is the most socially friendly in the region. Since no order of impacts has been established, it is difficult to choose in this province on the suitability of one over the other, since the location near the sea requires care with the environmental issue, but the social situation of the Torrelavega area is most precarious.

In Jaén, the choice is much easier. Photovoltaic is imposed in all three registers, environmentally, socially and economically, and is also sustainable, with wind power far from this condition. Therefore, photovoltaic is recommended for this province.

Finally, in Soria, despite the fact that the environmental impact is greater in photovoltaic than in wind power, the former clearly prevails in the other two sections. Achieving economic sustainability, photovoltaics also offers almost three times the number of jobs in wind power, which is very important given the demographics of the region, which has very few inhabitants.

ÍNDICE

1. INTRODUCCIÓN	1
2. ESTADO DEL ARTE	3
3. MOTIVACIÓN	9
4. OBJETIVOS DEL PROYECTO	10
5. METODOLOGÍA Y PLAN DE TRABAJO	13
6. DESARROLLO DEL PROYECTO.....	15
6.1. DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA.....	15
6.2. INVENTARIO Y CÁLCULOS.....	16
6.2.1. PLANTA EÓLICA.....	17
6.2.2. PLANTA FOTOVOLTAICA	20
7. IMPACTO MEDIOAMBIENTAL.....	26
7.1. EMPLAZAMIENTO EXACTO DE LAS CENTRALES.....	26
7.2. DESCRIPCIÓN DE INDICADORES MEDIOAMBIENTALES.....	29
7.3. IMPACTO DE LAS CENTRALES.....	33
7.4. COMPARATIVA DATOS GLOBALES.....	40
7.5. CONCLUSIONES MEDIOAMBIENTALES.....	43
7.5.1. CANTABRIA	43
7.5.2. JAÉN	49
7.5.3. SORIA	53
8. IMPACTO SOCIAL.....	57
8.1. CANTABRIA.....	64
8.1.1. EÓLICA	64
8.1.2. FOTOVOLTAICA.....	64
8.2. JAÉN.....	66
8.2.1. EÓLICA	66

8.2.2. FOTVOLTAICA.....	66
8.3. SORIA.....	68
8.3.1. EÓLICA	68
8.3.2. FOTVOLTAICA.....	68
8.4. CONCLUSIONES IMPACTO SOCIAL	70
9. IMPACTO ECONÓMICO	75
10. CONCLUSIONES.....	89
11. ANEXO OBJETIVOS ODS	102
12. ANEXO INVENTARIO DATOS CENTRAL EÓLICA	106
12.1. EXTRACCIÓN Y FABRICACIÓN.....	106
12.2. TRANSPORTE E INSTALACIÓN	108
12.3. OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO	109
12.4. FIN DE VIDA ÚTIL	110
13. BIBLIOGRAFÍA Y REFERENCIAS.....	112
14. PÁGINAS DE CONSULTA	116

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Velocidades Medias Emplazamientos Provincias	19
Tabla 2: Resumen Impacto Medioambiental	40
Tabla 3: Datos Promedio Impacto Medioambiental.....	41
Tabla 4: Días de Trabajo Planta Fotovoltaica IRENA.....	60
Tabla 5: Días de Trabajo Planta Eólica IRENA	60
Tabla 6: Empleos Informe IDAE	61
Tabla 7: Producción Energía España.....	61
Tabla 8: Empleos/GWh Informe IDAE	62
Tabla 9: Potencia Instalada España.....	62
Tabla 10: Empleos según Potencia Instalada	63
Tabla 11: Empleos/GWh Informe IDAE.....	64
Tabla 12: Empleos según GWh Eólica Cantabria	64
Tabla 13: Empleos Eólica Cantabria	64
Tabla 14: Empleos según GWh Fotovoltaica Cantabria.....	65
Tabla 15: Empleos Fotovoltaica Cantabria.....	65
Tabla 16: Empleos según GWh Eólica Jaén	66
Tabla 17: Empleos Eólica Jaén	66
Tabla 18: Empleos según GWh Fotovoltaica Jaén.....	67
Tabla 19: Empleos Fotovoltaica Jaén	67
Tabla 20: Empleos según GWh Eólica Soria.....	68
Tabla 21: Empleos Eólica Soria	68
Tabla 22: Empleos según GWh Fotovoltaica Soria	68
Tabla 23: Empleos Fotovoltaica Soria.....	69
Tabla 24: Empleos/GWh Informe IDAE	70
Tabla 25: Empleos según Potencia Instalada	70
Tabla 26: Costes 2020 Informe IDAE	81
Tabla 27: Costes 2020 Renovetec	84
Tabla 28: Datos Cálculo Rentabilidad	85
Tabla 29: LCOE Y LROE.....	87
Tabla 30: Resumen Impacto Medioambiental	90

Tabla 31: Impacto Medioambiental	96
Tabla 32: Inventario Extracción y Fabricación.....	107
Tabla 33: Energía Extracción y Fabricación.....	107
Tabla 34: Inventario Transporte	108
Tabla 35: Inventario Cimentación.....	108
Tabla 36: Inventario Cableado	109
Tabla 37: Energía Transporte e Instalación	109
Tabla 38: Inventario Operación y Mantenimiento	109
Tabla 39: Energía Operación y Mantenimiento	110
Tabla 40: Tratamiento Final de Vida	110
Tabla 41: Energía Final de Vida.....	111

ÍNDICE FIGURAS

Figura 1: Cálculo Distancias Marítimas	22
Figura 2: Emplazamiento Central Cantabria	27
Figura 3: Emplazamiento Central Jaén	28
Figura 4: Emplazamiento Central Soria.....	29
Figura 5: Eólica Cantabria	43
Figura 6: Eólica Cantabria Normalizado	44
Figura 7: Fotovoltaica Cantabria	44
Figura 8: Fotovoltaica Cantabria Normalizado	45
Figura 9: Eólica Jaén.....	49
Figura 10: Eólica Jaén Normalizado.....	50
Figura 11: Fotovoltaica Jaén	50
Figura 12: Fotovoltaica Jaén Normalizado	51
Figura 13: Eólica Soria	53
Figura 14: Eólica Soria Normalizado	54
Figura 15: Fotovoltaica Soria.....	54
Figura 16: Fotovoltaica Soria Normalizado.....	55
Figura 17: Población Sorihuela de Guadalimar	72
Figura 18: Población Quintana Redonda	73
Figura 19: Puestos Trabajo Totales Eólica.....	92
Figura 20: Puestos Trabajo Totales Fotovoltaica	93
Figura 21: Puestos de Trabajo Totales por Tecnología y Provincia	93
Figura 22: LCOE Eólica.....	94
Figura 23: LCOE Fotovoltaica	95
Figura 24: LCOE por Tecnología y Provincia	95
Figura 25: Puestos Trabajo Totales Cantabria	97
Figura 26: Puestos Trabajo Totales Jaén.....	97
Figura 27: Puestos Trabajo Totales Soria	98
Figura 28: Puestos de Trabajo Totales por Tecnología y Provincia	98
Figura 29: LCOE Cantabria	99
Figura 30: LCOE Jaén.....	99
Figura 31: LCOE Soria	100

Figura 32: LCOE por Tecnología y Provincia 100

1. INTRODUCCIÓN

Durante las últimas tres décadas, la sostenibilidad ha comenzado a convertirse en un elemento esencial en la agenda de organizaciones regulatorias, negocios, ONGs, científicos y demás agentes de la sociedad (San Miguel et al., 2015), (Corona & San Miguel, 2018).

Sin embargo, el término sostenibilidad es algo difuso. ¿Cómo se puede medir la sostenibilidad de un producto, un servicio o una nueva tecnología? ¿Cómo podría incorporarse la sostenibilidad como un factor a ser tenido en cuenta a la hora de tomar decisiones sobre el medio ambiente?

La mayoría de autores concuerdan con el Informe Brundtland en que la sostenibilidad está compuesta de tres dimensiones interrelacionadas: económica, medioambiental y social (*Brundtland Commission 1987 our common world.pdf*, n.d.). También está globalmente aceptado que para realizar un estudio de la sostenibilidad, es necesario llevar a cabo un Análisis de Ciclo de Vida (ACV), teniendo en cuenta la extracción y procesamiento de los materiales iniciales, el transporte, la fabricación, la utilización del producto por el cliente final y las acciones de fin de ciclo, tal y como se describe en las normas ISO 14040 e ISO 14044 (Iso, 2006).

En este trabajo se realizará un estudio acerca de la sostenibilidad de implantación de dos energías renovables, la eólica y solar fotovoltaica, que son las que más facilidades ofrecen a la hora de recabar datos e información. El estudio se llevará a cabo en tres ubicaciones distintas de la península: Cantabria, Jaén y Soria. Se han elegido estas provincias debido a su baja densidad de población, sus definidas diferencias en cuanto a clima, ocupación de sus habitantes (industria, agricultura o servicios), distancia respecto de la costa etc. Llevando a la práctica el ACV en cada una de ellas se pretende establecer una comparativa entre los resultados que indique cómo afectan las diferencias

climatológicas, sociales, económicas y medioambientales de una población a la hora de decidir el emplazamiento para una central de tipo eólico o fotovoltaico.

2. ESTADO DEL ARTE

A lo largo de los últimos años, la preocupación reinante acerca de la sostenibilidad y el crecimiento del método de ACV ha provocado que surjan una serie de estudios de gran utilidad y que tratan de explicar posibles soluciones desde este enfoque tan particular. En este apartado se realiza una revisión de algunos de los más interesantes para este proyecto.

En el trabajo de Miettinen y Hämäläinen se pretende mostrar que los enfoques y herramientas de análisis de decisiones serán beneficiosos tanto en la planificación del estudio de ACV como en la interpretación y comprensión de resultados. De manera que tras reseñar la metodología y aplicación del ACV se describe como la integración del análisis de decisiones y el ACV; puede mejorar el ACV como una herramienta para la toma de decisiones. Esta integración se ha aplicado a un estudio de ACV de sistemas de envasado de bebidas (Miettinen & Hämäläinen, 1997).

En el trabajo de Campos-Guzmán, García-Cascales, Espinosa y Urbina, se trata un estudio científico en el que se analizan 154 trabajos de otros autores y que da una idea nítida de la utilidad del método de Análisis de Ciclo de Vida. En él se explica la dificultad de definir el concepto de sostenibilidad al ser necesario incluir variables tanto cuantitativas como cualitativas. Este estudio es muy interesante en cuanto al análisis pormenorizado que hace de la distribución geográfica de los estudios analizados, proporcionando al lector una idea clara de en qué países/continentes hay una mayor preocupación e interés por avanzar hacia la sostenibilidad. Su conclusión, tras revisar estudios en los que se emplean el método de ACV y el de Análisis Multicriterio tanto por separado como juntos, es que la integración de los dos es la metodología que mejores resultados ofrece a los científicos (Campos-Guzmán, García-Cáscales, Espinosa, & Urbina, 2019).

En el trabajo de Chang, Zuo, Zhao, Zillante, Gan y Soebarto se revisan las teorías de sostenibilidad que han imperado en distintas compañías a lo largo de

las últimas seis décadas, y lo que esa historia implica para el gran proyecto de futuro que son las renovables. Esta revisión tan detallada es muy una referencia muy útil para legisladores, CEOs e investigadores interesados en la sostenibilidad corporativa y en los estudios relacionados con las energías renovables (Chang et al., 2017).

Centrando el caso en territorio nacional, el siguiente trabajo, escrito por García-Gusano, Garraín y Dufour, trata sobre la evaluación prospectiva con el modelo TIMES-España entre 2014 y 2050. Para ello utilizan dos escenarios diferentes. El primero es denominado Business as Usual (BaU) y en el segundo se fija como objetivo la reducción del 80% de las emisiones de CO₂ para 2050 en comparación a los niveles de 2005, teniendo en cuenta las principales diferencias, como son la contribución de gas natural y el uso de CHP. Con ellos, realizan un análisis del ciclo de vida para cada supuesto y comparan los resultados. Su conclusión es que, en términos de sostenibilidad, una transición hacia lo renovable es realmente necesaria y que es muy recomendable utilizar sistemas que estén perfectamente modelados (todo bien definido) de cara a hacer un ACV realmente eficaz (García-gusano, Garraín, & Dufour, 2017).

Un estudio considerado de gran utilidad fue el elaborado por Corona y San Miguel en el cual se detalla el análisis de sostenibilidad del ciclo de vida como una herramienta holística para evaluar los impactos ambientales, económicos y sociales de una nueva configuración de energía solar llamada HYSOL, en España. La metodología empleada en este estudio es la que se va a utilizar o en la que se basara este trabajo fin de master, la cual fue propuesta anteriormente en los estudios de Hu y Heijungs que se comentarán posteriormente. Su objetivo es estudiar hasta qué punto puede mejorar la sostenibilidad energética en España esta nueva tecnología. Los resultados indican que reduciría el impacto en el cambio climático de España, que afectaría positivamente a la economía y que conllevaría un ligero incremento en la calidad de vida de las personas. Por lo tanto, es general, sus resultados en el análisis de sostenibilidad son del todo positivos (Corona & San Miguel, 2018).

En relación a la metodología, cabe destacar los textos originales de los que se ha obtenido. El primero, escrito por Hu, Kleijn, Bozhilova-Kisheva y Di Maio aplica los pasos (descritos más adelante) para el estudio del reciclaje de cemento (Hu,

Kleijn, Bozhilova-Kisheva, & Di Maio, 2013). Por su parte, el desarrollado por Heijungs, Huppes y Guinée tiene un punto de vista más económico, enfocándose más en los costes en los que se incurre al llevar a cabo un proyecto (Heijungs, Huppes, & Guinée, 2009).

Una tesis doctoral de De la Rúa Lope también forma parte del estado del arte de este proyecto, al compartir su objetivo final de analizar los impactos ambientales, económicos y sociales en la producción de energía renovable. En ella, la autora aplica en ACV a dos sistemas innovadores de producción de energía: Un sistema de producción de bioetanol a partir de cebada en España y un sistema de producción de electricidad en una planta termosolar de tecnología cilindro-parabólica, también es España.

El objetivo, además del citado de estudiar los impactos en las tres modalidades ya conocidas, es el de hallar formas de mejora para aplicar en ambas tecnologías a fin de reducir sus impactos medioambientales (De la Rúa, 2009).

Esta nueva metodología para el análisis de la sostenibilidad está obteniendo un reconocimiento global muy importante, como ya se comprobó en el segundo ejemplo de este estado del arte. Prueba de ello es el siguiente estudio, de Gomaa, Rezk, Mustafa y Al-Dhaifallah. En él se estudia una planta eólica de la sureña región de Jordania, Tafilah. Al igual que en este TFM, se utiliza la herramienta SimaPro y se actúa de acuerdo a los estándares de las normativas ISO. Una de las principales utilidades de este texto será la de obtener datos relativos a la central eólica (materiales, costes...) que se pretende analizar en las tres provincias peninsulares (Gomaa, Rezk, Mustafa, & Al-Dhaifallah, 2019).

De la misma forma, el tipo de aerogeneradores y otros datos relativos a la central eólica a instalar en todas las provincias fueron obtenidos de un estudio titulado "Life Cycle Assessment Of Electricity Production from a Vestas V112 Turbine Wind Plant". El objetivo de este estudio era evaluar los posibles impactos ambientales asociados con la producción de electricidad de una planta eólica terrestre de 100 MW compuesta por treinta y tres turbinas eólicas V112 de 3,0 MW desde la perspectiva del ciclo de vida. Vestas había llevado a cabo varios estudios previos de ACV en sus turbinas eólicas, pero este estudio actual supuso un cambio de paso en cuanto a detalle y complejidad: la modelización de los

productos hasta el nivel de los componentes individuales. Se pretendía que los modelos desarrollados para este estudio se utilizaran para crear un marco definitivo para futuros estudios de ACV, como así ha sido en este caso. (D'Souza et al., 2011)

Para completar y estudiar todas las posibles opciones en cuanto a energía eólica, se revisó el texto de Wagner, Baack, Eickelkamp, Epe, Lohmann y Troy acerca de una central offshore en el Mar del Norte. En este estudio, el objetivo era comparar la influencia de esta planta en términos medioambientales, de generación y de consumo con las demás del mix energético alemán utilizando los análisis de sostenibilidad pertinentes que se utilizarán en este TFM. La conclusión fue que pese al mayor input de material y energía y a las emisiones que se producen en la etapa de construcción, la planta offshore salía vencedora en prácticamente todas las categorías (Wagner et al., 2011).

El siguiente trabajo consiste en un análisis de San Miguel, Corona, Ruiz, Landholm, Laina, Tolosana, Sixto y Cañellas acerca de la utilización de plantaciones de álamos en el sur de España para la producción de energía, utilizando una vez más el ACV. Los resultados para dos tipos de recolección de la madera distintos muestran que esta fase de cosecha y la de transporte son las que más influencia tienen en el impacto. Sin embargo, como fuente de información para este trabajo, se indica que estos resultados podrían variar considerablemente de tratarse de otra región que tuviera diferentes costes de obtención de la tierra, menos necesidades en cuanto a riego o más capacidad inherente para producir bioma (San Miguel et al., 2015).

La siguiente reseña de este estado del arte corresponde a Sumper, Robledo-García, Villafáfila-Robles, Bergas-Janéc y Andrés-Peiró. Su análisis de la central fotovoltaica de Pineda de Mar, en Cataluña, aplicando las técnicas ya mencionadas, resulta fundamental para este TFM debido a lo esclarecedor que resulta en cuanto a los datos que aporta de la central, lo cuales se podrán utilizar para la que está previsto implantar en las provincias de Cantabria, Jaén y Soria (Sumper, Robledo-García, Villafáfila-Robles, Bergas-Jané, & Andrés-Peiró, 2011).

Para más datos en cuanto a centrales fotovoltaicas, como las fases de su ciclo de vida, los componentes, los procesos útiles para su análisis en la herramienta de ACV Simapro o el origen de los materiales y los modos de transporte se consultó el trabajo de Martínez, un trabajo acerca del ciclo de vida de la generación de energía mediante carbón y mediante paneles fotovoltaicos. Este estudio fue especialmente útil por el aspecto técnico de utilización del programa, ya que ayudó a comprender qué herramientas o procesos ya existentes podían prestar algún servicio a la realización de este trabajo. (Martínez, 2018)

Por su parte, la planta fotovoltaica en sí se ha inspirado en cuanto a potencia instalada, tipos de paneles y demás características en un proyecto de futura instalación para La Peñaza, Zaragoza. (Zaragoza, 2019)

Para la correcta implementación de todos los datos recogidos y su interpretación, hay que conocer lo que significa cada indicador medioambiental de los aportados por Simapro. Para ello hay un manual, publicado por el propio programa, donde se resume cómo interpretar cada indicador, sus unidades... según el método de impacto seleccionado. (PRé, 2019)

Por último, para escoger las provincias a analizar debido a sus niveles de despoblación (además de los factores climatológicos, económicos...) se revisó el estudio de Burillo, Rubio y Burillo sobre las estrategias frente a la despoblación en la Serranía Celtibérica. En este texto se muestran datos interesantes sobre el método para analizar zonas escasamente habitadas, que han sido utilizadas para seleccionar las provincias a estudiar (Burillo Cuadrado, Rubio, & Burillo Mozota, 2019).

En cuanto al aspecto económico, Boston Consulting Group y el IDAE (Instituto para la Diversificación y Ahorro de Energía) elaboraron en 2011 un estudio acerca de la Evolución Tecnológica y Prospectiva de Costes de las Energías Renovables. Este estudio sirvió como orientación para intentar situar cuáles iban a ser las cifras en las que se iban a mover los costes de inversión, generación y totales en la actualidad, si bien las condiciones planteadas en el texto para que se cumpliesen dichas previsiones han sido sobrepasadas en la realidad. (BCG & IDAE, 2011)

Por su parte, siguiendo con el aspecto económico, la Asociación de Empresas de Energías Renovables publicó en 2018 un Estudio del Impacto Macroeconómico de las Energías Renovables en España. Este texto facilita los datos acerca de la potencia instalada, la energía producida y la rentabilidad de las diferentes energías renovables presentes en el país. Esta rentabilidad se analiza comparando los ahorros provocados por las energías renovables (en la casación del mercado, en combustibles fósiles o en derechos de CO2) con las retribuciones que tienen para su financiación. Esta publicación fue de gran utilidad para determinar qué provincias serían más beneficiadas en lo económico de instalarse una central en ellas. (Asociación Empresas Energías Renovables, 2018)

Para el apartado social, se han utilizado una serie de documentos publicados por la International Renewable Energy Agency (IRENA). Estos textos, que datan desde 2013 a 2017, ayudan a entender cómo puede influir la energía renovable en el bienestar y la mejora de la calidad de vida de las personas de una determinada localidad o región. Así pues, aportan estadísticas, explicaciones socio-económicas, datos de empleo y posibles beneficios de las energías renovables que aplicar en las provincias seleccionadas. (IRENA, 2016a) (IRENA, 2016b) (IRENA, 2013) (IRENA, 2017)

3. MOTIVACIÓN

El mundo se encuentra en un momento crucial de su historia. La transición energética en la que se encuentra inmerso es uno de los proyectos más importantes de la humanidad en los años venideros. En este aspecto, por tanto, una de las claves incuestionables a la hora de mitigar los posibles efectos del cambio climático y el efecto invernadero es la aparición de energías renovables y su correcto uso y ubicación. Por este motivo es vital tener la mayor información posible a la hora de tomar decisiones acerca de la localización de un tipo de central u otra a lo largo y ancho de la Tierra.

Asimismo, la situación demográfica actual de España no es nada halagüeña para determinadas provincias, principalmente del ámbito rural, que están viendo cómo cada vez menos gente puebla sus tierras. Esto se debe a la aglomeración del trabajo y mejores condiciones socio-económicas que se dan en las grandes ciudades. Por tanto, otro de las finalidades de este trabajo es la de encontrar una solución a través de las energías renovables para esta situación.

Así pues, la motivación de este texto es comparar las posibilidades de implantación de las energías eólica y solar fotovoltaica en distintas zonas de la España vaciada, para así establecer los lugares en los que podrían ser más beneficiosas y generar una valiosa información que se podrá utilizar a la hora de establecer un mix energético sostenible para cada región.

4. OBJETIVOS DEL PROYECTO

1. Utilización del ACV para determinar el impacto que tendría la apertura de una central eólica/fotovoltaica en las provincias de Cantabria, Jaén y Soria.

El ACV es un método capaz de tener en cuenta cada aspecto directo o indirecto que se produce a lo largo del ciclo de vida de un producto o servicio. Su objetivo es la cuantificación de los efectos medioambientales, sociales y económicos de un producto o servicio (la central en este caso). Es típicamente utilizado para comparar el rendimiento de tecnologías diferentes, para encontrar el componente de un determinado sistema que genera un mayor impacto y para poder obtener información útil que permita mejorar el comportamiento de las plantas.

En este caso, se trata de la primera de ellas: comparación de diferentes tecnologías en distintas zonas geográficas.

2. Identificación de las mejores soluciones para cada región

A priori, la central fotovoltaica debería de ofrecer un mejor rendimiento en Jaén que en Cantabria, teniendo un impacto mucho más positivo. Asimismo, la provincia costera debería acoger mejor la energía eólica que Soria. Sin embargo, ¿es esto realmente así?, ¿Hay algún factor que indique lo contrario? Estas suposiciones serán comprobadas a raíz de los resultados obtenidos, identificando si hay algún motivo que indique lo contrario.

En referencia a los 17 objetivos del desarrollo sostenible de la ONU, se pueden aplicar dos de ellos a este estudio. Estos objetivos deben ser tenidos en cuenta a un nivel global y realmente este proyecto por sí mismo no va a ser capaz de alcanzarlos. Sin embargo, puede suponer una ayuda en este proceso mundial y en el anexo final se explica de qué manera puede contribuir a conseguirlos:

3. Garantizar el acceso a una energía asequible, segura, sostenible y moderna para todos (Objetivo nº 7) (Naciones Unidas, 2017)

Las metas de dicho objetivo nº 7 son:

7.1 De aquí a 2030, garantizar el acceso universal a servicios energéticos asequibles, fiables y modernos.

7.2 De aquí a 2030, aumentar considerablemente la proporción de energía renovable en el conjunto de fuentes energéticas.

7.3 De aquí a 2030, duplicar la tasa mundial de mejora de la eficiencia energética.

7.a De aquí a 2030, aumentar la cooperación internacional para facilitar el acceso a la investigación y la tecnología relativas a la energía limpia, incluidas las fuentes renovables, la eficiencia energética y las tecnologías avanzadas y menos contaminantes de combustibles fósiles, y promover la inversión en infraestructura energética y tecnologías limpias.

7.b De aquí a 2030, ampliar la infraestructura y mejorar la tecnología para prestar servicios energéticos modernos y sostenibles para todos en los países en desarrollo, en particular los países menos adelantados, los pequeños Estados insulares en desarrollo y los países en desarrollo sin litoral, en consonancia con sus respectivos programas de apoyo.

4. Adoptar medidas urgentes para combatir el cambio climático y sus efectos (Objetivo nº 13). (Naciones Unidas, 2017)

Las metas de este objetivo nº 13 son:

13.1 Fortalecer la resiliencia y la capacidad de adaptación a los riesgos relacionados con el clima y los desastres naturales en todos los países

13.2 Incorporar medidas relativas al cambio climático en las políticas, estrategias y planes nacionales

13.3 Mejorar la educación, la sensibilización y la capacidad humana e institucional respecto de la mitigación del cambio climático, la adaptación a él, la reducción de sus efectos y la alerta temprana

13.a Cumplir el compromiso de los países desarrollados que son partes en la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático de lograr para el año 2020 el objetivo de movilizar conjuntamente 100.000 millones de dólares anuales procedentes de todas las fuentes a fin de atender las necesidades de los países en desarrollo respecto de la adopción de medidas concretas de mitigación y la transparencia de su aplicación, y poner en pleno funcionamiento el Fondo Verde para el Clima capitalizándolo lo antes posible

13.b Promover mecanismos para aumentar la capacidad para la planificación y gestión eficaces en relación con el cambio climático en los países menos adelantados y los pequeños Estados insulares en desarrollo, haciendo particular hincapié en las mujeres, los jóvenes y las comunidades locales y marginadas

* Reconociendo que la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático es el principal foro intergubernamental internacional para negociar la respuesta mundial al cambio climático.

Otros objetivos de la lista como los de vida submarina (nº 14) o vida en los ecosistemas terrestres (nº 15) también tienen lazos de unión con este proyecto pero su relación es menor que la de los citados anteriormente. La totalidad de estos Objetivos de Desarrollo Sostenible relacionados con el trabajo pueden observarse en el Anexo destinado a tal efecto.

5. METODOLOGÍA Y PLAN DE TRABAJO

La propuesta de trabajo se basa en la metodología aplicada por Hu (Hu et al., 2013), que sigue las indicaciones descritas en el proyecto CALCAS (Zamagni et al., 2009) (Heijungs et al., 2009). Dicha metodología se puede dividir en tres fases:

1. Definición del objetivo y alcance
 - 1.1. Definición global del sistema: descripción del ámbito a analizar (central eólica y fotovoltaica en este caso) para definir claramente las relaciones entre todos los factores de la instalación (materiales, procesos...) y entre las tres dimensiones de sostenibilidad (medioambiental, económica y social). En esta fase debe quedar definido el principal objetivo del proyecto, la pregunta que habrá que responder al final del estudio.
 - 1.2. Creación de diferentes escenarios: formulación de hipótesis relativas a los resultados esperados o a posibles cambios que se puedan producir en el futuro en relación al estudio. Sirve como medida para comparar y tomar decisiones.
 - 1.3. Definición de preguntas para medir la sostenibilidad: asociación de cada pregunta elaborada a uno o varios indicadores (de los tres tipos) para extraer conclusiones y determinar el grado de sostenibilidad de la planta.
2. Creación de un modelo y aplicación de herramientas: utilización del software SimaPro para producir una serie de indicadores cuantitativos que describan la sostenibilidad de los distintos escenarios en cada una de las tres dimensiones.
3. Interpretación de resultados: traducción de los datos cuantitativos obtenidos en respuestas a las preguntas planteadas en el apartado primero.
4. Finalmente, se añade una cuarta fase a modo de conclusión del proyecto.

El proyecto, como ya se ha mencionado, pivota alrededor del uso del programa SimaPro, un software líder en el mundo académico y la industria, con usuarios en más de 80 países. SimaPro permite hacer el cálculo de los impactos ambientales, sociales y económicos asociados a un producto, servicio u organización a lo largo de todo su ciclo de vida.

6. DESARROLLO DEL PROYECTO

6.1. DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA

Siguiendo la metodología diseñada por Hu (Hu et al., 2013) y el proyecto CALCAS (Zamagni et al., 2009) (Heijungs et al., 2009) y aplicada por ejemplo en el estudio relativo al HYSOL en España (Corona & San Miguel, 2018), el desarrollo del proyecto puede dividirse en tres fases. La primera, más corta, consiste en definir claramente cuál es la misión del estudio, es decir, la pregunta o preguntas generales a las que se debe poder contestar una vez se hayan analizado los resultados obtenidos. Sin embargo, con el afán de obtener un mejor resultado del estudio, se pueden plantear también sub-preguntas secundarias. Si se hace de forma adecuada, cada una de estas sub-preguntas irá asociada a un indicador de sostenibilidad que permitirá resolverlas.

La segunda etapa consiste en realizar los cálculos necesarios para extraer una conclusión. Para ello, es necesario recopilar un buen inventario de datos que permita obtener resultados sólidos de cara a su interpretación, y no basados en deducciones. De esta forma se podrá responder a las cuestiones planteadas durante la primera fase. En esta segunda fase, en el ámbito medioambiental, además, es necesario modelar el ciclo de vida de la central eólica y fotovoltaica en cada una de las regiones en el programa SimaPro, para así obtener el impacto generado por cada una de ellas.

Finalmente, la tercera fase se basa en la interpretación de los resultados e indicadores obtenidos y en su utilización para contestar las preguntas de la primera fase. Esto permite la extracción de conclusiones, la parte de más interés del proyecto.

Así pues, este apartado “Descripción del problema” se corresponde con la primera de estas tres fases. A partir de la introducción, motivación, objetivos... expuestos con anterioridad, resulta sencillo establecer cuáles van a ser las preguntas que se tratarán de resolver tras un análisis pormenorizado de los resultados.

La primera de ellas podría formularse de la siguiente manera: **¿Hasta qué punto la instauración de una central solar o eólica es beneficiosa y sostenible en cada una de las provincias elegidas?** Esta pregunta deberá responderse desde los tres puntos de vista desde los cuales se aborda el Análisis de Ciclo de Vida (ACV a partir de ahora): medioambiental, social y económico. A tenor de los impactos que se obtengan, se determinará si es recomendable la instalación de plantas de este tipo, o si, por el contrario, causan más daños que beneficios para la comarca.

La segunda, por su parte, tiene más forma de comparativa: **¿Cuál de los dos tipos de energía sería más recomendable utilizar en cada provincia de acuerdo a los resultados?** Una vez se haya decidido si es una buena solución implementar las citadas energías renovables (eólica y fotovoltaica), se podrá realizar una comparación de los resultados e impactos generados por ambas para decidir cuál sería más aconsejable instalar en cada provincia.

6.2. INVENTARIO Y CÁLCULOS

En esta segunda fase, quizá la más extensa del trabajo, se detallan los datos obtenidos, que se deberán utilizar para la extracción de resultados y conclusiones a posteriori. Además, se establecen los límites en los que se desarrollará este proyecto, muy importantes para conocer en profundidad su alcance y dimensión.

Como ya se ha explicado, la metodología consistirá en comprobar la adaptación de una misma central eólica y otra fotovoltaica a las tres provincias en cuestión. Así pues, el mismo proceso se aplicará tres veces, aunque no será exactamente

igual, ya que, por poner un ejemplo, la distancia del transporte de las piezas no va a ser la misma hasta Cantabria que hasta Jaén. Esto deberá hacerse tanto en el ámbito medioambiental, como también en el económico y el social.

Para poder llevar a cabo las comparativas, hace falta definir una **unidad funcional**. El resultado de los impactos y consecuencias de la implementación de las centrales se dividirá entre esta unidad funcional para poder tomar una decisión respecto a su idoneidad para la región.

Esta unidad funcional será de 1 kWh para este proyecto. Esto quiere decir que todos los impactos producidos a lo largo de un año medio de funcionamiento se dividirán entre la producción anual de electricidad en kWh de cada planta, y de ahí se obtendrá el resultado final para establecer las variaciones, beneficios e inconvenientes que presentan las unas respecto de las otras.

Así pues, se procede a definir los inventarios y procesos del ciclo de vida de las plantas eólica y fotovoltaica por separado.

6.2.1. PLANTA EÓLICA

La planta eólica seleccionada está compuesta por 10 turbinas Vestas V112-3,45 MW. Así pues, la potencia total instalada es de 34,5 MW. Esta potencia instalada está en concordancia con la media o potencia habitual instalada de las centrales en España, que van desde los 50 MW hasta las instalaciones de uso doméstico, según el informe realizado por [Avatar Energía](#). (D'Souza et al., 2011)

Además, cabe destacar que todos los datos se basan en las dos referencias mencionadas a continuación, y han sido modificados y adaptados de acuerdo a las necesidades de este trabajo: “Life Cycle Assessment of Electricity Production from a V112 Turbine Wind Park” y “Evaluating the Environmental Impacts and Energy Performance of a Wind Farm System Utilizing the Life-Cycle Assessment

Method: A Practical Case Study in Talifah (Jordan)”. (D'Souza et al., 2011)(Gomaa et al., 2019).

En primer lugar, la fase de la creación de componentes conlleva todos los combustibles, energía y materiales necesarios tanto para la extracción como para la propia acción de transformar dicha materia virgen en las aspas, torres y demás componentes de las turbinas.

Tras esto, llega la fase del transporte, donde los componentes (acabados o no), se trasladan hasta el emplazamiento en el que estará situada la planta. Una vez allí, se lleva a cabo la instalación. Esta fase incluye todos los materiales, energía empleada en actividades como la cimentación, o combustibles utilizados para el transporte de los componentes.

La tercera fase, de operación y mantenimiento, incluye todos los lubricantes, piezas de recambio, y demás elementos necesarios para el correcto funcionamiento de la central durante su tiempo de vida.

Finalmente, cuando el ciclo de vida útil termina, la planta es desmantelada y el emplazamiento debe de acondicionarse según se haya acordado con anterioridad. Así pues, en esta fase, se considerará el tratamiento de los residuos, que pueden ser reciclados, incinerados para la obtención de energía, o depositados en lugares dispuestos a tal efecto.

Por tanto, el inventario de datos obtenidos para cada una de estas fases puede verse en el anexo final destinado a tal efecto.

Para poder expresar los resultados respecto a la unidad funcional, es necesario calcular la producción de electricidad suministrada a la red por esta planta eólica en el caso de estar localizada en cada una de las tres provincias (Cantabria, Soria y Jaén).

Para calcular la energía generada, resultante de la potencia generada por la turbina, es fundamental conocer el comportamiento del viento en cada región.

Los datos obtenidos para la velocidad media del viento, fueron extraídos de la web [Weatherspark](https://www.weatherspark.com), y utilizados posteriormente en los cálculos para obtener la potencia generada, fueron los siguientes:

Provincia	Vmedia (km/h)	Vmedia (m/s)
Cantabria	17,50	4,86
Soria	11,95	3,32
Jaén	9,85	3,00

Tabla 1: Velocidades Medias Emplazamientos Provincias

A partir de ahí, se realizarán los cálculos siguiendo la fórmula de la potencia generada por un aerogenerador, siguiendo las enseñanzas del [blog](#) de internet de Ignacio Mártil, catedrático de Electrónica de la Universidad Complutense de Madrid y miembro de la Real Sociedad Española de Física:

$$P = n_a \times \frac{1}{2} \times \rho \times A \times v^3$$

Donde:

n_a : eficiencia aerodinámica, un valor realista (y que ha sido el escogido) es el 40%, teniendo en cuenta también tanto la eficiencia mecánica como eléctrica.

ρ : densidad del aire, $1,225 \text{ kg/m}^3$.

A : superficie barrida por las aspas de la hélice.

$$A = \pi \times r^2 = \pi \times 54,7^2 = 9399,93 \text{ m}^2$$

v : velocidad del viento (m/s).

Por lo tanto, la potencia que puede generar una turbina en cada una de las provincias a estudiar es la siguiente:

$$P_{Cantabria} = 0,4 \times \frac{1}{2} \times 1,225 \times A \times v_{Cantabria}^3 = 264,36 \text{ kW}$$

$$P_{Soria} = 0,4 \times \frac{1}{2} \times 1,225 \times A \times v_{Soria}^3 = 84,27 \text{ kW}$$

$$P_{Jaén} = 0,4 \times \frac{1}{2} \times 1,225 \times A \times v_{Jaén}^3 = 20,73 \text{ kW}$$

Teniendo en cuenta que se quiere que la potencia instalada de la central sea de 34,5 MW, harán falta 10 turbinas como éstas. Así pues, a partir de los datos suministrados por [Red Eléctrica Española](#) (REE) y la [Revista Eólica y del Vehículo Eléctrico](#) (REVE) del año pasado (2019) y de los resultados del primer trimestre de 2020, mucho más prometedores, se ha realizado una interpolación y se ha obtenido la siguiente producción de energía eólica: 57000 GWh anuales en España. Teniendo en cuenta que hay 25704 MW instalados, el número medio de horas de funcionamiento será:

$$57000 \text{ GWh} / 25704 \text{ MW} = 2217,55 \text{ horas}$$

Por tanto, la producción anual que se podrá esperar en cada provincia y que se utilizará para poner las magnitudes en función de la unidad funcional será:

$$Energía_{cantabria} = 264,36 \text{ kW} \times 10 \times n^{\circ}_{horas \text{ de funcionamiento}} = 23,2 \text{ GWh/año}$$

$$Energía_{soria} = 84,27 \text{ kW} \times 10 \times n^{\circ}_{horas \text{ de funcionamiento}} = 7,4 \text{ GWh/año}$$

$$Energía_{Jaén} = 20,73 \text{ kW} \times 10 \times n^{\circ}_{horas \text{ de funcionamiento}} = 1,8 \text{ GWh/año}$$

6.2.2. PLANTA FOTOVOLTAICA

La planta fotovoltaica de este proyecto se ha inspirado en la que se va a construir en La Peñaza, Zaragoza. Dicha central cuenta con una potencia instalada de 12,5 MWp. Esta potencia, aun estando lejos de los 494 MWp de la de Mula, en

Murcia, se encontraría alrededor del puesto 30 entre las [centrales fotovoltaicas de mayor potencia instalada](#).

Para su instalación y posterior funcionamiento se utilizarán los paneles de silicio policristalino JKM330PP-72 de 330 W, del fabricante [Jinko](#). Además, de cara a afrontar el diseño de la planta en Simapro, es necesario definir las fases del ciclo de vida de la planta fotovoltaica.

Según el trabajo de Martínez, que realiza un análisis del ciclo de vida de la generación por carbón y paneles fotovoltaicos, estas fases son las siguientes: extracción de los materiales, transformación del silicio, fabricación de los paneles, transporte e instalación de los mismos y operación de la central. (Martínez, 2018)

Este ciclo es idéntico para una misma planta, esté ésta instalada en la provincia en la que esté, y la única diferencia apreciable es la distancia de transporte. La fábrica de Jinko donde se crean estos paneles más cercana a España es la de Jacksonville, Florida. Así pues, para el transporte hasta España se ha elegido la ruta marítima Jacksonville-Santander, ya que Cantabria es la única de las provincias a estudiar que tiene mar. A este trayecto por barco, hay que añadir las distancias Cantabria-Soria y Cantabria-Jaén por carretera, que suponen la única diferencia en cuanto a posible impacto medioambiental bruto (sin recurrir a la unidad funcional) entre las tres provincias. La distancia del trayecto por barco ha sido calculada gracias a la web [MarineTraffic](#), que permite calcular rutas y distancias entre las principales ciudades costeras del mundo, como se puede comprobar en la figura 1. Como se puede comprobar, esta página ofrece las distancias en millas náuticas, por lo que fue necesario multiplicar por 1,83 para obtener el equivalente en kilómetros, resultando una distancia de 6903,67 km. entre puertos.

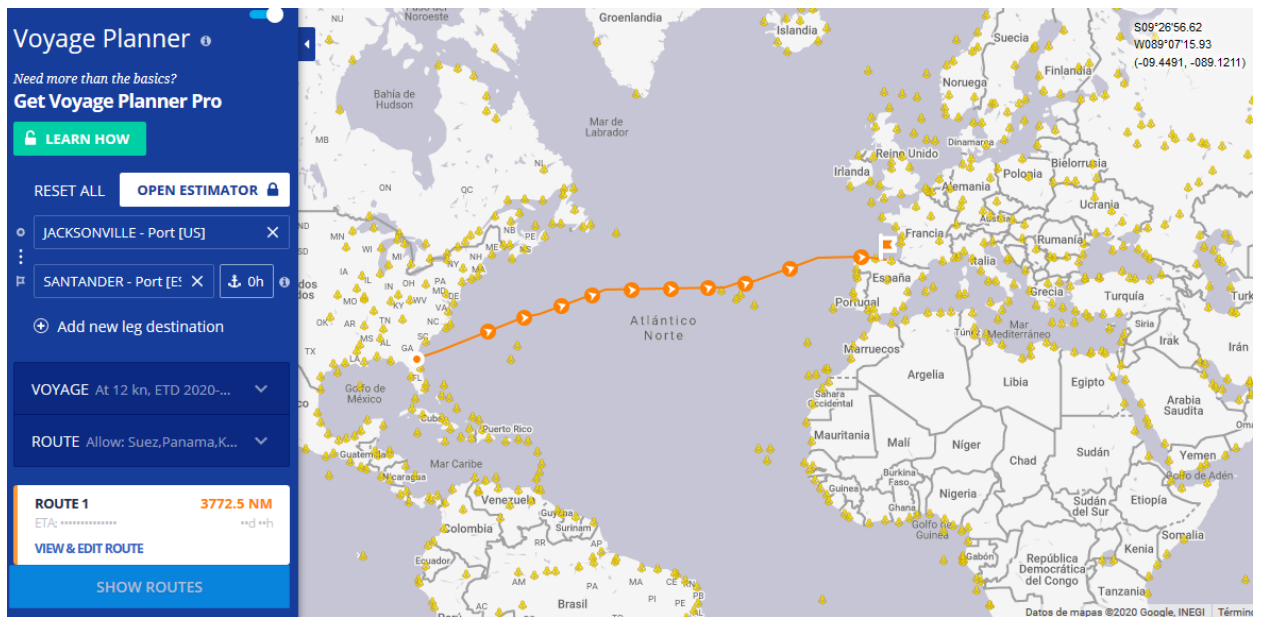


Figura 1: Cálculo Distancias Marítimas

Entrando ya en los cálculos necesarios para modelar este proceso en Simapro, en este caso no ha sido necesaria la introducción manual de los datos del inventario como se hizo en la planta eólica. Esto se debe a la existencia de procesos previamente creados que se adecúan a lo que se necesita para este estudio.

Para las fases de extracción de los materiales, transformación del silicio, fabricación e instalación se utilizaron dos procesos:

- *Photovoltaic Mounting System, for 570kWp open ground module {GLO} I Market for.* Sistema de montaje de módulos fotovoltaicos de 570 kWp al aire libre, de implica todas las fases mencionadas anteriormente aplicadas a la construcción del soporte o estructura física, normalmente metálica, que sostiene los paneles fotovoltaicos.
- *Photovoltaic panel, multi-Si wafer {GLO} I Market for:* creación y montaje de los módulos fotovoltaicos de silicio policristalino, de 1 metro cuadrado.

Para la fase de transporte de los paneles, se han empleado los siguientes procesos:

- *Transport, freight, sea, transoceanic ship {GLO} I Market for:* transporte de mercancía en barco transoceánico, para el transporte de los paneles desde Jacksonville hasta Santander.
- *Transport, freight, lorry >32 metric ton, EURO3 {GLO} I Market for:* transporte en camión por carretera, para su posterior distribución desde Cantabria en los casos de Jaén y Soria.

Finalmente, en la fase de operación de la planta, es necesario un dispositivo que una la planta con la red eléctrica o con el consumidor, y que convierta la corriente continua en alterna, por lo que se incluye el siguiente proceso:

- *Inverter, 500kW {GLO} I Market for:* realiza la citada función. A pesar de no ser de la misma potencia exacta que el montaje solar instalado, es el que más se adecúa, dado que la potencia instalada es similar y los paneles no siempre van a funcionar a su máximo. Si lo hacen, habría que disponer de otro inversor extra ocasional, no necesariamente de la misma potencia, que entrase en funcionamiento cuando fuese necesario. Al ser este último un elemento eventual y no conocerse a ciencia cierta en qué momento va a estar en funcionamiento, quedaría fuera del alcance de este estudio.

Estos procesos, sin embargo, pueden generar confusión, ya que surgen las siguientes preguntas: ¿No se trataba de una planta de 12,5 MWp?, ¿No se iban a utilizar módulos de 330 W? ¿Cómo encaja todo esto con los procesos de Simapro?

Contestando una por una:

La potencia total instalada de la planta es de 12,5 MWp, por lo que al llevar a cabo el cálculo final del impacto en SimaPro, se hizo la división para ver cuántas unidades de este proceso eran necesarias. Por tanto, se concluyó que había que instalar 22 unidades como las modeladas en el proceso de 570 kWp:

$$12,5 \text{ MWp} : \frac{12500 \text{ kWp}}{570 \text{ kWp}} = 22 \text{ unidades}$$

Los módulos, como ya se mencionó anteriormente, son fabricados por Jinko y tienen una potencia pico de 330 Wp, por lo que cada proceso de Simapro de 570 kWp está compuesto por 1727 paneles:

$$570 \text{ kW} = \frac{570000 \text{ W}}{330 \text{ W}} = 1727 \text{ paneles}$$

Al ocupar cada panel un área de $1,94 \text{ m}^2$, el área total de cada conjunto de 570 kW es de:

$$1727 \text{ paneles} \times 1,94 \frac{\text{m}^2}{\text{panel}} = 3350 \text{ m}^2$$

Y el área total ocupada por la planta de 12,5 MWp será de:

$$3350 \text{ m}^2 \times 22 \text{ unidades} = 73700 \text{ m}^2$$

Además, para poder realizar las comparativas, es necesario apoyarse en la unidad funcional, que como ya se explicó en el caso de la eólica, es 1 kWh. Así, para hallar la producción anual de las centrales fotovoltaicas instaladas en cada provincia, una vez elegida la ubicación exacta (se explicará en el siguiente apartado), se utilizó el software [PVGIS](#). Esta herramienta, creada por la Comisión Europea, permite calcular la energía creada anualmente por una planta fotovoltaica de una determinada potencia. La herramienta funciona de la siguiente manera. Se selecciona con un cursor la ubicación exacta de la planta fotovoltaica en un mapa mundial. Tras esto, el programa calcula la radicación solar en el lugar elegido para el emplazamiento, que será distinta en cada localización. Finalmente, teniendo en cuenta la potencia instalada, la vida útil de la central (25 años en este caso), el tipo de tecnología fotovoltaica utilizada (silicio policristalino) y las pérdidas para mantenimiento (que se han estimado en un 20% del tiempo útil de funcionamiento), calcula la producción anual de energía de cada planta. Por si esto fuera poco, es capaz de optimizar la colocación de los paneles hallando el mejor ángulo posible para maximizar la producción de energía. Teniendo en cuenta todos estos factores, la producción

anual resultante en cada provincia dados los emplazamientos elegidos que se observarán en el apartado siguiente es:

$$Energía_{cantabria} = 16,8 \text{ GWh/año}$$

$$Energía_{jaén} = 23,1 \text{ GWh/año}$$

$$Energía_{soria} = 21,9 \text{ GWh/año}$$

7. IMPACTO MEDIOAMBIENTAL

7.1. EMPLAZAMIENTO EXACTO DE LAS CENTRALES

En Cantabria, el enclave elegido se encuentra entre Santillana del Mar e Hinojedo. Esta ubicación ha sido escogida tanto por razones técnicas que sociales. Cantabria es una región abrupta y montañosa, lo que dificulta la colocación de los paneles fotovoltaicos en la mitad sur. Además, no se caracteriza por ser excesivamente soleada, así que ha primado la capacidad eólica, razón por la cual se ha intentado que esté cercana a la costa, aunque a una distancia prudencial para evitar el impacto visual, dado que la zona se nutre del turismo principalmente. Tanto en Santillana como Hinojedo, el crecimiento de la población se encuentra estancado, cuando no decreciente, debido a que son localidades turísticas (sobre todo Santillana) pero con una población envejecida, baja natalidad y problemas de migración a la ciudad.

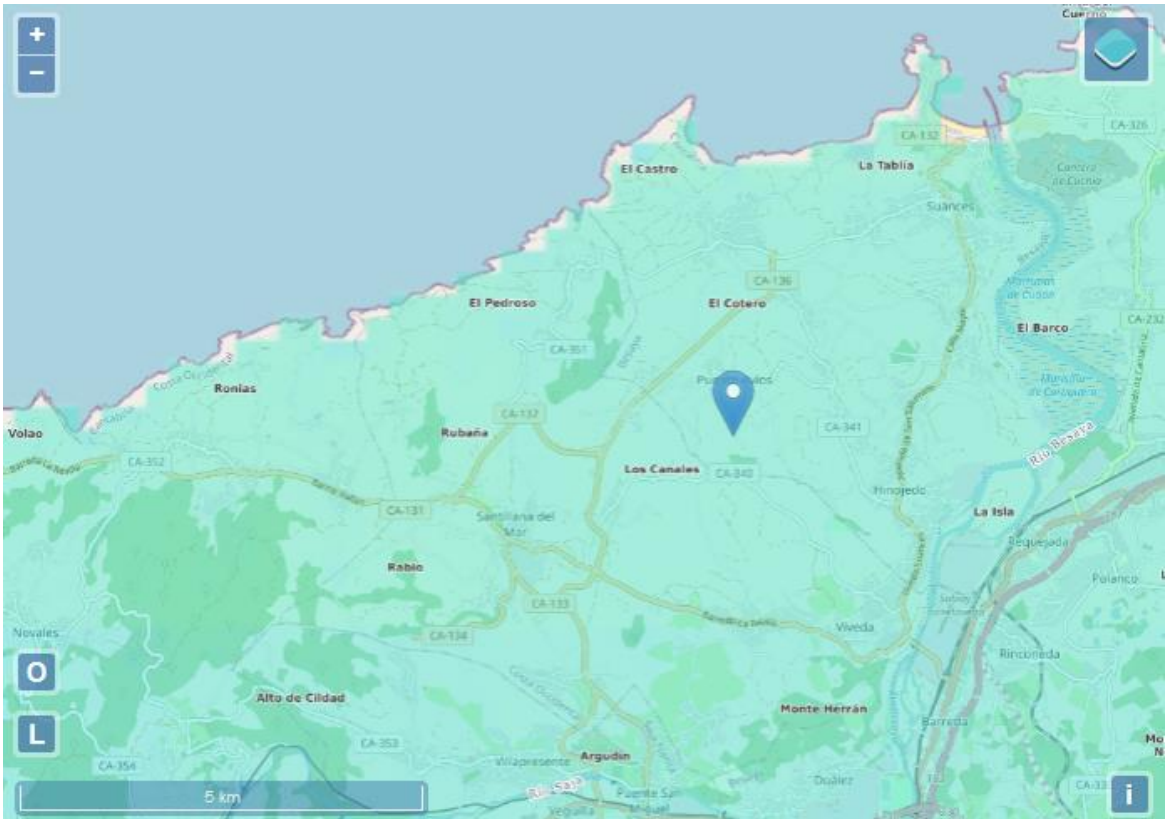


Figura 2: Emplazamiento Central Cantabria

En cuanto a la provincia de Jaén, el lugar escogido se encuentra en la comarca de Las Villas, concretamente cerca de Sorihuela de Guadalimar. Esta población, situada a un paso de la Sierra de Cazorla y a 108 Km. de Jaén ciudad, cuenta solamente con 1100 habitantes, según datos del INE en 2019, principalmente dedicados a la agricultura y el cultivo del olivo.

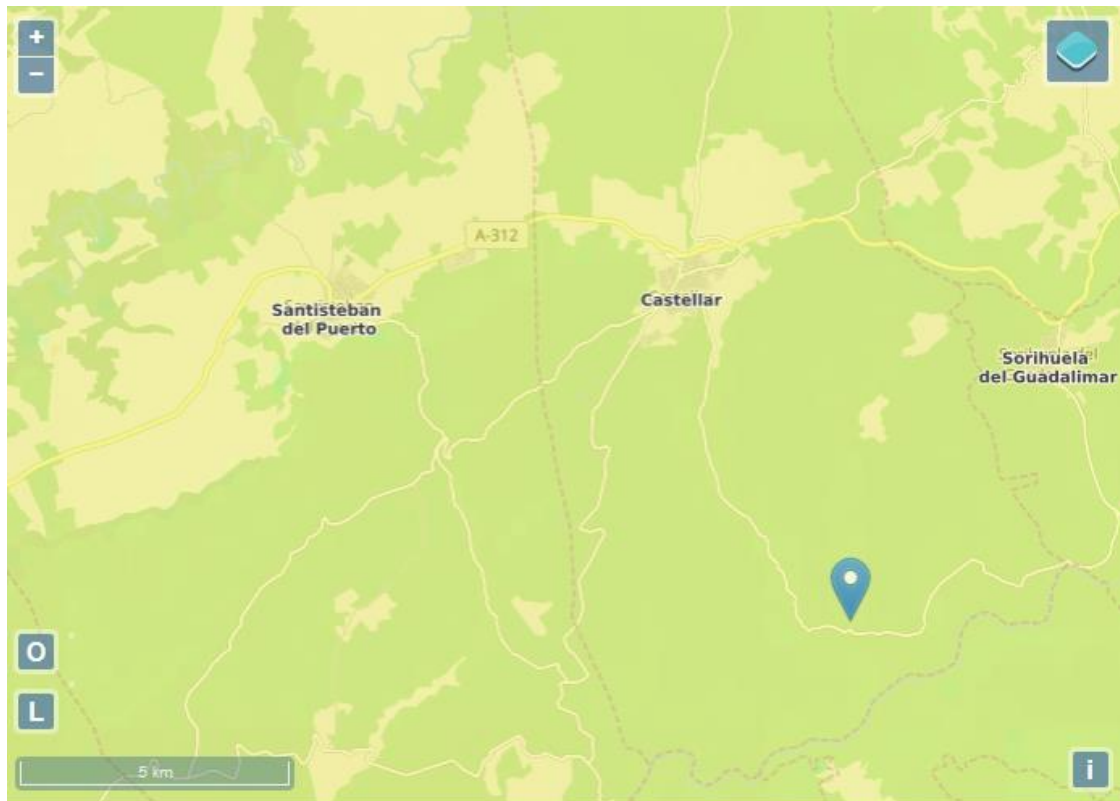


Figura 3: Emplazamiento Central Jaén

Finalmente, en la provincia de Soria, se ha escogido una ubicación próxima a la localidad de Ventosa de Fuentepinilla. Esta población, perteneciente al ayuntamiento de Quintana Redonda, se encuentra en un terreno de gran altitud, cerca de los 1000 m. por encima del nivel del mar, lo que favorece la localización de la central eólica. Por otro lado, también es un lugar óptimo desde el punto de vista social, ya que cuenta con serios problemas para mantener a la población, pese a encontrarse a sólo 34 Km. de la capital de provincia. Este núcleo cuenta con apenas dos decenas de habitantes y todo el ayuntamiento de Quintana Redonda no alcanza los 500.

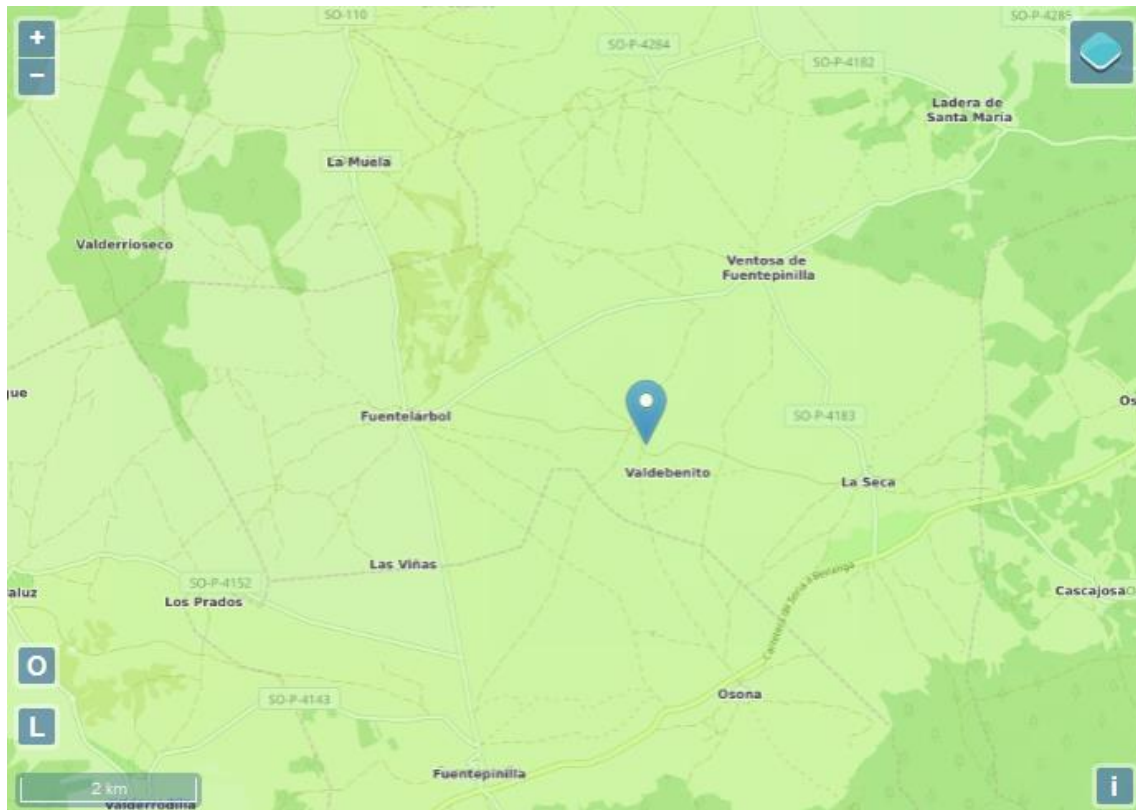


Figura 4: Emplazamiento Central Soria

7.2. DESCRIPCIÓN DE INDICADORES MEDIOAMBIENTALES

Agotamiento de Recursos Abióticos

Esta categoría de impacto se refiere a la protección del bienestar humano, la salud humana y la salud del ecosistema. Este indicador de la categoría de impacto se relaciona con la extracción de minerales y combustibles fósiles debido a los inputs del sistema. El agotamiento de recursos abióticos se determina para cada extracción de minerales y combustibles fósiles (kg de equivalentes de antimonio/kg de extracción) basándose en las reservas de concentración y la tasa de desacumulación. El ámbito geográfico de este indicador es a escala mundial. (PRé, 2019)

Calentamiento Global

El cambio climático puede tener efectos adversos en la salud de los ecosistemas, la salud humana y el bienestar material. El cambio climático está relacionado con las emisiones de gases de efecto invernadero a la atmósfera. El modelo de caracterización elaborado por el [Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático](#) (IPCC) se selecciona para el desarrollo de los factores de caracterización. Los factores se expresan como calentamiento global para un horizonte temporal de 100 años (GWP100), en kg de dióxido de carbono/kg de emisión. El ámbito geográfico de este indicador es a escala mundial. (PRé, 2019)

Agotamiento de la Capa de Ozono

Debido al agotamiento del ozono estratosférico, una mayor fracción de la radiación UV-B llega a la superficie terrestre. Esto puede tener efectos perjudiciales para la salud humana, la salud de los animales, los ecosistemas terrestres y acuáticos, los ciclos bioquímicos y los materiales. Esta categoría está relacionada con la producción y a escala mundial. El modelo de caracterización ha sido desarrollado por la Organización Meteorológica Mundial (OMM) y define el potencial de agotamiento de la capa de ozono de los diferentes gases (kg de equivalente en CFC-11/kg de emisión). El alcance geográfico de este indicador es a escala mundial. El lapso de tiempo es infinito. (PRé, 2019)

Toxicidad Humana

Esta categoría se refiere a los efectos de las sustancias tóxicas en el medio ambiente humano. No se incluyen los riesgos para la salud derivados de la exposición en el entorno laboral. Los factores de caracterización se calculan con USES-LCA, describiendo el destino, la exposición y los efectos de las sustancias tóxicas para un horizonte temporal infinito. Para cada sustancia tóxica los factores de toxicidad humana se expresan como equivalentes de 1,4-diclorobenceno/kg de emisión. El alcance geográfico de este indicador determina

el destino de una sustancia y puede variar entre la escala local y la escala mundial. (PRé, 2019)

Ecotoxicidad para Sistemas de Agua Dulce

Este indicador de categoría se refiere al impacto en los ecosistemas de agua dulce, como resultado de las emisiones de sustancias tóxicas al aire, el agua y el suelo. El potencial de ecotoxicidad (FAETP) se calcula con USES-LCA, describiendo el destino, la exposición y los efectos de las sustancias tóxicas. El horizonte temporal es infinito. Los factores de caracterización se expresan en equivalentes de 1,4-diclorobenceno/kg de emisión. El indicador se aplica a escala mundial/continental/regional y local. (PRé, 2019)

Ecotoxicidad para Sistemas Marinos

La ecotoxicidad marina se refiere a los impactos de las sustancias tóxicas en los ecosistemas marinos (véase la descripción de la toxicidad en agua dulce). (PRé, 2019)

Ecotoxicidad para Sistemas Terrestres

Esta categoría se refiere a los impactos de las sustancias tóxicas en los ecosistemas terrestres (véase la descripción de la toxicidad en el agua dulce). (PRé, 2019)

Oxidación Fotoquímica

La formación de foto-oxidantes es la formación de sustancias reactivas (principalmente el ozono) que son perjudiciales para la salud humana y los ecosistemas y que también pueden dañar los cultivos. Este problema también se indica con el "smog de verano". El smog de invierno está fuera del alcance de esta categoría. El potencial de creación de ozono fotoquímico para la emisión de sustancias al aire se calcula con el modelo de trayectoria de la UNECE

(incluido el destino) y se expresa en kg de equivalentes de etileno/kg de emisión. El lapso de tiempo es de 5 días y la escala geográfica varía entre la escala local y la continental. (PRé, 2019)

Acidificación

Las sustancias acidificantes causan una amplia gama de impactos en el suelo, las aguas subterráneas, las aguas superficiales, los organismos, los ecosistemas y los materiales (edificios). El potencial de acidificación (AP) de las emisiones al aire se calcula con el modelo RAINS 10 adaptado, que describe el destino y la deposición de las sustancias acidificantes. El AP se expresa en kg de equivalentes de SO₂/kg de emisión. El lapso de tiempo es infinito y la escala geográfica varía entre la escala local y la escala continental. (PRé, 2019)

Eutrofización

La eutrofización (también conocida como nutrición) incluye todos los impactos debidos a los niveles excesivos de macronutrientes en el medio ambiente causados por las emisiones de nutrientes al aire, el agua y el suelo. Este impacto surge de distintas fuentes, como los residuos forestales que se dejan en las aguas, que se degradan aportándole todo el nitrógeno y el resto de nutrientes que tenía la planta. Otra opción son las emisiones de óxidos de nitrógeno y azufre que reaccionan en la atmósfera produciendo lluvia ácida, llevando nutrientes de este modo a las masas de agua. Finalmente, en cualquier actividad industrial se producen vertidos tanto de productos nitrogenados como fosfatados entre otros muchos tóxicos, como puede ocurrir en las fases de extracción y fabricación. El potencial de nutrición (NP) se basa en el procedimiento estequiométrico de Heijungs (1992), y se expresa en equivalentes de kg PO₄ por kg de emisión. No se incluye el destino y la exposición, el lapso de tiempo es la eternidad, y la escala geográfica varía entre la escala local y la continental. (PRé, 2019)

7.3. IMPACTO DE LAS CENTRALES

- **Agotamiento de Recursos Abióticos**

- Central eólica:

$$\text{Agotamiento de Recursos Abióticos}_{\text{Cantabria}} = 1,82 \times 10^{-6} \text{ kg Sb eq/kWh}$$

$$\text{Agotamiento de Recursos Abióticos}_{\text{Jaén}} = 2,34 \times 10^{-5} \text{ kg Sb eq/kWh}$$

$$\text{Agotamiento de Recursos Abióticos}_{\text{Soria}} = 5,71 \times 10^{-6} \text{ kg Sb eq/kWh}$$

- Central fotovoltaica:

$$\text{Agotamiento de Recursos Abióticos}_{\text{Cantabria}} = 3,51 \times 10^{-5} \text{ kg Sb eq/kWh}$$

$$\text{Agotamiento de Recursos Abióticos}_{\text{Jaén}} = 2,55 \times 10^{-5} \text{ kg Sb eq/kWh}$$

$$\text{Agotamiento de Recursos Abióticos}_{\text{Soria}} = 2,69 \times 10^{-5} \text{ kg Sb eq/kWh}$$

- **Calentamiento Global**

- Central eólica:

$$\text{Calentamiento Global}_{\text{Cantabria}} = 0,10 \text{ kg CO}_2 \text{ eq/kWh}$$

$$\text{Calentamiento Global}_{\text{Jaén}} = 1,34 \text{ kg CO}_2 \text{ eq/kWh}$$

$$\text{Calentamiento Global}_{\text{Soria}} = 0,33 \text{ kg CO}_2 \text{ eq/kWh}$$

- Central fotovoltaica:

$$\text{Calentamiento Global}_{\text{Cantabria}} = 1,32 \text{ kg CO}_2 \text{ eq/kWh}$$

$$\text{Calentamiento Global}_{\text{Jaén}} = 0,96 \text{ kg CO}_2 \text{ eq/kWh}$$

$$\text{Calentamiento Global}_{\text{Soria}} = 1,01 \text{ kg CO}_2 \text{ eq/kWh}$$

- **Agotamiento de la Capa de Ozono**

- Central eólica:

$$\text{Agotamiento de la Capa de Ozono}_{\text{Cantabria}} = 9,64 \times 10^{-9} \text{ kg CFC - 11 eq/kWh}$$

$$\text{Agotamiento de la Capa de Ozono}_{\text{Jaén}} = 1,24 \times 10^{-7} \text{ kg CFC - 11 eq/kWh}$$

$$\text{Agotamiento de la Capa de Ozono}_{\text{Soria}} = 3,02 \times 10^{-8} \text{ kg CFC - 11 eq/kWh}$$

- Central fotovoltaica:

$$\text{Agotamiento de la Capa de Ozono}_{\text{Cantabria}} = 2,15 \times 10^{-7} \text{ kg CFC - 11 eq/kWh}$$

$$\text{Agotamiento de la Capa de Ozono}_{\text{Jaén}} = 1,57 \times 10^{-7} \text{ kg CFC - 11 eq/kWh}$$

$$\text{Agotamiento de la Capa de Ozono}_{\text{Soria}} = 1,65 \times 10^{-7} \text{ kg CFC - 11 eq/kWh}$$

- **Toxicidad Humana**

- Central eólica:

$$\text{Toxicidad Humana}_{\text{Cantabria}} = 0,25 \text{ kg 1,4 - DB eq/kWh}$$

$$\text{Toxicidad Humana}_{\text{Jaén}} = 3,22 \text{ kg 1,4 - DB eq/kWh}$$

$$\text{Toxicidad Humana}_{\text{Soria}} = 0,78 \text{ kg 1,4 - DB eq/kWh}$$

- Central fotovoltaica:

$$\textit{Toxicidad Humana}_{\textit{Cantabria}} = 1,13 \text{ kg } 1,4 - \text{DB eq} / \textit{kWh}$$

$$\textit{Toxicidad Humana}_{\textit{Jaén}} = 0,82 \text{ kg } 1,4 - \text{DB eq} / \textit{kWh}$$

$$\textit{Toxicidad Humana}_{\textit{Soria}} = 0,86 \text{ kg } 1,4 - \text{DB eq} / \textit{kWh}$$

- **Ecotoxicidad para Sistemas de Agua Dulce**

- Central eólica:

$$\textit{Ecotoxicidad para Sistemas de Agua Dulce}_{\textit{Cantabria}} = 0,08 \text{ kg } 1,4 - \text{DB eq} / \textit{kWh}$$

$$\textit{Ecotoxicidad para Sistemas de Agua Dulce}_{\textit{Jaén}} = 1,02 \text{ kg } 1,4 - \text{DB eq} / \textit{kWh}$$

$$\textit{Ecotoxicidad para Sistemas de Agua Dulce}_{\textit{Soria}} = 0,25 \text{ kg } 1,4 - \text{DB eq} / \textit{kWh}$$

- Central fotovoltaica:

$$\textit{Ecotoxicidad para Sistemas de Agua Dulce}_{\textit{Cantabria}} = 1,63 \text{ kg } 1,4 - \text{DB eq} / \textit{kWh}$$

$$\textit{Ecotoxicidad para Sistemas de Agua Dulce}_{\textit{Jaén}} = 1,18 \text{ kg } 1,4 - \text{DB eq} / \textit{kWh}$$

$$\textit{Ecotoxicidad para Sistemas de Agua Dulce}_{\textit{Soria}} = 1,25 \text{ kg } 1,4 - \text{DB eq} / \textit{kWh}$$

- **Ecotoxicidad para Sistemas Marinos**

- Central eólica:

$$Ecotoxicidad\ para\ Sistemas\ Marinos_{Cantabria} = 174,83\ kg\ 1,4 - DB\ eq/kWh$$

$$Ecotoxicidad\ para\ Sistemas\ Marinos_{Jaén} = 2253,33\ kg\ 1,4 - DB\ eq/kWh$$

$$Ecotoxicidad\ para\ Sistemas\ Marinos_{Soria} = 548,11\ kg\ 1,4 - DB\ eq/kWh$$

- Central fotovoltaica:

$$Ecotoxicidad\ para\ Sistemas\ Marinos_{Cantabria} = 4785,12\ kg\ 1,4 - DB\ eq/kWh$$

$$Ecotoxicidad\ para\ Sistemas\ Marinos_{Jaén} = 3480,09\ kg\ 1,4 - DB\ eq/kWh$$

$$Ecotoxicidad\ para\ Sistemas\ Marinos_{Soria} = 3670,78\ kg\ 1,4 - DB\ eq/kWh$$

- **Ecotoxicidad para Sistemas Terrestres**

- Central eólica:

$$Ecotoxicidad\ para\ Sistemas\ Terrestres_{Cantabria} = 9,02 \times 10^{-4}\ kg\ 1,4 - DB\ eq/kWh$$

$$Ecotoxicidad\ para\ Sistemas\ Terrestres_{Jaén} = 0,01\ kg\ 1,4 - DB\ eq/kWh$$

$$Ecotoxicidad\ para\ Sistemas\ Terrestres_{Soria} = 2,83 \times 10^{-3}\ kg\ 1,4 - DB\ eq/kWh$$

- Central fotovoltaica:

*Ecotoxicidad para Sistemas Terrestres*_{Cantabria}

$$= 3,47 \times 10^{-3} \text{ kg } 1,4 - \text{DB eq} / \text{kWh}$$

$$\text{Ecotoxicidad para Sistemas Terrestres}_{\text{Jaén}} = 2,52 \times 10^{-3} \text{ kg } 1,4 - \text{DB eq} / \text{kWh}$$

$$\text{Ecotoxicidad para Sistemas Terrestres}_{\text{Soria}} = 2,66 \times 10^{-3} \text{ kg } 1,4 - \text{DB eq} / \text{kWh}$$

- **Oxidación Fotoquímica**

- Central eólica:

$$\text{Oxidación Fotoquímica}_{\text{Cantabria}} = 3,49 \times 10^{-5} \text{ kg } \text{C}_2\text{H}_4 \text{ eq} / \text{kWh}$$

$$\text{Oxidación Fotoquímica}_{\text{Jaén}} = 4,50 \times 10^{-4} \text{ kg } \text{C}_2\text{H}_4 \text{ eq} / \text{kWh}$$

$$\text{Oxidación Fotoquímica}_{\text{Soria}} = 1,09 \times 10^{-4} \text{ kg } \text{C}_2\text{H}_4 \text{ eq} / \text{kWh}$$

- Central fotovoltaica:

$$\text{Oxidación Fotoquímica}_{\text{Cantabria}} = 4,76 \times 10^{-4} \text{ kg } \text{C}_2\text{H}_4 \text{ eq} / \text{kWh}$$

$$\text{Oxidación Fotoquímica}_{\text{Jaén}} = 3,47 \times 10^{-4} \text{ kg } \text{C}_2\text{H}_4 \text{ eq} / \text{kWh}$$

$$\text{Oxidación Fotoquímica}_{\text{Soria}} = 3,66 \times 10^{-4} \text{ kg } \text{C}_2\text{H}_4 \text{ eq} / \text{kWh}$$

- **Acidificación**

- Central eólica:

$$Acidificación_{Cantabria} = 5,81 \times 10^{-4} \text{ kg } SO_2 \text{ eq/kWh}$$

$$Acidificación_{Jaén} = 7,48 \times 10^{-3} \text{ kg } SO_2 \text{ eq/kWh}$$

$$Acidificación_{Soria} = 1,82 \times 10^{-3} \text{ kg } SO_2 \text{ eq/kWh}$$

- Central fotovoltaica:

$$Acidificación_{Cantabria} = 9,35 \times 10^{-3} \text{ kg } SO_2 \text{ eq/kWh}$$

$$Acidificación_{Jaén} = 6,8 \times 10^{-3} \text{ kg } SO_2 \text{ eq/kWh}$$

$$Acidificación_{Soria} = 7,17 \times 10^{-3} \text{ kg } SO_2 \text{ eq/kWh}$$

- **Eutrofización**

- Central eólica:

$$Eutrofización_{Cantabria} = 1,59 \times 10^{-4} \text{ kg } PO_4 \text{ eq/kWh}$$

$$Eutrofización_{Jaén} = 2,05 \times 10^{-3} \text{ kg } PO_4 \text{ eq/kWh}$$

$$Eutrofización_{Soria} = 4,99 \times 10^{-4} \text{ kg } PO_4 \text{ eq/kWh}$$

- Central fotovoltaica:

$$Eutrofización_{cantabria} = 2,63 \times 10^{-3} \text{ kg } PO_4 \text{ eq/kWh}$$

$$Eutrofización_{jaén} = 1,91 \times 10^{-3} \text{ kg } PO_4 \text{ eq/kWh}$$

$$Eutrofización_{soria} = 2,01 \times 10^{-3} \text{ kg } PO_4 \text{ eq/kWh}$$

7.4. COMPARATIVA DATOS GLOBALES

		CANTABRIA	JAÉN	SORIA
Agotamiento Recursos Abióticos (kg Sb Eq/kWh)	EÓLICA	$1,82 \times 10^{-6}$	$2,34 \times 10^{-5}$	$5,71 \times 10^{-6}$
	FOTOVOLTAICA	$3,51 \times 10^{-5}$	$2,55 \times 10^{-5}$	$2,69 \times 10^{-5}$
Calentamiento Global (kg CO₂ Eq/kWh)	EÓLICA	0,1	1,34	0,33
	FOTOVOLTAICA	1,32	0,96	1,01
Agotamiento de la Capa de Ozono (kg CFC-11 Eq/kWh)	EÓLICA	$9,64 \times 10^{-9}$	$1,24 \times 10^{-7}$	$3,02 \times 10^{-8}$
	FOTOVOLTAICA	$2,15 \times 10^{-7}$	$1,57 \times 10^{-7}$	$1,65 \times 10^{-7}$
Toxicidad Humana (kg 1,4-DB eq/kWh)	EÓLICA	0,25	3,22	0,78
	FOTOVOLTAICA	1,13	0,82	0,86
Ecotoxicidad para Sistemas de Agua Dulce (kg 1,4-DB eq/kWh)	EÓLICA	0,08	1,02	0,25
	FOTOVOLTAICA	1,63	1,18	1,25
Ecotoxicidad para Sistemas Marinos (kg 1,4-DB eq/kWh)	EÓLICA	174,83	2253,33	548,11
	FOTOVOLTAICA	4785,12	3480,09	3670,78
Ecotoxicidad para Sistemas Terrestres (kg 1,4-DB eq/kWh)	EÓLICA	$9,02 \times 10^{-4}$	0,01	$2,83 \times 10^{-3}$
	FOTOVOLTAICA	$3,47 \times 10^{-3}$	$2,52 \times 10^{-3}$	$2,66 \times 10^{-3}$
Oxidación Fotoquímica (kg C₂H₄ eq/kWh)	EÓLICA	$3,49 \times 10^{-5}$	$4,5 \times 10^{-4}$	$1,09 \times 10^{-4}$
	FOTOVOLTAICA	$4,76 \times 10^{-4}$	$3,47 \times 10^{-4}$	$3,66 \times 10^{-4}$
Acidificación (kg SO₂ eq/kWh)	EÓLICA	$5,81 \times 10^{-4}$	$7,48 \times 10^{-3}$	$1,82 \times 10^{-3}$
	FOTOVOLTAICA	$9,35 \times 10^{-3}$	$6,8 \times 10^{-3}$	$7,17 \times 10^{-3}$
Eutrofización (kg PO₄ eq/kWh)	EÓLICA	$1,59 \times 10^{-4}$	$2,05 \times 10^{-3}$	$4,99 \times 10^{-4}$
	FOTOVOLTAICA	$2,63 \times 10^{-3}$	$1,91 \times 10^{-3}$	$2,01 \times 10^{-3}$

Tabla 2: Resumen Impacto Medioambiental

	EÓLICA	FOTOVOLTAICA
Acidificación (kg SO_2 eq/kWh)	$1,152 \times 10^{-4}$	$9,797 \times 10^{-4}$
Calentamiento Global (kg CO_2 eq/kWh)	0,046	0,167
Eutrofización (kg PO_4 eq/kWh)	$1,22 \times 10^{-5}$	$9,25 \times 10^{-5}$
Oxidación Fotoquímica (kg C_2H_4 eq/kWh)	$1,61 \times 10^{-5}$	$1,25 \times 10^{-4}$

Tabla 3: Datos Promedio Impacto Medioambiental

Estos resultados de la tabla anterior son reconocidos como el impacto promedio que tienen las energías eólica y fotovoltaica alrededor del mundo. Dichos datos han sido extraídos de un artículo que examina aproximadamente 50 documentos, relacionados con más de 100 estudios de casos diferentes relativos a la energía solar (energía solar concentrada, fotovoltaica), la energía eólica, la energía hidroeléctrica y la energía geotérmica, aunque se centra únicamente en las 4 categorías de impacto que aparecen en la tabla, por lo que la comparativa se realiza exclusivamente en dichos indicadores. La detallada recopilación de datos y la normalización y armonización de los resultados permitieron una mayor y más fiable comparación de las diversas tecnologías renovables. Este estudio es en extremo útil para realizar comparaciones del ciclo de vida de otros proyectos como el que se lleva a cabo en este trabajo. (Asdrubali, Baldinelli, D'Alessandro, & Scrucca, 2015)

Así pues, se han utilizado esos cuatro indicadores para comparar en qué lugar quedan las plantas que se pretenden instalar en comparación a las estadísticas globales, obteniendo una idea lo suficientemente precisa. Se puede observar por los datos promedio que la fotovoltaica causa un impacto mucho mayor que la eólica allá por donde pasa (unas 10 veces mayor). Este comportamiento se refleja también en los datos arrojados por SimaPro para las centrales de Cantabria, Jaén y Soria.

Sin embargo, más allá de esta similitud (el impacto fotovoltaico es mayor que el eólico), pocas más se pueden encontrar entre los resultados obtenidos y los promedios globales. En todos los casos, el impacto obtenido por unidad de energía generada para las centrales del proyecto es superior a la media mundial. El más cercano a estar en el promedio es la Oxidación Fotoquímica, pero hay algunos casos de otros factores en los que los resultados son 10 veces superiores a los resultados que deberían esperarse según Asdrubali y sus colaboradores. Esto puede deberse a diferentes motivos, pero el que parece más factible es el siguiente.

El texto que ha arrojado los valores promedio lo hace sobre centrales existentes. Dichas centrales, antes de colocar la primera piedra, han pasado por grandes estudios de viabilidad, tanto económica como social y medioambiental, por lo que están colocadas en los lugares más óptimos y que permiten generar la mayor cantidad de energía posible para la potencia instalada de la que disponen. En el caso que ocupa a este texto, el planteamiento es diferente. Se colocan centrales de idéntica potencia en localizaciones que ni mucho menos tienen que ser necesariamente las mejores en cuanto a climatología para sus características, y a partir de ahí se estudian los efectos que provocan en el medioambiente, las personas y la economía. Por tanto, es presumible que cualquier central de las que se haya utilizado para hallar los datos medios, a igualdad de potencia instalada, produzca mucha más energía anualmente que las analizadas a lo largo de este documento.

7.5. CONCLUSIONES MEDIOAMBIENTALES

7.5.1. CANTABRIA

A modo de resumen, se incluyen dos gráficos del impacto de cada fase del proceso tanto para la central eólica como para fotovoltaica. Estos gráficos no dan la magnitud real de cada impacto, sino que muestran el porcentaje como si todos los indicadores tuviesen el mismo efecto. Para ver el volumen real de contaminación de cada hace falta ver el gráfico normalizado.

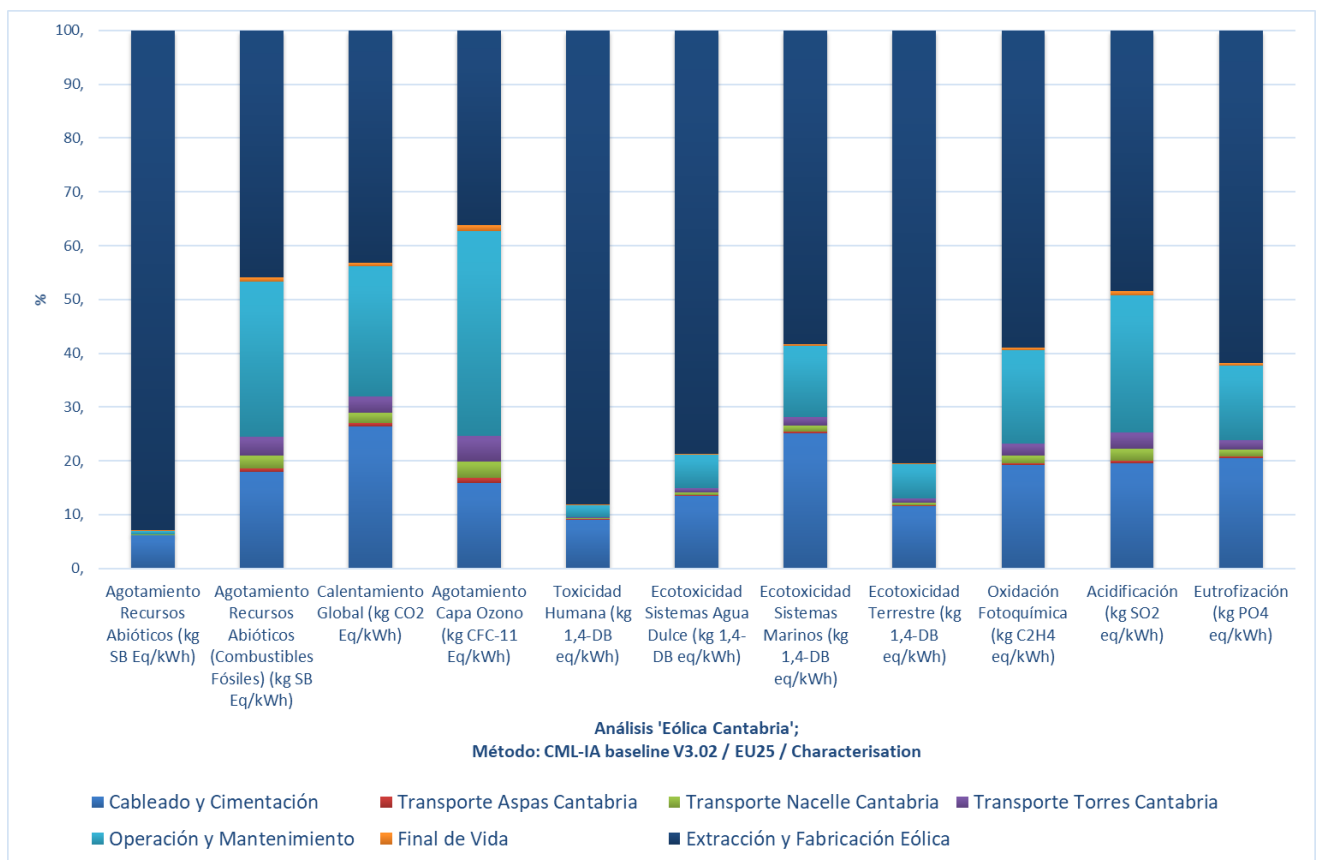


Figura 5: Eólica Cantabria

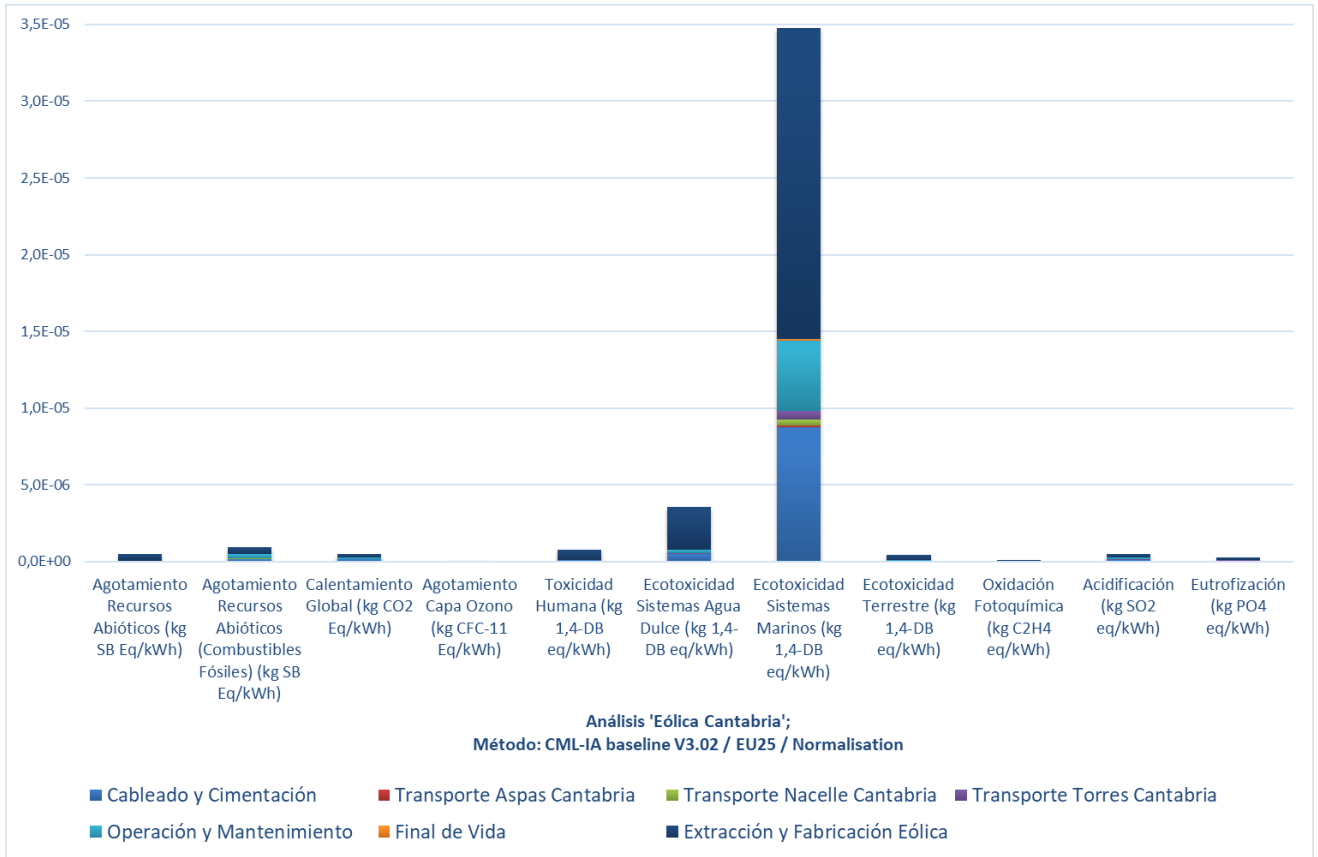


Figura 6: Eólica Cantabria Normalizado

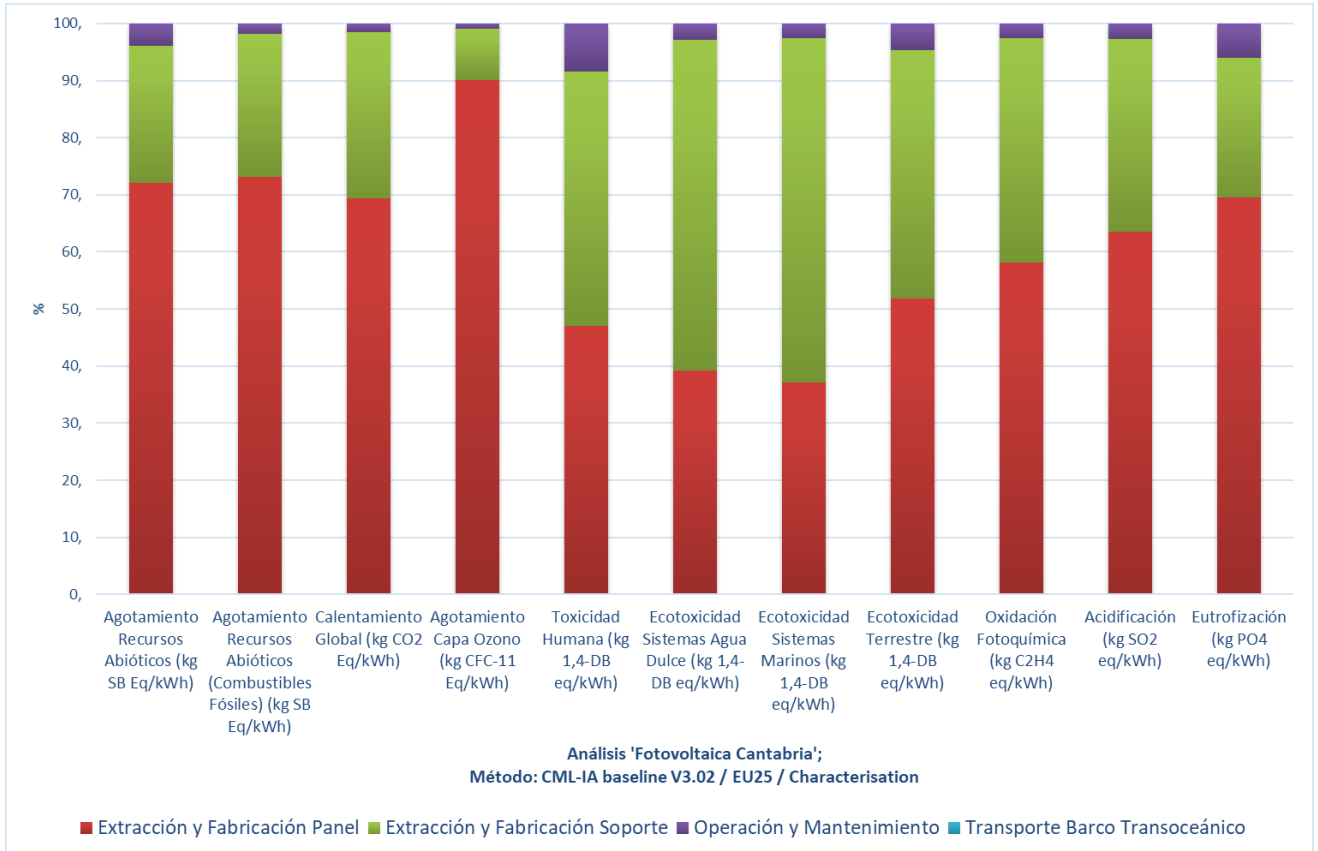


Figura 7: Fotovoltaica Cantabria

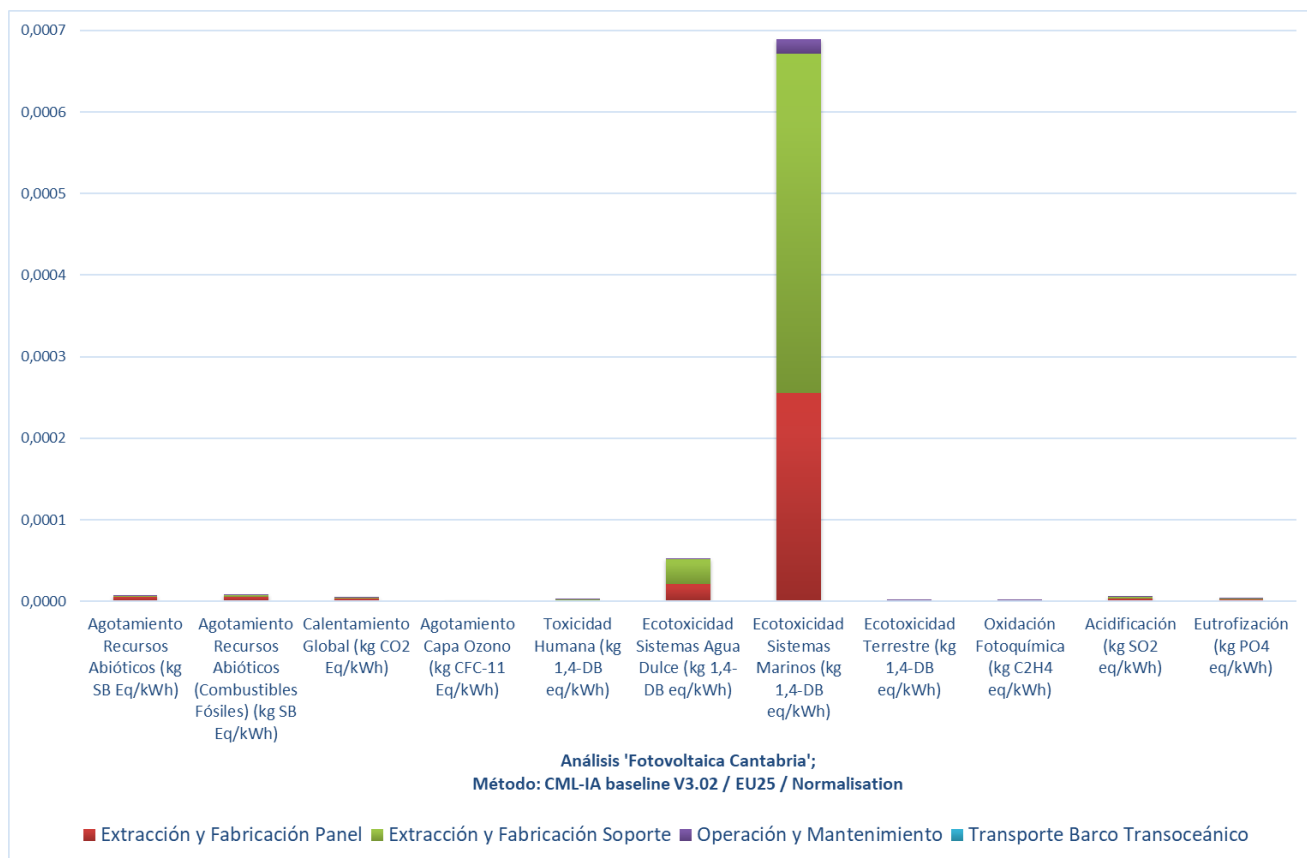


Figura 8: Fotovoltaica Cantabria Normalizado

A modo de explicación inicial, y válida para las tres provincias, se analiza brevemente el reparto de los impactos entre las distintas fases:

- Agotamiento de Recursos Abióticos

Como era previsible, al estar este indicador vinculado a la extracción de minerales y combustibles fósiles, las fases del ciclo de vida que más peso tienen tanto en el proceso eólico como el fotovoltaico son las de extracción y fabricación de los materiales de paneles, aspas, torres...

- Calentamiento Global

En este caso, la emisión de gases a la atmósfera causantes del efecto invernadero y el cambio climático se reparte entre aquellas actividades que conllevan un gasto de energía o el funcionamiento de motores, maquinaria etc. En el caso de la central eólica la fase más contaminante es la de la instalación de los molinos, mientras que en la fotovoltaica, menos aparatosa, la extracción, fabricación y montaje de los paneles es la que genera más CO_2 . Sorprende la

ausencia del transporte (tanto por mar como por tierra) entre los procesos más determinantes de este indicador, dada la constante concienciación a la que se somete a la sociedad acerca de la importancia de la utilización de los medios de transporte en el calentamiento global.

- Agotamiento de la Capa de Ozono

En este indicador, se puede observar, con cierta sorpresa, como el proceso de operación y mantenimiento de las centrales eólicas, que si bien es duradero no parecía el más dañino en cuanto a gases emitidos, es el que influye en un mayor porcentaje en el deterioro de la capa de ozono. Detrás de él se encuentran la extracción y fabricación y la instalación, mientras que, en el caso de la planta fotovoltaica, al ser el mantenimiento mucho más sencillo y haber representado su operación únicamente mediante el inversor, el proceso de extracción, fabricación e instalación de los paneles de silicio policristalino es el que acapara el 90% de las emisiones.

- Toxicidad Humana

Para el medio ambiente humano, las sustancias tóxicas que se puedan generar se localizarán en las fases de extracción y fabricación fundamentalmente, ya que la operación de estas energías renovables no causa excesivos problemas de salud o de otro tipo en el ser humano una vez en funcionamiento.

- Ecotoxicidad para Sistemas de Agua Dulce

En cuanto al impacto en los ecosistemas de agua dulce, tanto en la eólica como en la fotovoltaica las fases que incluyen la extracción y fabricación de los materiales para ambas centrales. Algunos minerales, como el oro, son extraídos de cuencas fluviales, mientras que, en otros procesos de extracción, como la fractura hidráulica, el agua dulce juega un papel fundamental. Estos son algunos ejemplos del porqué de este porcentaje tan elevado.

- Ecotoxicidad para Sistemas Marinos

En este indicador se encuentra uno de los porcentajes más repartidos de todos los obtenidos hasta el momento. Sorprende la ausencia de un mayor impacto en el transporte, dada la gran cantidad de kilómetros por mar que tienen que

realizarse. Al ser el mar “el vertedero más grande del mundo”, casi todas las actividades desarrolladas aportan su granito de arena.

- Ecotoxicidad para Sistemas Terrestres

En este caso, al igual que en el del agua dulce, la extracción y fabricación es la fase del proceso que más afecta al ecosistema terrestre, viéndose repartida prácticamente a partes iguales entre las extracciones para los paneles y para sus soportes en el caso de la fotovoltaica.

- Oxidación Fotoquímica

La contaminación a través de sustancias como el ozono, perjudicial tanto para las personas como para el ecosistema y los cultivos, se crea en todas las fases del proceso eólico, mientras que en el fotovoltaico se reparte entre la extracción y fabricación de paneles y soportes.

- Acidificación

Los agentes que pueden provocar la acidificación del terreno son de lo más diversos. Se observa que, en la central eólica, la operación y mantenimiento tienen un gran peso, por lo que quizá se pueda deducir que el lubricante utilizado en esta fase contenga sustancias que provoquen este fenómeno.

- Eutrofización

Los niveles excesivos de macronutrientes tienen su aporte bastante repartido entre los distintos procesos del ciclo de vida de la central fotovoltaica, mientras que en la eólica la extracción y fabricación de las piezas y su posterior instalación son los que más contribuyen.

Así pues, centrándose ya en el caso de Cantabria, desde el punto de vista medioambiental, puede comprobarse en todos los resultados obtenidos cómo el impacto por unidad funcional de la energía fotovoltaica es mucho mayor para esta región cuando se trata de una planta fotovoltaica que cuando es una central eólica. Además, es la única de las tres provincias en la que la producción bruta de energía en las centrales modelo utilizadas es mayor utilizando la energía del viento que la del sol, aunque esto no es un factor a tener en cuenta, dado que depende de la energía instalada, por lo que hay que ceñirse a los resultados por unidad funcional.

Un factor muy tener en cuenta, dado que el emplazamiento elegido en esta provincia se encuentra muy cercano a la costa es el volumen de Ecotoxicidad Marina, que es el más elevado para ambas energías, a gran distancia del resto. Al no ser ésta una característica exclusiva de una tecnología, sino que ambas la comparten, no afecta a la elección de la eólica por encima de la fotovoltaica. Sin embargo, llegado el momento de la puesta en marcha de un proyecto de este calado, habría que estudiar a fondo el modo de reducir esa contaminación hacia el medio marítimo, ya que de lo contrario puede ser un inconveniente insalvable para su instalación en Cantabria.

7.5.2. JAÉN

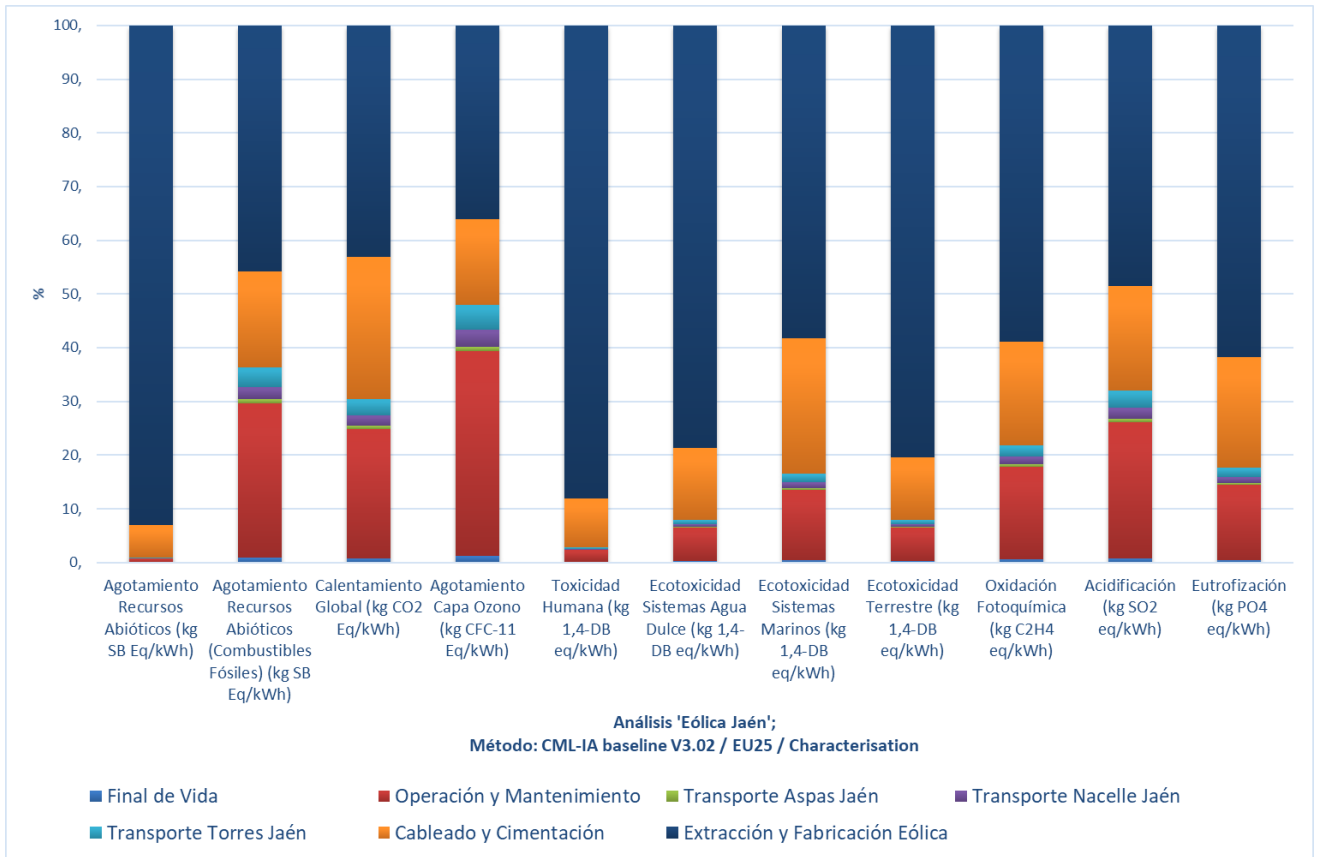


Figura 9: Eólica Jaén

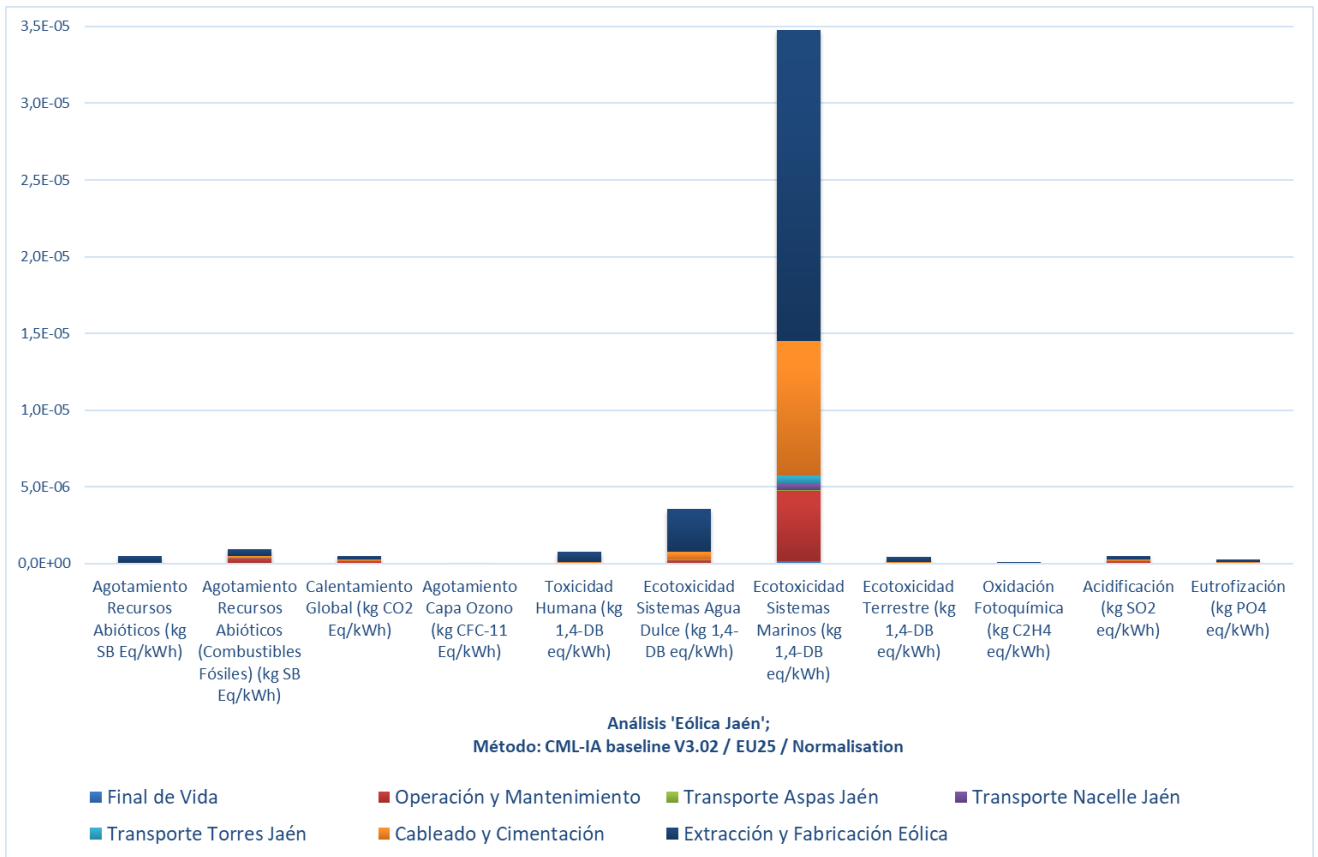


Figura 10: Eólica Jaén Normalizado



Figura 11: Fotovoltaica Jaén

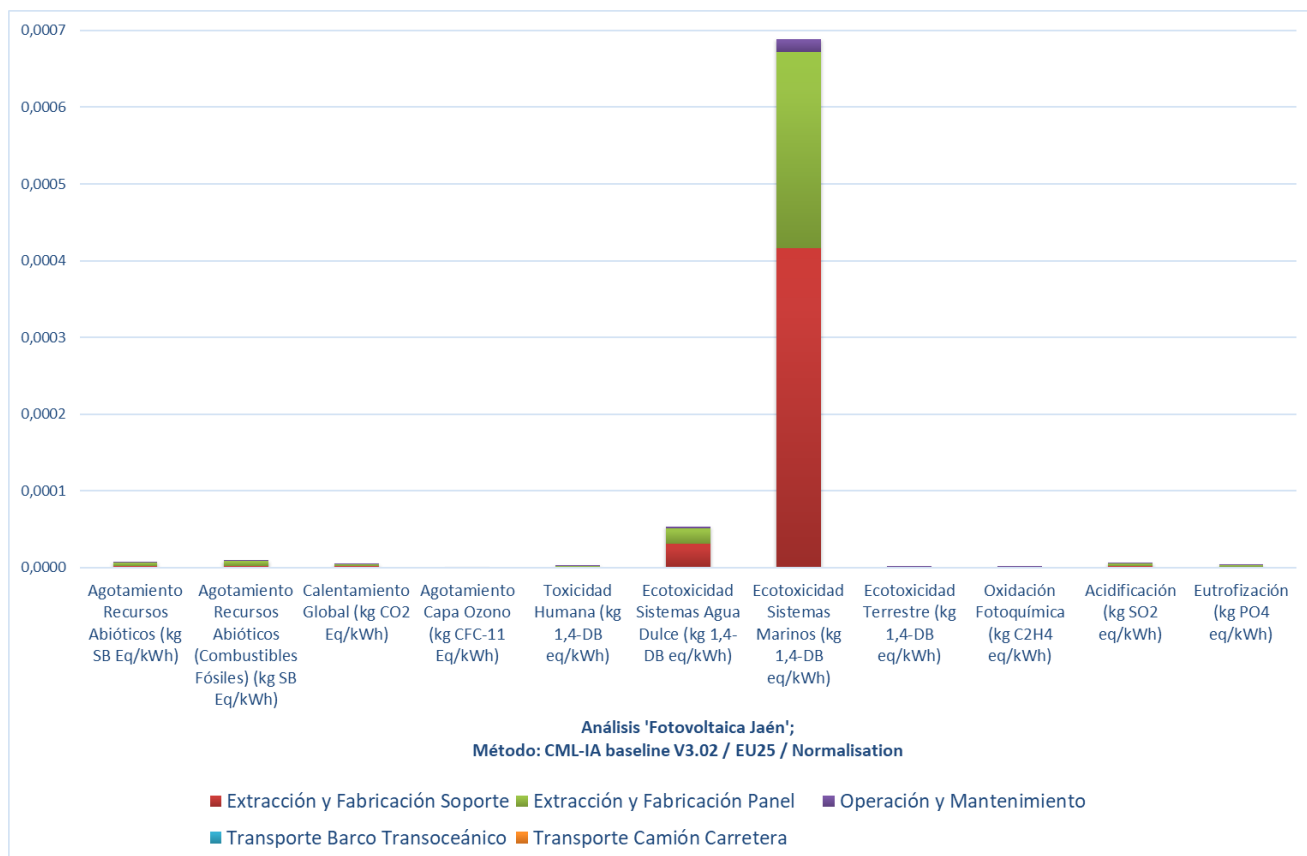


Figura 12: Fotovoltaica Jaén Normalizado

En la provincia de Jaén se encuentran resultados dispares, si bien la tendencia es clara a favor de la fotovoltaica. El impacto por unidad funcional es menor en ésta última en casi todos los indicadores, y en los que no lo son, como puede ser la Ecotoxicidad en Sistemas Acuáticos, el Agotamiento de Recursos Abióticos o el Agotamiento de la Capa de Ozono, los resultados son parejos y prima la gran diferencia en la producción de energía que se puede alcanzar entre uno y otro. Así, mientras con 34,5 MW de potencia instalada en la central eólica se estima una producción de únicamente 1,8 GWh anuales, con 12,5 MWp instalados de fotovoltaica, se llega hasta los 23,1 GWh anuales, lo cual es mucho más aprovechable para la provincia. Además, en este caso, al ser una provincia del interior, hay que restar algo de importancia al hecho de tener una Ecotoxicidad Marina tan elevada, aunque habría que vigilar atentamente el indicador de Ecotoxicidad en Sistemas de Agua Dulce, dada la cercanía del Parque Natural de la Sierra de Cazorla.

Por otro lado, en la figura 9, se puede apreciar cómo el transporte de torres y nacelles eólicas sí que juega un papel medianamente importante en ciertos

indicadores de contaminación, lo cual no se apreciaba con tanta nitidez en los árboles mostrados anteriormente. Así, desde el punto de vista del ecosistema, la energía fotovoltaica se impone a la eólica en Jaén.

7.5.3. SORIA

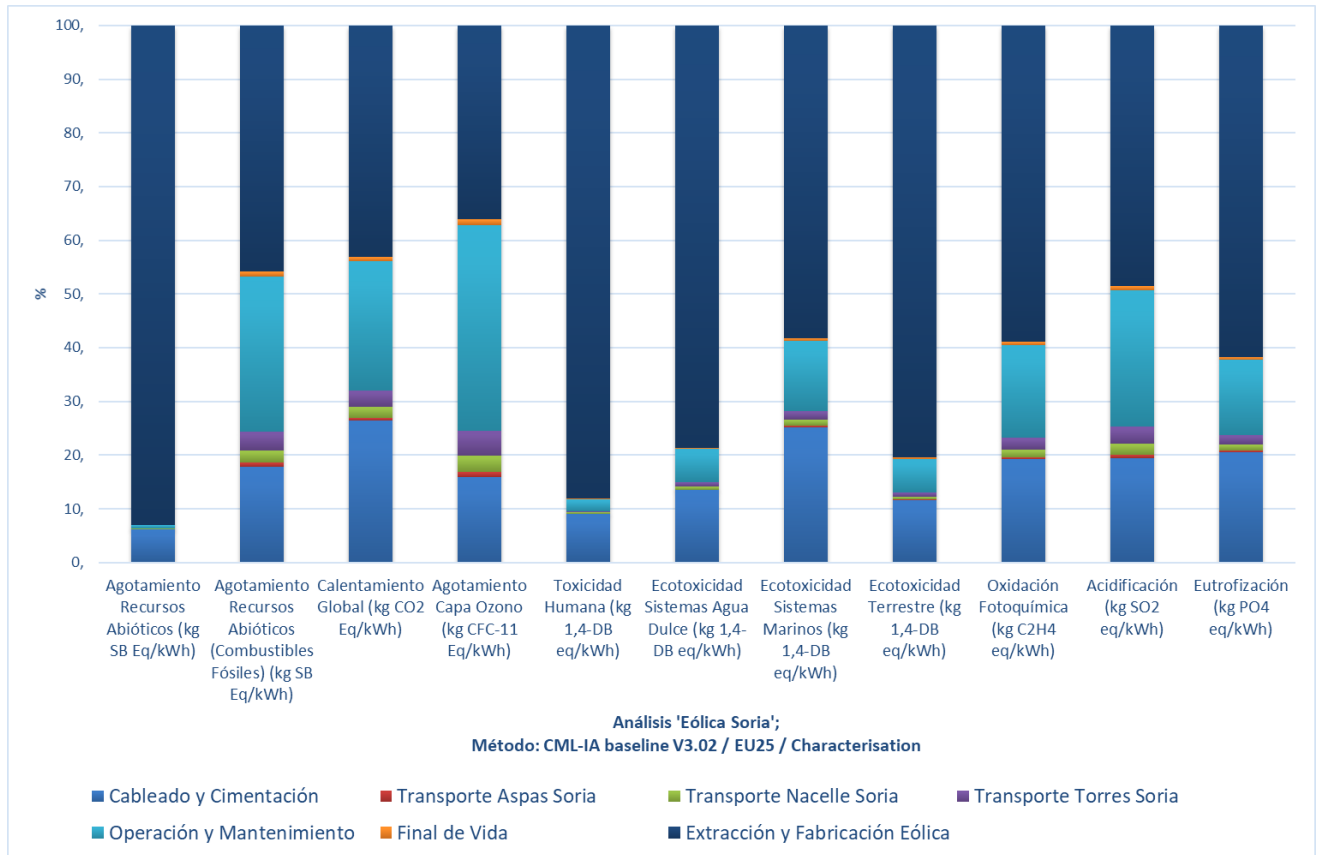


Figura 13: Eólica Soria

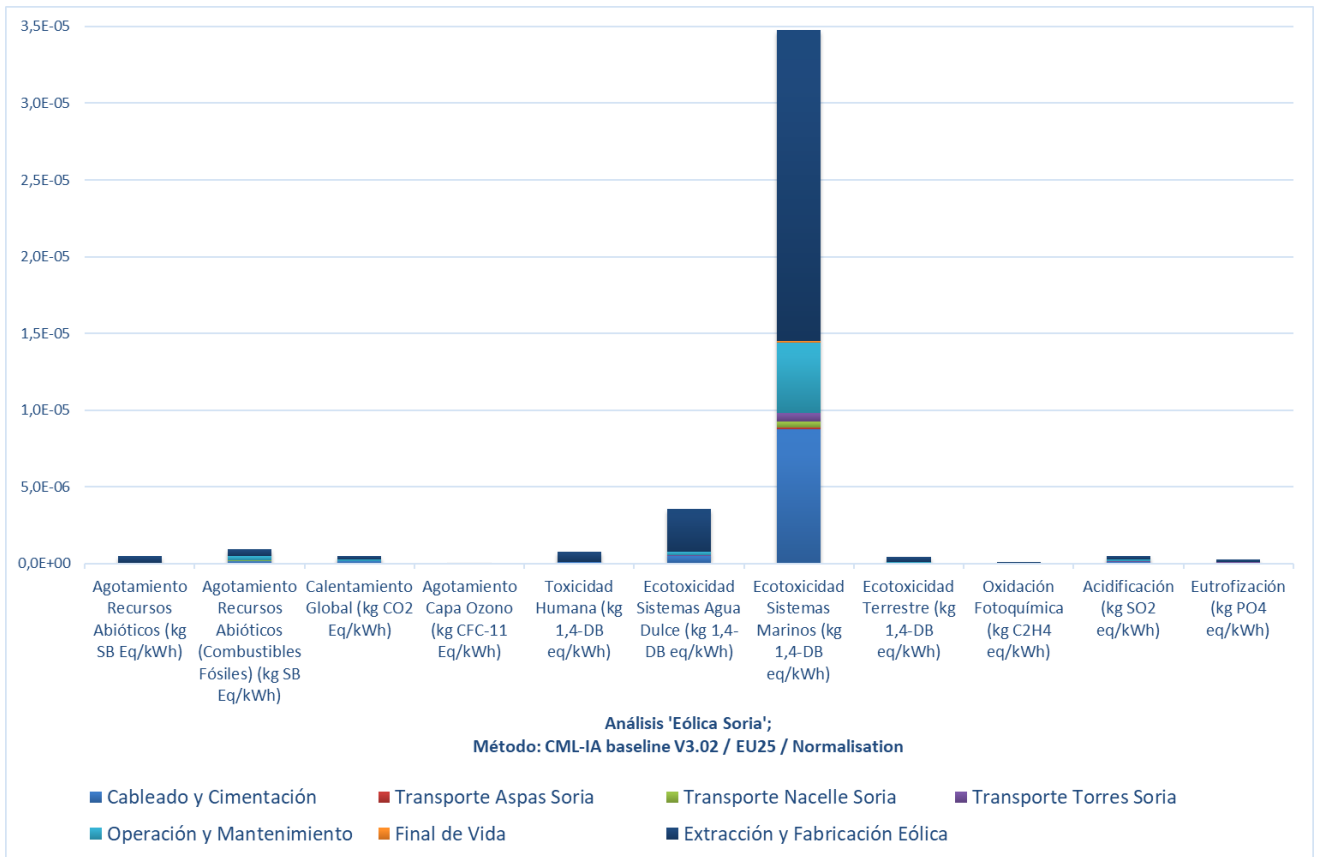


Figura 14: Eólica Soria Normalizado

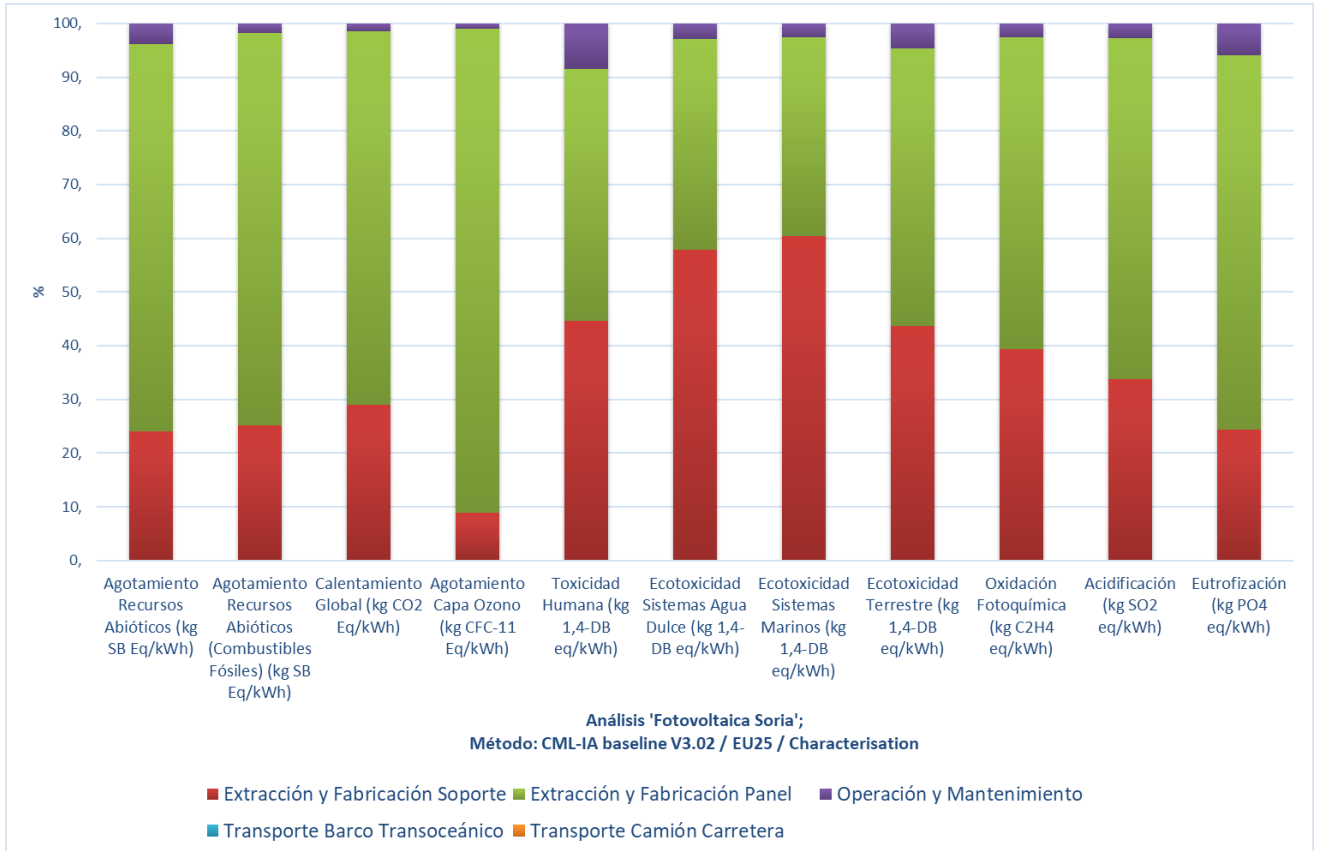


Figura 15: Fotovoltaica Soria

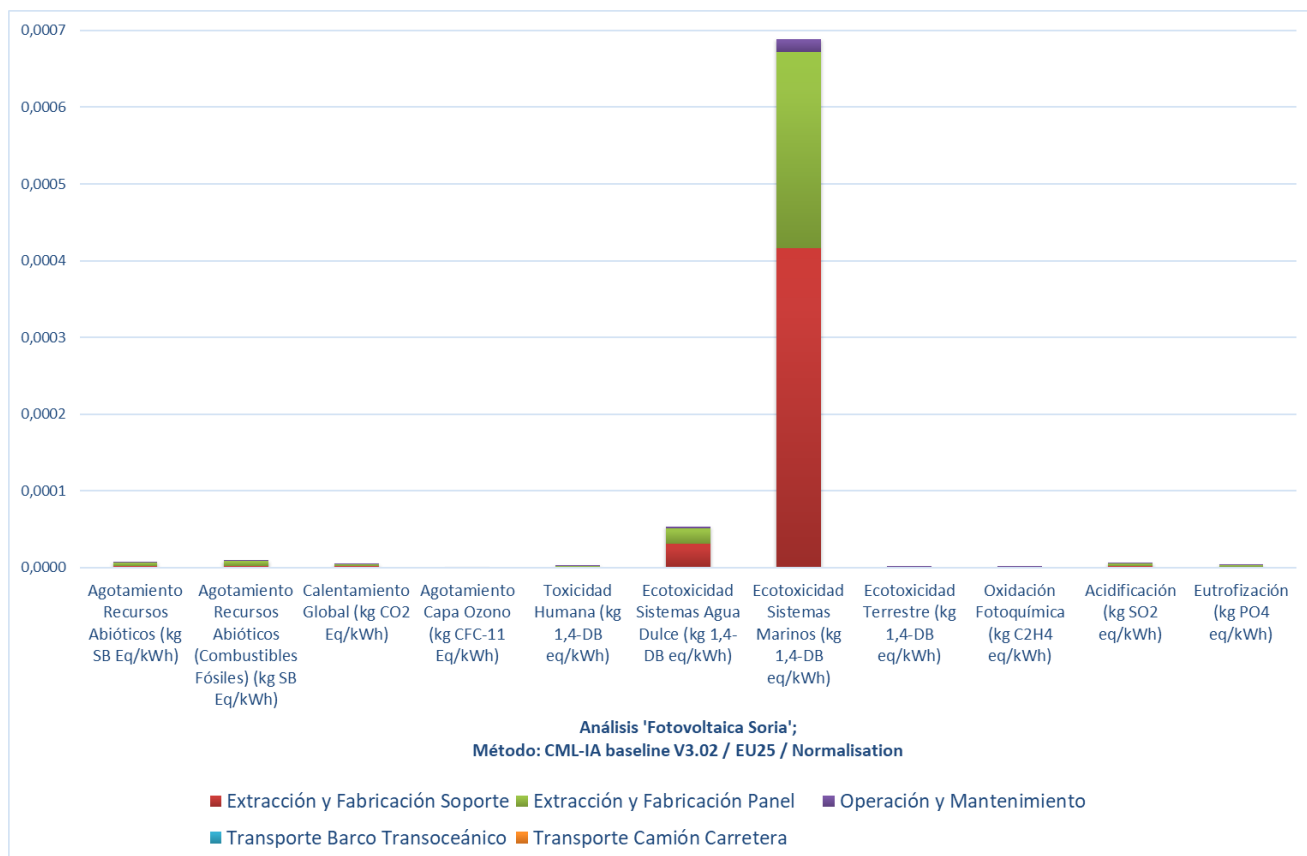


Figura 16: Fotovoltaica Soria Normalizado

Soria ofrece un punto medio entre Cantabria y Jaén. Sorprende comprobar los buenos resultados que obtiene en el ámbito eólico, donde mejora los registros de impacto ante la fotovoltaica en todos los indicadores salvo en la Ecotoxicidad Terrestre. Sin embargo, esto puede explicarse desde el punto de vista de la orografía, dado que el enclave elegido en Soria dobla en altitud al de Jaén (970 m. por 483 m.), donde podría pensarse que la eólica tendría un éxito similar, al ser ambas provincias interiores.

Siendo esto cierto, el contrapunto lo pone que la energía fotovoltaica, aun provocando una mayor contaminación, produce mucha más energía por unidad de potencia instalada que la eólica, lo cual resultaría de gran utilidad para la región. Por ello, convendría estudiar las posibles opciones para reducir la contaminación provocada por la tecnología fotovoltaica (elegir otros paneles que requieran utilizar una menor extensión, diferentes métodos de extracción de los

materiales...), dado que su aplicación supondría un gran avance para Soria. Sin embargo, dadas las características y los resultados obtenidos, Soria debería posicionarse del lado de la energía eólica desde el punto de vista medioambiental.

8. IMPACTO SOCIAL

Las soluciones de energía sostenible, incluida la energía renovable, han sufrido a veces la percepción de que conllevan demasiadas compensaciones, a expensas del desarrollo socioeconómico general. Sin duda, mientras los gobiernos de todo el mundo se esfuerzan por poner en práctica el acuerdo climático de París de 2015, necesitan equilibrar la urgencia de la transición energética con otras numerosas consideraciones que afectan al bienestar de las personas. Afortunadamente, la energía renovable ofrece soluciones inocuas para el clima que también apoyan una amplia gama de beneficios socioeconómicos, como la creación neta de empleo, la salud y una mayor inclusión social.

Inicialmente, las ganancias de bienestar son el resultado de la reducción de externalidades negativas como la presión sobre los ecosistemas (menos extracción de carbón y menos perforación de petróleo y gas) y los impactos sobre la salud humana (menor exposición a los contaminantes del aire y el agua derivados del uso de combustibles fósiles). Además, hay repercusiones sociales positivas en forma de empleo y aumento de los ingresos.

Cada vez más, el despliegue de la energía renovable se reconoce como una tremenda oportunidad que ayuda a diversificar la base de conocimientos de un país, impulsar su desarrollo industrial y apoyar las amplias prioridades de desarrollo de las sociedades. Según las estimaciones de la IRENA (International Renewable Energy Agency), el aumento previsto del bienestar humano gracias al despliegue de las energías renovables se acerca al 4%.

El sector energético en su conjunto está tradicionalmente dominado por los hombres. Los resultados de una encuesta de IRENA (IRENA, 2016b) sugieren que las mujeres representan actualmente una media del 35% de la mano de obra en el sector de las energías renovables modernas, una proporción mayor que en el sector de las energías convencionales. Otra encuesta en línea realizada con los socios de Bloomberg New Energy Finance y el Clean Energy Business Council (IRENA, 2017) se centró en la región de Oriente Medio y Norte de África. Confirmó las conclusiones de otras partes del mundo en el sentido de que las

mujeres siguen enfrentándose a desafíos debido a una serie de factores de actitud y estructurales. Entre ellos se incluyen la falta de formación en los campos de la ciencia, la tecnología, la ingeniería y las matemáticas (STEM), las percepciones anticuadas de los roles de género, la discriminación en la remuneración y el techo de cristal para los puestos directivos. Para corregir la situación se necesitarán varias iniciativas, entre ellas una mayor flexibilidad en el lugar de trabajo, políticas que faciliten la educación de los hijos y un mayor apoyo a las mujeres. a través de la tutoría y el entrenamiento.

Como indican los informes de la IRENA sobre el aprovechamiento de la capacidad local (IRENA, 2017), el sector de las energías renovables abarca una amplia gama de ocupaciones y requisitos de aptitudes. Llenar algunos de estos puestos puede ser un desafío. Hay indicios de que ya existen lagunas en las aptitudes y que éstas podrían aumentar a medida que el sector continúe expandiéndose (IRENA, 2013). Si no se palia, esto podría obstaculizar la transición sin problemas hacia una economía de energía más limpia, lo que contribuiría a los retrasos o incluso a las cancelaciones de los proyectos, los sobrecostos y las instalaciones defectuosas, lo que podría reducir la aceptación de las energías renovables.

En este contexto, es esencial una mejor coordinación de los enfoques y políticas entre la industria y el sector de la educación, incluida la integración de módulos de energías renovables en las clases de formación. Una financiación pública adecuada para la educación y la formación en materia de energía renovable también conlleva gran importancia. Además, algunas habilidades relacionadas con otras industrias y energías no renovables son portables y muy aprovechables en el contexto de las energías renovables. Por ejemplo, el personal de las estaciones petrolíferas y de gas offshore posee una experiencia muy valorable para encargarse de funciones relacionadas con la eólica offshore.

Los proyectos de energía renovable en gran escala están impulsados principalmente por los objetivos de la política nacional y los intereses de la industria, que no siempre coinciden con las necesidades específicas de las comunidades locales. Para maximizar las oportunidades de desarrollo socioeconómico y el cambio transformador, las políticas y los proyectos deben recurrir en la mayor medida posible a la mano de obra local, a los programas de

formación profesional y a la promoción de la justicia y la igualdad entre los géneros.

Los polifacéticos beneficios socioeconómicos de la energía renovable han ido cobrando importancia como una consideración clave para los encargados de la adopción de decisiones. Los efectos de la transición energética en toda la economía -empleo, generación de ingresos, mejoras en el bienestar, equilibrio entre los géneros y desarrollo industrial local- son cada vez más evidentes. Además de los aspectos climáticos y ambientales de la utilización de la energía renovable, es esencial maximizar los beneficios sociales para garantizar una transición justa, oportuna y económicamente eficiente. Una transición justa expande ampliamente los beneficios de la energía renovable y aumenta su aceptación general en las comunidades locales y en todas las sociedades.

Dado que el empleo es esencial para la generación de salarios y, por lo tanto, para el bienestar de las personas y sus familias, la creación y retención de puestos de trabajo es de importancia crítica en cualquier medida de desarrollo socioeconómico. Los ingresos por concepto de sueldos y salarios -especialmente los procedentes de trabajos bien remunerados- permiten a las personas realizar las compras que se traducen en una demanda estable de bienes y servicios, lo que contribuye a la salud de las economías locales y nacionales. Así pues, la medida del empleo va mucho más allá de los empleos directos en el sector de la energía renovable y los empleos indirectos en la cadena de suministro, y abarca también los denominados empleos inducidos en la economía en general.

Así, centrándonos en las dos energías renovables que atañen a este estudio, IRENA establece un estudio acerca de las pautas ocupacionales y las necesidades de aptitudes de un proyecto solar fotovoltaico y eólico típico de 50 megavatios (MW), con una vida útil de 25 años. En el caso del fotovoltaico, en total, se necesitan unos 230.000 días de trabajo de una persona a lo largo de la cadena de ciclo de vida. Las operaciones y el mantenimiento representan el 56%, la fabricación el 22% y la construcción e instalación el 17%. Muchas de las ocupaciones que se pueden cubrir localmente - especialmente en la construcción - no requieren de habilidades altamente específicas de las renovables y por lo tanto ofrecen puntos de entrada convenientes para el empleo.

PLANTA FOTOVOLTAICA 50 MW	%	DÍAS-PERSONA
PLAN DE PROYECTO	1	2290,55
FABRICACIÓN	22	50392,1
TRANSPORTE	2	4581,1
CONSTRUCCIÓN E INSTALACIÓN	17	38939,35
OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO	56	128270,8
DESMANTELAMIENTO	2	4581,1
TOTAL	100	229055

Tabla 4: Días de Trabajo Planta Fotovoltaica IRENA

Por su parte, según IRENA, un proyecto eólico típico de 50 MW requiere un total de 144 000 días-persona, con operaciones y mantenimiento que representan el 43%, construcción e instalación el 30%, y fabricación el 17%. (IRENA, 2016a)

PLANTA EÓLICA 50 MW	%	DÍAS-PERSONA
PLAN DE PROYECTO	2	2888,4
FABRICACIÓN	17	24551,4
TRANSPORTE	1	1444,2
CONSTRUCCIÓN E INSTALACIÓN	30	43326
OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO	43	62100,6
DESMANTELAMIENTO	7	10109,4
TOTAL	100	144420

Tabla 5: Días de Trabajo Planta Eólica IRENA

Esta introducción apoyada en los informes de IRENA sirve como toma de contacto ante el estudio realizado para las centrales a instalar en las provincias de Cantabria, Jaén y Soria. El estudio del impacto social se ha basado, dada la importancia ya resaltada anteriormente, en el número de puestos de trabajo que generaría cada central en una determinada región. Para encontrar ese número, se han llevado a cabo las siguientes asunciones y cálculos.

Se han asumido como válidas las proyecciones realizadas en el informe de “Empleo Asociado al Impulso de las Energías Renovables”, publicado por el

Instituto para la Diversificación y Ahorro de Energía (IDAE) en 2011 y que establece el número de empleos directos en indirectos para cada tipo de tecnología en España en 2020. (IDAE, 2011)

Para dejar claro este punto, un empleo directo es aquel generado por la empresa, la empresa paga a unos determinados empleados porque desarrollen una cierta actividad dentro de ella. Por su parte, un empleo indirecto es aquel que se genera alrededor de la actividad de la empresa, sin que sea pagado directamente por ésta. Por poner un ejemplo de este caso, un empleo directo sería el de cualquier operario de la central, e indirecto el del camarero del bar de enfrente donde come la plantilla habitualmente. Así pues, los datos son los siguientes:

PUESTOS EMPLEO 2020	DIRECTO	INDIRECTO	TOTAL
EÓLICA	30309	24247	54556
FOTOVOLTAICA	47527	21387	68914

Tabla 6: Empleos Informe IDAE

Sin embargo, para realizar una comparativa de las distintas tecnologías en cada provincia, este dato no es suficiente. El resultado buscado de cara a este análisis comparativo deberá expresarse en Empleos por GWh generado por la central, para comprobar el impacto que tendría cada una. Así pues, una vez hallados los empleos, debe estudiarse cuál será el nivel de producción total de España este año. Así, a partir de los datos suministrados por Red Eléctrica Española (REE) y la Revista Eólica y del Vehículo Eléctrico (REVE) del año pasado (2019) y de los resultados del primer trimestre de 2020, mucho más prometedores, se ha realizado una interpolación y se ha obtenido las siguientes producciones anuales, las cuáles cuadran con las proyecciones de otros informes contrastados.

	PRODUCCIÓN (GWh)
EÓLICA	57000
FOTOVOLTAICA	12000

Tabla 7: Producción Energía España

Por tanto, una vez obtenidos estos dos datos por separado, sólo resta realizar la división para obtener el dato de Empleos/GWh que hará que sea posible cuantificar los posibles empleos generados por cada central instalada.

EMPLEOS/GWh	DIRECTO	INDIRECTO	TOTAL
EÓLICA	0,53	0,43	0,96
FOTOVOLTAICA	3,96	1,78	5,74

Tabla 8: Empleos/GWh Informe IDAE

Como resulta obvio, que una central sea más exitosa que otra debido a las condiciones atmosféricas, generando así más energía, no implica que genere más empleos que aquella que obtenga peores resultados. Esto supone que los resultados obtenidos para cada provincia no deberán ser tomados como verdaderos, ya que las cifras de empleados en las centrales de cada tipo en cada emplazamiento seguramente fuesen más parejas que las obtenidas para este estudio. Así pues, si se quisiera ceñirse a la realidad, el cálculo es el siguiente. Los empleos dependerán en mayor medida de la potencia instalada que presenten las centrales, aunque presenten pequeñas variaciones entre unas centrales y otras. Por lo tanto, habiendo plasmado ya los puestos de trabajo del sector y dividiéndolos entre la potencia instalada en España se obtiene el ratio Empleos/MW, que es el que realmente habría que utilizar para hallar los puestos de trabajo generados.

	POTENCIA INSTALADA ESPAÑA 2020 (MW)
EÓLICA	25704
FOTOVOLTAICA	8623

Tabla 9: Potencia Instalada España

EMPLEOS/MWins	DIRECTO	INDIRECTO	TOTAL (EMPLEOS/MW)	POT (MW) CENTRALES ESTUDIO	EMPLEOS DIRECTOS	EMPLEOS INDIRECTOS	EMPLEOS TOTALES
EÓLICA	1,18	0,94	2,12	34,5	40,71	32,43	73,14
FOTOVOLTAICA	5,51	2,48	7,99	12,5	68,88	31	99,88

Tabla 10: Empleos según Potencia Instalada

Sin embargo, al tener las instalaciones tanto eólicas como fotovoltaicas proyectadas para cada provincia la misma potencia instalada, se obtendrían resultados idénticos para todas las centrales (73,14 en las eólicas y 99,88 en las fotovoltaicas) si se realizase un estudio en base únicamente a dicha potencia. El objetivo de este estudio, además, plantea la comparativa entre los impactos en las distintas provincias, lo cual no iba a ser posible de utilizar únicamente el ratio Empleos/MW. Por tanto, con la utilización de esta unidad en función de los GWh generados y la realización de la media aritmética entre ambas, pese a no mostrar fielmente la realidad, se pretende observar y comparar el impacto social real que tendría la ubicación de dichas plantas en cada provincia. Así, un emplazamiento donde la generación sea muy reducida resultará en muy pocos trabajos según el método empleado para su cálculo, lo cual, pese a no ser un dato real, conllevará otras conclusiones implícitas, como que la central podría no durar mucho tiempo operando a tan bajo rendimiento, que las compañías no se molestan en desplazar operarios a centrales de tan bajo rendimiento... A partir de este planteamiento se procede a estudiar el caso de cada provincia.

8.1. CANTABRIA

8.1.1. EÓLICA

Según lo calculado en el apartado donde se describía la planta eólica, la producción anual de ésta en Cantabria sería de 23,2 GWh. Con este dato y utilizando la tabla 11 se obtienen los siguientes empleos generados en función de los GWh producidos.

EMPLEOS/GWh	DIRECTO	INDIRECTO	TOTAL
EÓLICA	0,53	0,43	0,96
FOTOVOLTAICA	3,96	1,78	5,74

Tabla 11: Empleos/GWh Informe IDAE

EMPLEOS	DIRECTO	INDIRECTO	TOTAL
EÓLICA	12,3	9,98	22,28

Tabla 12: Empleos según GWh Eólica Cantabria

Así pues, haciendo la media de éstos empleos con los obtenidos según la potencia instalada de la central eólica en el apartado anterior, el resultado final que se tomará como válido para extraer conclusiones será el siguiente.

EMPLEOS	DIRECTO	INDIRECTO	TOTAL
EÓLICA	26,51	21,21	47,72

Tabla 13: Empleos Eólica Cantabria

8.1.2. FOTOVOLTAICA

Siguiendo el mismo razonamiento aplicado para la eólica, y utilizando la tabla 11 para hallar el número de empleos en función de la energía generada, se obtienen los siguientes resultados. Para calcularlos debe tenerse en cuenta que la

producción de energía fotovoltaica anual prevista para Cantabria es de 16,8 GWh.

EMPLEOS	DIRECTO	INDIRECTO	TOTAL
FOTOVOLTAICA	66,53	29,9	96,43

Tabla 14: Empleos según GWh Fotovoltaica Cantabria

Estos resultados, basados en la producción anual, han de ser combinados con los obtenidos a partir de la potencia instalada, para así conseguir los resultados deseados para este análisis, que es la media aritmética de los dos.

EMPLEOS	DIRECTO	INDIRECTO	TOTAL
FOTOVOLTAICA	67,71	30,45	98,16

Tabla 15: Empleos Fotovoltaica Cantabria

8.2. JAÉN

8.2.1. EÓLICA

La producción eólica anual de Jaén resultaba ser la más baja de las analizadas de acuerdo a los cálculos del apartado de estudio de la energía eólica en cada provincia. De este modo, únicamente se generan 1,8 GWh al año en el emplazamiento seleccionado. Con esa cifra, y los datos de Empleos/GWh, se obtienen unos resultados bajísimos en cuanto a empleos generados en la región.

EMPLEOS	DIRECTO	INDIRECTO	TOTAL
EÓLICA	0,95	0,78	1,73

Tabla 16: Empleos según GWh Eólica Jaén

Éste es el mejor ejemplo de por qué no se deben tomar estos resultados como algo verídico. No es posible que una central eólica de 34,5 MW de potencia instalada cuente únicamente con un empleado. Por este motivo fue por el cual se decidió hacer la media con los resultados de Empleos/MW instalados, que resulta un valor más coherente, permitiendo aun así tener una visión clara de las diferencias entre las distintas provincias. Por tanto, el resultado de la media entre ambos es:

EMPLEOS	DIRECTO	INDIRECTO	TOTAL
EÓLICA	20,83	16,61	37,44

Tabla 17: Empleos Eólica Jaén

8.2.2. FOTOVOLTAICA

Jaén, como era previsible, resultó ser la más prolífera en cuanto a energía fotovoltaica generada, con 23,1 GWh al año. Esto hace que los empleos

generados en función de dicha energía producida resulten infinitamente más cuantiosos que los de la eólica.

EMPLEOS	DIRECTO	INDIRECTO	TOTAL
FOTOVOLTAICA	91,48	41,12	132,6

Tabla 18: Empleos según GWh Fotovoltaica Jaén

Compensándolos con aquellos que se ha calculado que genera una central fotovoltaica de 12,5 MW, los resultados finales a partir de los que se extraerán las conclusiones son:

EMPLEOS	DIRECTO	INDIRECTO	TOTAL
FOTOVOLTAICA	80,18	36,06	116,24

Tabla 19: Empleos Fotovoltaica Jaén

8.3. SORIA

8.3.1. EÓLICA

Soria, al estar a una mayor altitud que Jaén, tiene una generación anual de 7,4 GWh, aunque lejos de las cifras de la costera Cantabria. Esto hace que las cifras de empleados en función de la energía sean más elevadas, aunque sigan pareciendo muy escasas para una central de esa magnitud.

EMPLEOS	DIRECTO	INDIRECTO	TOTAL
EÓLICA	3,92	3,18	7,1

Tabla 20: Empleos según GWh Eólica Soria

La media con los empleos generados según los MW de potencia instalada es la siguiente.

EMPLEOS	DIRECTO	INDIRECTO	TOTAL
EÓLICA	22,31	17,81	40,12

Tabla 21: Empleos Eólica Soria

8.3.2. FOTOVOLTAICA

Soria también está en un término medio en esta tecnología, generando 21,9 GWh anuales a través de los paneles fotovoltaicos de su planta. Esto, si se aplicase únicamente el criterio de Empleos/GWh resultaría en los siguientes puestos de trabajo.

EMPLEOS	DIRECTO	INDIRECTO	TOTAL
FOTOVOLTAICA	86,73	38,98	125,71

Tabla 22: Empleos según GWh Fotovoltaica Soria

Cotejando y buscando la media con los resultados provenientes de los empleos que se crean en función de la potencia instalada surgen los resultados que se utilizarán para la comparativa posterior entre tecnologías y provincias.

EMPLEOS	DIRECTO	INDIRECTO	TOTAL
FOTOVOLTAICA	77,81	34,99	112,8

Tabla 23: Empleos Fotovoltaica Soria

8.4. CONCLUSIONES IMPACTO SOCIAL

EMPLEOS/GWh	DIRECTO	INDIRECTO	TOTAL
EÓLICA	0,53	0,43	0,96
FOTOVOLTAICA	3,96	1,78	5,74

Tabla 24: Empleos/GWh Informe IDAE

EMPLEOS/MWins	DIRECTO	INDIRECTO	TOTAL (EMPLEOS/MW)	POT (MW) CENTRALES ESTUDIO	EMPLEOS DIRECTOS	EMPLEOS INDIRECTOS	EMPLEOS TOTALES
EÓLICA	1,18	0,94	2,12	34,5	40,71	32,43	73,14
FOTOVOLTAICA	5,51	2,48	7,99	12,5	68,88	31	99,88

Tabla 25: Empleos según Potencia Instalada

La primera comparativa que se establece es entre los dos tipos de tecnologías, para ver cual resulta más beneficiosa a priori para la masa social de una determinada región. Observando las tablas de Empleos/GWh y de Empleos/MW instalados, se puede comprobar que la energía fotovoltaica tiene la capacidad de generar muchos más empleos, tanto de forma directa como indirecta, que la energía eólica. Esto se refleja en los resultados, e incluso la provincia de Cantabria, que es la más proclive a la utilización de energía eólica de las tres si observamos la generación, presenta mejores resultados en cuanto a generación de empleo para la energía solar que para la del viento.

En cuanto a la comparativa entre provincias, la cuestión es muy simple. Al ser los resultados una media de los Empleos/GWh generados y los Empleos/MW instalado, y siendo estos MW instalados iguales en cada región, el número de puestos de trabajo creados será proporcional a la energía que se crea en cada provincia (GWh), siendo el orden de mayor a menor: Cantabria-Soria-Jaén para la eólica y Jaén-Soria-Cantabria para la fotovoltaica.

Realizando un análisis caso por caso en cada provincia, se tratará de comprobar qué implicaciones podría tener la creación de estos puestos en cada territorio. Como ya se explicó anteriormente, el emplazamiento de las centrales cántabras estaría situado entre los municipios de Hinojedo y Santillana del Mar. Ambos municipios (Hinojedo pertenece al ayuntamiento de Suances) se nutren

principalmente del turismo, ya que Santillana posee una gran riqueza cultural, incluyendo su famosa colegiata y las cuevas de Altamira, mientras que Suances basa su atractivo en sus playas. Así pues, quizá estos pueblos no sean los más indicados o a quienes más pueda afectar la presencia de energías renovables en ese emplazamiento. Sin embargo, unos 8 kilómetros hacia el interior se encuentra Torrelavega y las pequeñas localidades que la rodean, como puede ser Puente San Miguel, Barreda, Polanco o Cartes, tradicionalmente una de las zonas más industriales de Cantabria. Y es aquí donde sí que este proyecto podría suponer un giro crucial para la sociedad.

Toda esta zona acaba de sufrir uno de los reveses más importantes de su historia, el cierre de la fábrica de Sniace, de donde un día surgía todo el papel para abastecer a la prensa española. Sin ella prácticamente no se entiende Torrelavega, que se lo debe todo a esa fábrica y que está en pleno declive, al igual que ocurrió con la cuenca minera asturiana o con Ferrol tras la caída de los astilleros. Y es que en Cantabria parece no haber futuro fuera del turismo, no se crean nuevas industrias y las que había y soportaban el peso de la economía regional, como Sniace, se apagan lentamente. Cantabria es la comunidad autónoma en la que más aumentó el paro en 2019, un 19%, una cifra que choca comparándola con el ámbito nacional, donde el paro cayó un 3,4% respecto al año anterior. Por ello, la implantación de renovables podría suponer un soplo de aire fresco para la comunidad.

Así, según el testimonio de un trabajador, publicado por el periódico El Español: “Me cuenta mi padre la riada de gente que veías venir a la fábrica por la mañana. Llegó a tener casi 4.000 trabajadores directos. Eso sin contar los indirectos, porque por ejemplo mi abuela no trabajaba en la fábrica, pero era cocinera en los comedores donde iban los operarios. Se hizo un colegio, tres colonias de viviendas para los trabajadores, comercios... Sniace le dio la vida a Torrelavega y nadie se iba de aquí. Al contrario, venía gente de fuera. Del resto de Cantabria y del resto de España. Había trabajadores malagueños, extremeños, gallegos y de todas partes”. Ahora, la plantilla se ha visto reducida drásticamente y no llega al medio millar de trabajadores.

Vista esta situación, la creación de 48 puestos de trabajo en el caso de la planta eólica o 98 en el caso de la fotovoltaica serían gratamente recibidos por una

población que, si continuase la tendencia actual de la comarca, tendría que partir en busca de un futuro en otros emplazamientos.

En Jaén, la población elegida fue Sorihuela de Guadalimar. Esta localidad se encuentra dentro de la comarca de Las Villas, cuya situación demográfica se puede resumir, como en otras muchas zonas rurales de España, de la siguiente manera: despoblamiento, envejecimiento y predominio de personas en edad no productiva. La población de Sorihuela era de 1100 habitantes según los últimos datos del INE, que están fechados en 2019, y su principal ocupación es la agricultura y el cultivo.

Echando un vistazo a las estadísticas demográficas de su población, se puede comprobar que la población ha ido decreciendo en los últimos 10 años (figura 17). Esto se debe a dos motivos. El crecimiento vegetativo de una población tan envejecida lleva siendo negativo desde 2007 (hay más defunciones que nacimientos) y las cifras de migraciones tienen una tendencia claramente negativa desde 2012 (se van más habitantes de los que llegan). De entre éstos que se van, la mayoría lo hacen por no tener futuro, en el caso de los jóvenes, y por tener que buscar alguna ocupación en Jaén ciudad u en otras localidades cercanas, como pueden ser Ciudad Real o Albacete.

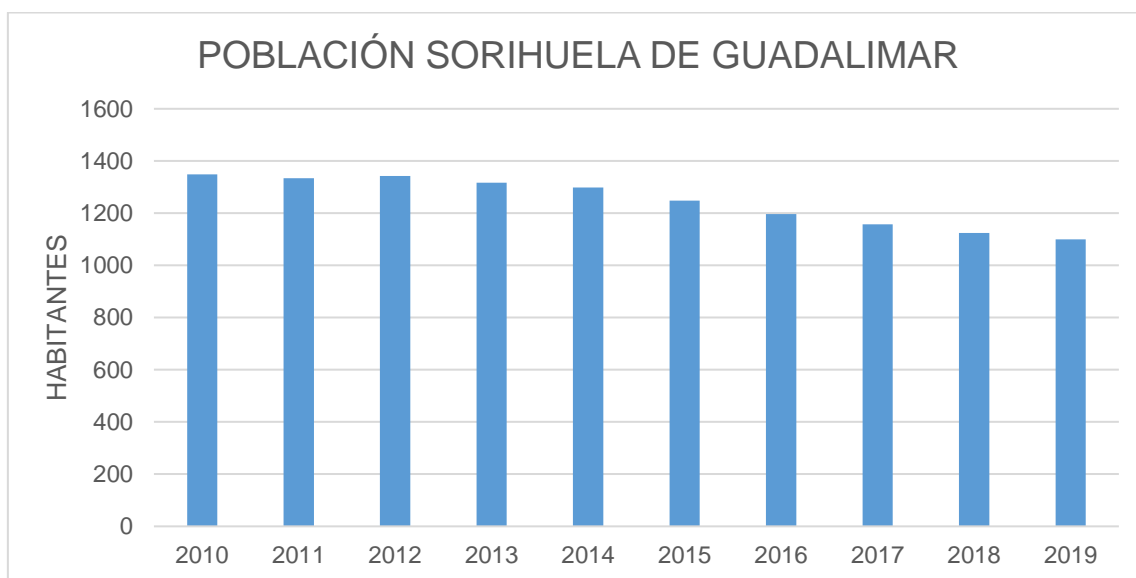


Figura 17: Población Sorihuela de Guadalimar

Para evitar este éxodo, los puestos de trabajo que generarían las centrales eólicas y solares en la comarca (37 y 116 respectivamente) supondrían una gran ayuda. La localidad podría atraer personal cualificado para desempeñar dichos trabajos, el cual supondría un impulso debido a que la edad media descendería y volvería a surgir la esperanza de posibles nacimientos y repoblación de la comarca.

Finalmente, en Soria la ubicación estaba próxima a la localidad de Ventosa de Fuentepinilla. Este núcleo cuenta con apenas dos decenas de habitantes y todo el ayuntamiento de Quintana Redonda, al que pertenece, no alcanza los 400. Sus ocupaciones tradicionalmente han sido el cultivo de trigo y cebada o el girasol. En cuanto a la ganadería, vacuno y lanar principalmente. Asimismo, la industria chacinera tiene su parte de protagonismo en la actividad municipal. También hay una fábrica textil y es una importante zona de recolección de niscalos. A pesar de todas estas ocupaciones, y de poseer una estación de tren en activo, lo cual es un punto a favor para una localidad tan pequeña, estos sectores no son precisamente los que están más al alza, y cada vez cuesta más retener a la población, pese a encontrarse a sólo 34 km. de Soria capital, lo cual podría ayudar si se produjese el efecto de “ciudad dormitorio”. En la figura 18, se puede comprobar como, pese a eventuales subidas, la tendencia es claramente hacia una menor población.

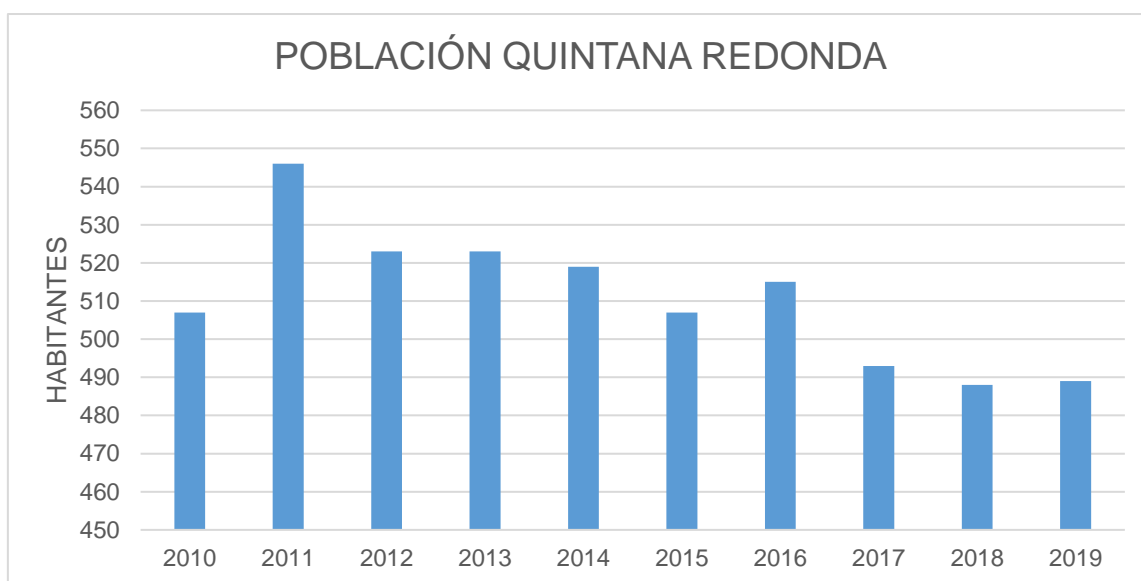


Figura 18: Población Quintana Redonda

Por lo tanto, aquí sí que la creación de una central eólica o fotovoltaica, con sus correspondientes puestos de trabajo (40 y 113 respectivamente) supone un importante impacto en la historia del pueblo. Suponiendo que residan todos los empleados en Quintana Redonda, y no en Soria ciudad, que sería otra opción, la población del municipio crecería un 8,18% en el caso de la eólica y un 23,11% en el caso de la fotovoltaica. Tal creación de empleo supondría un hito para Soria como provincia, ya que es una de las que más despoblación presenta en toda España, habiéndose creado plataformas y campañas como ¡Soria YA! o ¡Soria quiere futuro! para reivindicar la provincia y los atractivos que ofrece.

9. IMPACTO ECONÓMICO

Además de apoyar los objetivos de estabilización del clima y del impacto social, una adopción significativa de las medidas de energía renovable y de ciencia energética supone importantes beneficios macroeconómicos. En el análisis preparado bajo la Presidencia alemana del G20, la IRENA concluyó que la reducción de las emisiones mundiales de dióxido de carbono en consonancia con el Acuerdo de París impulsaría el PIB en un 0,8% en 2050, en relación con un caso de referencia (IRENA, 2017a). Esto se traduce en una ganancia acumulada de 19 billones de dólares de los EE.UU., que equivale aproximadamente a la capitalización de mercado combinada de todas las empresas que cotizan en la Bolsa de Nueva York (véase la figura 1). El aumento de la actividad económica se ve estimulado por la inversión en energías renovables y en la eficiencia energética, así como por las políticas de apoyo, incluidos los precios del carbono y el reciclaje de los ingresos procedentes de la reducción de los impuestos sobre la renta. (IRENA, 2016a)

Sin embargo, los indicadores como el PIB por sí solos no captan todo el espectro de los beneficios del bienestar humano. Una contabilidad más completa de los beneficios incluye dimensiones como el empleo, la salud, la educación, reducción de las emisiones de gases de efecto invernadero y cambios en el consumo de materiales.

De forma más inmediata, las ganancias en bienestar son el resultado de la reducción de externalidades negativas como la presión sobre los ecosistemas (menos extracción de carbón y menos perforación para obtener petróleo y gas) y los impactos sobre la salud humana (menor exposición a los contaminantes del aire y el agua derivados del uso de combustibles fósiles). Además, hay repercusiones sociales positivas en forma de empleo y aumento de los ingresos. (IRENA, 2016a)

A estas cifras se suman los efectos más indirectos, pero igual de importantes, que conllevaría el paso a la energía renovable y el consiguiente alivio de la crisis climática. Por ejemplo, si se mejorara la calidad del aire, disminuiría el volumen de personas en todo el mundo que son hospitalizadas por problemas

respiratorios. Hay quizás 12.000 muertes prematuras debido al cambio climático sólo en los EE.UU. cada año, y muchos más sufren serios problemas de salud que pueden llevarlos a la hospitalización. La presión sobre los sistemas de salud a la que contribuye el cambio climático es enorme; tomemos como ejemplo Londres, donde las predicciones sugieren que la contaminación del aire causa problemas respiratorios en 4 nuevos adultos cada día. Arreglar estos problemas liberaría fondos para el tratamiento y la investigación de curas para los graves problemas de salud endémicos que asolan a la sociedad.

Los argumentos anteriores dan por sentado que el PIB es la medida del bienestar económico de la sociedad, percepción heredada que ha perdurado a través de los tiempos. Sin embargo, hay quien, siendo los economistas ecológicos el principal ejemplo, ha tratado de rechazar esto e introducir su propia vara de medir: GPI, o Indicador de Progreso Genuino. El GPI incluye cosas como la brecha de ingresos, los niveles de pobreza y las tasas de daño ambiental para ver cómo de bien va a la economía mundial. Según esta vara de medir, el valor económico por persona alcanzó su punto máximo en 1978, y ha estado disminuyendo constantemente desde entonces. Además, la ecología en sí misma tiene un valor monetario. Los economistas ecológicos predijeron a finales de los noventa que el medio ambiente valía alrededor de 33 billones de dólares, más del doble del PIB del mundo en ese momento. Aunque la cifra tiene poca utilidad económica, el objetivo del ejercicio era destacar el valor monetario del medio ambiente, mientras que al mismo tiempo revelaba la insuficiencia del PIB como instrumento de medición. Naturalmente, esto no tiene en cuenta los aspectos menos tangibles de la naturaleza, como su belleza a menudo asombrosa, o de hecho, lo esencial que es para nuestra supervivencia.

El cambio climático, como se puede adivinar, afecta desproporcionadamente a los pobres. El consenso científico de que el cambio climático intensifica las condiciones meteorológicas es bien conocido, y los efectos de esta intensificación se han visto en los últimos años. Los incendios forestales de California y otros desastres naturales como el huracán Harvey se vieron cuanto menos influidos por el aumento de la temperatura, si no directamente por él. ¿Y los daños económicos de estos "actos de Dios", como a las compañías de seguros les encanta nombrarlos? Sólo en 2017, los desastres ambientales en

los Estados Unidos costaron un total de 306.000 millones de dólares. Naturalmente, los pobres soportan esta carga. A medida que más personas pobres se ven obligadas a construir sus casas en zonas de riesgo y se ven afectadas por los desastres naturales, las compañías de seguros las dejan en la estacada y no pagan por este tipo de eventos.

El hecho de que se penalice a los pobres por un problema que les afecta de forma desproporcionada no es, por supuesto, sólo un fenómeno americano. En 2019, la zona de emisión ultra baja (ULEZ) se amplió para operar 24 horas al día, siete días a la semana, en el centro de Londres. Si bien a primera vista esta política es positiva, ya que reduce la contaminación del aire al retirar los coches de la carretera y obligar a la gente a conducir vehículos más limpios, es, inevitablemente, la clase obrera la que se lleva la peor parte del coste. Aquellos con vehículos de más de 3,5 toneladas tienen que pagar ahora la friolera de 100 libras al día además del cargo por congestión. Los trabajadores cuyo sustento depende de que puedan utilizar sus furgonetas y camiones en el centro de Londres han quedado esencialmente sin trabajo debido a estas nuevas normas, y aquellos a los que en el pasado se les dijo que cambiaran sus vehículos por opciones supuestamente respetuosas con el medio ambiente - como durante la reducción del impuesto sobre el gasóleo de 2001, aplicada antes de que el gasóleo se convirtiera en el enemigo - han sido los más afectados. Muchos de los que tendrán que pagar el cargo, que podría ser de hasta 24 libras esterlinas al día entre las 7 de la mañana y las 6 de la tarde, simplemente no tienen el dinero para pagar un vehículo nuevo que se ajuste al último estándar de motor Euro 6 a partir de 2015. Está planeado para el 2021 poner en acción el ULEZ en todas las áreas dentro de la Circular Norte y Sur, afectando aún más a aquellos que no pueden pagarlo. Para ser justos, en febrero de 2019 se puso en marcha un plan de desguace de 21 millones de libras esterlinas para ayudar a las pequeñas empresas a mejorar sus vehículos; lamentablemente, esto no es suficiente para ayudar a los pobres que no son dueños de su propio negocio, como los limpiadores y los trabajadores de la salud, por ejemplo. En el Independent, Oliver Barnes sostiene que ULEZ expone el hecho de que "Londres sigue siendo un lugar desigual e implacable que permite a los más ricos salir

impunes, mientras que enfrenta a sus residentes más pobres unos contra otros". Es difícil argumentar en contra de esta lógica.

Al alejarse de Occidente, los más pobres también se ven afectados por el cambio climático en las regiones menos desarrolladas del mundo. La propagación de las enfermedades infecciosas puede aumentar si se cambian las condiciones ambientales a medida que se destruyen los hábitos, haciendo que los animales se acerquen más a las poblaciones humanas y aumentando las temperaturas, lo que significa que los mosquitos que propagan el paludismo tienen una mayor superficie para habitar que antes. El brote de Zika de 2014-15, por ejemplo, fue causado por los mosquitos subtropicales que prosperaron con temperaturas superiores a la media en toda América del Sur, lo que podría decirse que fue causado por el cambio climático. Estos brotes no sólo significan tensiones masivas en los sistemas de salud de los países en desarrollo, sino también que el turismo, del que dependen muchos de estos estados, se ve afectado negativamente. Los efectos económicos de esos brotes pueden ser devastadores para los países que ya tienen dificultades financieras. El aumento de las temperaturas también afecta al crecimiento de los cultivos, causando fracasos y sequías. Para los países en desarrollo que dependen de la agricultura, la pérdida de una sola cosecha puede ser catastrófica para la economía, por no mencionar la trágica pérdida de vidas que ello conlleva.

Así pues, teniendo en cuenta todo lo discutido anteriormente, extraído de la prestigiosa web de economía Inomics, las energías renovables cuentan con los siguientes beneficios económicos:

- Creación de empleo: ya analizado con anterioridad.
- Ingresos de los propietarios: la energía renovable también constituye una fuente adicional de ingresos para los propietarios de tierras y los agricultores rurales. Según datos de la Asociación Americana de Energía Eólica (AWEA), los parques eólicos en los Estados Unidos proporcionan alrededor de 222 millones de dólares cada año a los propietarios rurales que albergan parques eólicos en sus propiedades. Los granjeros también pueden ganar dinero cultivando cosechas para ser usadas como biocombustibles. El etanol de maíz es actualmente la principal vía de

participación de los agricultores en el sector energético, pero otros biocombustibles están empezando a recibir más atención.

- Reducción de los costos de energía: el cambio a la energía renovable es una excelente manera para que los clientes de energía residencial, comercial e industrial ahorren dinero en sus facturas. La instalación de paneles solares en su propiedad permite generar su propia electricidad, dando teóricamente la capacidad de reducir su factura de energía a cero. La cantidad exacta que se ahorra depende de muchos factores, incluyendo el lugar donde vive.
- Aumento del valor de la propiedad: la instalación de equipos de energía renovable en su propiedad puede ayudar a aumentar su valor de manera significativa. Si se instalan paneles solares en su casa, por ejemplo, su valor aumenta aproximadamente 20 dólares por cada dólar que ahorre en las facturas de energía. Los propietarios pueden recuperar una cantidad significativa del costo de la instalación de sus módulos solares cuando vendan su casa. Añadir paneles solares a su casa también puede ayudarle a venderla más rápido.
- Independencia energética: el uso de más energía renovable podría ayudar a los países a lograr la independencia energética, es decir, la capacidad de satisfacer las necesidades energéticas a nivel nacional, reduciendo así la dependencia de las naciones extranjeras y la susceptibilidad a los cambios de los precios de la energía en el extranjero. El aumento de la cantidad de energía renovable en el mix podría reducir la dependencia del petróleo extranjero en países como España. Además, los recursos de energía renovable no se agotan, por lo que el país podría contar con esa independencia a largo plazo.
- Precios de la energía estables: la instalación de instalaciones de energía renovable requiere una inversión inicial sustancial, pero después de la instalación, son baratas de operar. Esto se debe en gran parte a que no requieren la compra de combustible. La eliminación de los costos de combustible reduce el costo de la electricidad producida. También significa que el precio de la electricidad no es susceptible a los cambios en el precio de los combustibles, como ocurre con el gas natural o el

carbón. Esto puede conducir a precios de energía más estables a largo plazo.

- Evitar los impactos climáticos: según un informe reciente del Fondo Ecológico Universal, el cambio climático le ha costado a la economía estadounidense unos 240.000 millones de dólares anuales en los últimos 10 años. Otro informe, la Cuarta Evaluación Climática Nacional, cuyo autor es un científico del clima de 13 agencias federales de los Estados Unidos, encontró que la economía de los Estados Unidos se contraerá hasta en un 10 por ciento para finales de siglo si el cambio climático continúa a su ritmo actual. Estas pérdidas económicas son el resultado de los eventos climáticos extremos, el empeoramiento de la calidad del aire, el aumento del nivel del mar y otros efectos. El cambio de los combustibles fósiles a las energías renovables podría ayudar a frenar el cambio climático y evitar algunas de estas posibles pérdidas económicas.

Hay muchas razones por las que el uso de más energía renovable y menos combustible fósil es beneficioso. Es mejor para el medio ambiente y la salud humana, y también tiene muchos impactos económicos positivos. Juntos, todos estos beneficios crean un argumento muy convincente para invertir más en las energías renovables, según publica la revista *Renewable Energy* en uno de sus números de 2019.

Fijándonos en España y en las dos tecnologías a las que aplica este estudio, se conocen los siguientes datos, que pueden ser considerados de interés, pertenecientes al cierre del curso 2018. La aportación total al PIB del sector eólico en el año 2018 fue de 2.957 millones de euros, de los que 2.228 millones, el 75%, correspondieron a su contribución directa y 729 millones, el 25%, a la aportación indirecta. En 2018, la energía eólica se situó como la segunda fuente de generación eléctrica, únicamente por detrás de la energía nuclear y cubriendo el 19,8% de la demanda eléctrica. Es importante recordar que, en el año 2013, la energía eólica se situó como la primera fuente de generación eléctrica, por delante de la energía nuclear. En los últimos años, España ha perdido posiciones en el ranking eólico que durante bastantes años consiguió liderar, sin embargo,

la puesta en explotación de la nueva potencia subastada, brindará a España la oportunidad de recuperar posiciones en esta clasificación. (Asociación Empresas Energías Renovables, 2018)

Por su parte, la contribución total al PIB del sector solar fotovoltaico en 2018 fue de 3.153 millones de euros. 2.923 millones (92,7%), correspondieron a la contribución directa, mientras que 230 millones (7,3%) fueron la aportación inducida. Sin embargo, dada su proyección, la tecnología fotovoltaica ya está en disposición de ocupar un papel preponderante en el nuevo modelo energético debido a diferentes parámetros relacionados con su rentabilidad, perfiles de inversor, flexibilidad en su ubicación y beneficios medioambientales. (Asociación Empresas Energías Renovables, 2018)

Para la recolección de los datos referentes al trabajo que se está desarrollando, se ha utilizado un estudio realizado por una colaboración entre BCG (Boston Consulting Group) y el IDAE (Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía) titulado “Evolución Tecnológica y Prospectiva de Costes de las Energías Renovables”. Este documento, tomando unas hipótesis que se deben cumplimentar, establece unas proyecciones fiables para los costes de generación e inversión de cada energía renovable en el año 2020, que es el que atañe a este proyecto.

Así, según este informe, las perspectivas para 2020 en cuanto a los costes eran las siguientes:

	COSTES TOTALES 2020 (€/MWh)	COSTES INVERSIÓN 2020 (M€/MW)
EÓLICA	60	1,4
FOTOVOLTAICA	102-120	1,15

Tabla 26: Costes 2020 Informe IDAE

Para conseguir estas cifras, en el informe se llevaban a cabo ciertas asunciones, que debían darse partiendo de los datos disponibles en 2011 (fecha de

publicación). Así, para hallar la evolución de costes esperada para la energía eólica, debería cumplirse que:

- La potencia onshore total mundial instalada alcanza ~700 GW en 2020 y ~1.400 GW en 2030 frente a los 136 GW en 2009.
- La potencia mundial instalada offshore alcanza 40 GW en 2020 y 150 GW en 2030, frente a los 4 GW en 2009.
- Se mantienen los factores de experiencia históricos en la tecnología onshore.
- Las cimentaciones offshore consideran el anclaje mediante monopilotes y hasta una profundidad máxima de ~40 metros. (BCG & IDAE, 2011)

Mientras que en el caso de la fotovoltaica:

- La capacidad mundial de energía fotovoltaica alcanza los 100 GW en 2020 y los 243 GW en 2030, frente a los 20 GW de 2009.
- El reparto por tecnología es de 70 GW para la tecnología cristalina y 30 GW para la de capa delgada (thin film) en 2020 y 151 GW y 92 GW en 2030, respectivamente.
- Se asume una mejora de la eficiencia en línea con la curva de experiencia registrada hasta la fecha.
- No se incluye el impacto de potenciales cambios disruptivos en la tecnología (por ejemplo, nanotecnología). La evolución de costes propuesta se logra con mejoras sobre la tecnología existente en la actualidad. Toda tecnología disruptiva supondría una reducción de costes adicional a la ya incluida.
- Las plantas de fabricación alcanzan una escala eficiente. La capacidad de la planta de producción marginal debe ser igual o superior a 200 MW.
- Continuidad de la senda tecnológica de la capa delgada, y en particular del CdTe como tecnología más relevante en los próximos años.
- El precio del polisilicio se mantiene en el entorno de precios actual. (BCG & IDAE, 2011)

Así, mientras las condiciones de la eólica se han cumplido prácticamente sin fallo (la potencia total instalada en el mundo a final de 2019 rondaba los 650 GW), en el caso de la fotovoltaica, el avance ha sido tal que ha habido que replantearse estos datos y buscar otros más actualizados. Y es que esta tecnología se ha desarrollado mucho más de lo previsto. Si se fijaban 100 GW como potencia instalada objetivo en 2011, a finales de 2019 ya iba por 583,3 GW. Y es que la tecnología solar fotovoltaica ha recorrido rápidamente durante los últimos años su curva de aprendizaje, con reducciones de costes acumuladas superiores al 80%. Puede asegurarse que, en la actualidad, la fotovoltaica se ha convertido en una de las tecnologías mejor preparadas para competir en costes con las tecnologías tradicionales de generación eléctrica. (Asociación Empresas Energías Renovables, 2018)

Así pues, dado este avance, inesperado allá por 2011, se han revisado otros estudios, hallando en el realizado por Renovetec, un blog especializado en energías renovables, una comparativa actualizada de los costes de inversión y generación de todas ellas. Así, según este análisis, en el escenario actual, la generación eléctrica a partir de huertos solares es la opción más económica, con costes totales que rondarían los 60 €/MWh. Este sorprendente precio compite incluso con las centrales de ciclo combinado y puede ser una alternativa real incluso sin subvención, siempre que los costes de amortización sean los indicados y que se instalen en lugares en los que estén garantizadas al menos 2200 horas equivalente de radiación solar. La energía fotovoltaica está llamada a convertirse en una opción competitiva en muchos lugares del mundo, no solo por sus bajos costes de instalación, sino porque la operación y mantenimiento apenas tiene complicación técnica, y pueden ser llevados a cabo por técnicos con un entrenamiento mínimo.

Los aerogeneradores y las centrales termoeléctricas de biomasa de más de 15 MW representan opciones también muy atractivas, con costes totales que rondan los 65 €/MW. A ese precio, compiten perfectamente con otras energías, y pueden desarrollarse en muchos países al margen de las ayudas que puedan llegar a ofrecer los gobiernos. Por tanto, los datos extraídos relativos a las energías eólica y fotovoltaica son los siguientes.

	COSTES TOTALES 2020 (€/MWh)	COSTES INVERSIÓN 2020 (M€/MW)
EÓLICA	65,4	1,2
FOTOVOLTAICA	60,9	1,3

Tabla 27: Costes 2020 Renovetec

Donde se puede comprobar que, en cuanto a los costes totales, la eólica no ha llegado por poco a lo previsto, mientras que la fotovoltaica ha sobrepasado todas las predicciones. Si se observan de los costes de inversión, la eólica es más barata de lo que se preveía y la fotovoltaica está un poco por encima del coste vaticinado.

El precio de referencia para estipular las ganancias o pérdidas provocadas por dichas centrales lo establece el mercado diario español. Este mercado, regulado por el OMIE (Operador de Mercado Ibérico de la Energía). Este mercado gestiona las ofertas de energía de las productoras y realiza la casación con la demanda de las distribuidoras y comercializadoras. Esta casación se realiza tanto en un mercado diario como en seis intradiarios.

El precio medio de la electricidad en el mercado diario español de 2019 fue de 47,68 €/MWh. Esto significa que tanto la energía eólica como fotovoltaica no son rentables a día de hoy en los emplazamientos seleccionados, si sólo se tienen en cuenta los datos técnicos, ya que se venden más baratas de lo que cuesta producirlas.

Si entramos a analizar la viabilidad económica de cada uno de los seis casos, se pueden extraer mejores conclusiones. Los análisis económicos asumieron que el 70% del capital la inversión fue cubierta por un préstamo bancario de tasa fija a 20 años y el 30% restante por accionistas. Los flujos de caja se actualizaron asumiendo una tasa de descuento del 6,698%, calculada como el coste promedio de capital (WACC) del préstamo bancario (70% de la inversión al 6,398%) y el rendimiento esperado para el inversor (30% de inversión al

7,398%). Los ingresos por la venta de electricidad fueron calculados considerando la cantidad de energía vertida en el precio medio de la electricidad en España en 2019 (47,68 euros/MWh). Además, se utilizaron los siguientes datos:

	EÓLICA	FOTOVOLTAICA
	34,5 MW	12,5 MW
COSTES INVERSIÓN	1,2 M€/MW	1,3 M€/MW
COSTES O&M (c_{OM})	21,8 €/MWh	13,6 €/MWh
VIDA ÚTIL (N)	25 AÑOS	
PRECIO ELECTRICIDAD (PE)	47,68 €/MWh	
TASA DESCUENTO (i)	6,70%	
TASA GASTOS O&M (T_{OM})	2,50%	
TASA VENTA ELECTRICIDAD (T_E)	5%	
GENERACIÓN ANUAL CANTABRIA	23,2 GWh	16,8 GWh
GENERACIÓN ANUAL JAÉN	1,8 GWh	23,1 GWh
GENERACIÓN ANUAL SORIA	7,4 GWh	21,9 GWh

Tabla 28: Datos Cálculo Rentabilidad

Con ellos y la aplicación de las siguientes fórmulas, se comprueba la rentabilidad de la empresa, buscando que la tarifa de venta de electricidad normalizada (LROE) sea mayor que el coste normalizado de generación (LCOE):

$$f_{amortización} = \frac{i(1+i)^N}{(1+i)^N - 1}$$

$$C_{inv} = \frac{\text{Inversión Total}}{\text{Generación Anual}} \times f_{amortización}$$

$$C_{OM} = c_{OM} \left(\frac{K_{OM}(1 - K_{OM}^N)}{1 - K_{OM}} \right) \times f_{amortización}$$

$$K_{OM} = \frac{1 + T_{OM}}{1 + i}$$

$$LCOE = C_{inv} + C_{OM}$$

$$LROE = PE \left(\frac{K_E (1 - K_E^N)}{1 - K_E} \right) \times f_{amortización}$$

$$K_E = \frac{1 + T_E}{1 + i}$$

Como ejemplo, se realiza el cálculo de la central eólica en Cantabria:

$$f_{amortización} = \frac{0,06698(1 + 0,06698)^{25}}{(1 + 0,06698)^{25} - 1} = 0,0835$$

$$C_{inv} = \frac{41400000}{23,2 \times 10^3} \times 0,0835 = 149 \text{ €/MWh}$$

$$K_{OM} = \frac{1 + 0,025}{1 + 0,06698} = 0,9607$$

$$C_{OM} = 21,8 \left(\frac{0,9607(1 - 0,9607^{25})}{1 - 0,9607} \right) \times 0,0835 = 28,17 \text{ €/MWh}$$

$$LCOE = 149 + 28,17 = 177,17 \text{ €/MWh}$$

$$K_E = \frac{1 + 0,05}{1 + 0,06698} = 0,9841$$

$$LROE = 47,68 \left(\frac{0,9841(1 - 0,9841^{25})}{1 - 0,9841} \right) \times 0,0835 = 81,35 \text{ €/MWh}$$

Realizando las operaciones para el resto de plantas, resulta:

	LCOE (€/MWh)	LROE (€/MWh)
EÓLICA CANTABRIA	177,17	81,35
EÓLICA JAÉN	1948,67	81,35
EÓLICA SORIA	495,32	81,35
FOTOVOLTAICA CANTABRIA	98,34	81,35
FOTOVOLTAICA JAÉN	76,31	81,35
FOTOVOLTAICA SORIA	79,53	81,35

Tabla 29: LCOE Y LROE

De estos resultados se puede extraer que sólo la fotovoltaica de Jaén y Soria son rentables a nivel económico. Sin embargo, esto se debe a lo cara que resulta la instalación, ya que la posterior generación de energía no tiene muchos costes asociados, al salir gratis el combustible. Este hecho posibilita que cuanto más porcentaje de energías renovables salgan al mercado, más barato resulte el precio de la casación explicado antes del OMIE. Esto se debe a que, de no entrar energía eólica o fotovoltaica en el pool, entrarían otras energías más caras que harían que el precio de casación resultase más elevado. Así, en el 2018, estas energías provocaron que el precio medio anual del mercado diario fuese 18,67 €/MWh menor que si no hubiesen entrado. Esto supuso que, en 2018, las energías renovables produjesen un ahorro en el mercado de 4.735 millones de euros, evitasen la importación de combustibles fósiles por valor de 2.466 millones y ahorrasen 623 millones en concepto de derechos de CO₂. (Asociación Empresas Energías Renovables, 2018)

Estas cifras tan positivas hacen que al Estado le interese la progresión de las renovables, por lo que ofrece cuantiosas primas y retribuciones para que se sigan instalando. Estas primas son las que posibilitan que las centrales fotovoltaicas y eólicas sean rentables y produzcan beneficios, superando el déficit que se observaba si únicamente se analizaban los datos técnicos de producción y venta.

Estas primas fueron hasta 2013 exclusivamente dependientes de la cantidad de energía que cada planta renovable aportaba al mix. A partir de entonces, las energías renovables han ido aportando cada vez más al sistema eléctrico y las

primas, que ahora se denominan retribución específica para renovables, han ido creciendo con ello.

Esta retribución específica se divide en dos, la retribución a la inversión, medida en €/MW, y la retribución a la operación, medida en €/MWh. Esto implica que, a igualdad de costes y de potencia instalada, serán más rentables las centrales localizadas en provincias que aseguren una mayor producción.

Así pues, no se esperaba una gran rentabilidad de las centrales eólicas de Soria y, sobre todo, de Jaén, ya que, además, su producción de 7,4 y 1,8 GWh anuales respectivamente no invitan al optimismo en cuanto a la retribución que vayan a obtener, y su LCOE está muy lejos del LROE, por lo que no parece recomendable su instalación. Por su parte, la más rentable de este tipo será sin duda la de Cantabria que, con 23,1 GWh anuales, podrá recibir primas más abundantes, aunque quizá no llegue a alcanzar nunca la rentabilidad, incluso disfrutando de esas ayudas.

En cuanto a las fotovoltaicas, la producción anual está más igualada, siendo el orden Jaén, Soria y Cantabria, con producciones de 23,1, 21,9 y 16,8 GWh anuales respectivamente. Jaén y Soria son rentables a nivel técnico. Cantabria lo tendrá algo más difícil debido a su clima oceánico, pero aun así es una tecnología que quizá podría funcionar en lo económico pero, al contrario de Jaén y Soria, sería dependiente de las posibles retribuciones que le correspondiesen.

10. CONCLUSIONES

Ciñéndose a la metodología según la cual está planteado este trabajo, es importante conocer cuál era la situación que se encaraba al iniciar el proyecto y cuáles las respuestas a las que se pretendía llegar. Así pues, el objetivo consistía en identificar las posibles consecuencias de la implantación de energías renovables en provincias o comarcas españolas donde hubiese escasez de población o donde se estuviese comprobando que las dificultades sociales o económicas estaban provocando que fuera complicado retener a los habitantes. Para tratar de focalizar un poco más la meta del trabajo, en el apartado Descripción del Problema se plantearon dos preguntas que tratarán de ser respondidas a continuación.

¿Hasta qué punto la instauración de una central solar o eólica es beneficiosa y sostenible en cada una de las provincias elegidas?

		CANTABRIA	JAÉN	SORIA
Agotamiento Recursos Abióticos (kg Sb Eq/kWh)	EÓLICA	$1,82 \times 10^{-6}$	$2,34 \times 10^{-5}$	$5,71 \times 10^{-6}$
	FOTOVOLTAICA	$3,51 \times 10^{-5}$	$2,55 \times 10^{-5}$	$2,69 \times 10^{-5}$
Calentamiento Global (kg CO ₂ Eq/kWh)	EÓLICA	0,1	1,34	0,33
	FOTOVOLTAICA	1,32	0,96	1,01
Agotamiento de la Capa de Ozono (kg CFC-11 Eq/kWh)	EÓLICA	$9,64 \times 10^{-9}$	$1,24 \times 10^{-7}$	$3,02 \times 10^{-8}$
	FOTOVOLTAICA	$2,15 \times 10^{-7}$	$1,57 \times 10^{-7}$	$1,65 \times 10^{-7}$
Toxicidad Humana (kg 1,4-DB eq/kWh)	EÓLICA	0,25	3,22	0,78
	FOTOVOLTAICA	1,13	0,82	0,86
Ecotoxicidad para Sistemas de Agua Dulce (kg 1,4-DB eq/kWh)	EÓLICA	0,08	1,02	0,25
	FOTOVOLTAICA	1,63	1,18	1,25
Ecotoxicidad para Sistemas Marinos (kg 1,4-DB eq/kWh)	EÓLICA	174,83	2253,33	548,11
	FOTOVOLTAICA	4785,12	3480,09	3670,78
Ecotoxicidad para Sistemas Terrestres (kg 1,4-DB eq/kWh)	EÓLICA	$9,02 \times 10^{-4}$	0,01	$2,83 \times 10^{-3}$
	FOTOVOLTAICA	$3,47 \times 10^{-3}$	$2,52 \times 10^{-3}$	$2,66 \times 10^{-3}$
Oxidación Fotoquímica (kg C ₂ H ₄ eq/kWh)	EÓLICA	$3,49 \times 10^{-5}$	$4,5 \times 10^{-4}$	$1,09 \times 10^{-4}$
	FOTOVOLTAICA	$4,76 \times 10^{-4}$	$3,47 \times 10^{-4}$	$3,66 \times 10^{-4}$
Acidificación (kg SO ₂ eq/kWh)	EÓLICA	$5,81 \times 10^{-4}$	$7,48 \times 10^{-3}$	$1,82 \times 10^{-3}$
	FOTOVOLTAICA	$9,35 \times 10^{-3}$	$6,8 \times 10^{-3}$	$7,17 \times 10^{-3}$
Eutrofización (kg PO ₄ eq/kWh)	EÓLICA	$1,59 \times 10^{-4}$	$2,05 \times 10^{-3}$	$4,99 \times 10^{-4}$
	FOTOVOLTAICA	$2,63 \times 10^{-3}$	$1,91 \times 10^{-3}$	$2,01 \times 10^{-3}$

Tabla 30: Resumen Impacto Medioambiental

En el ámbito medioambiental, la inclusión de una fuente de energía renovable en el mix energético de cualquier provincia es beneficiosa en comparación a otras fuentes más dañinas que se está viendo apartadas, como puede ser el carbón. Y es que, a medida que la gente se preocupa cada vez más por el medio ambiente y su contribución personal a la huella de carbono, las fuentes alternativas de energía han pasado a ocupar un lugar central. El aumento de la concienciación y la acción para reducir las huellas de carbono puede tener un impacto positivo duradero.

El mayor beneficio es que con el uso de energía renovable, podemos reducir o eliminar muchas de las fuerzas impulsoras causadas por el hombre que están detrás de la destrucción de nuestra atmósfera y el medio ambiente. La energía renovable es limpia y proviene de fuentes verdes que nos permitirán responder al calentamiento global en lugar de contribuir a sus efectos negativos, muchos de los cuales tienen efectos graves y devastadores en el futuro. Además, una de las grandes ventajas de la energía renovable es que no se agota. Incluso lo dice su propio nombre. El gas, el carbón y el petróleo son cada vez más difíciles de conseguir y procesar. El sol y el viento proporcionarían un suministro de energía prácticamente interminable que sería beneficioso para todos de poderlo utilizar. Por lo tanto, a pesar de que el impacto medioambiental es mayor para el caso de este estudio que para la media de los impactos a nivel global de otras plantas de tipo eólico o fotovoltaico y de que en algunos casos, como el de la eólica en Jaén, la producción de energía es mínima, siempre es beneficioso disponer de energías renovables para abastecer a la región.

Pasando al ámbito social, un primer apunte podría ser la mejora en la salud de las personas que podría provocar la inclusión de renovables. La contaminación es un gran contribuyente a la enfermedad y a la mala salud, y nos lo estamos haciendo a nosotros mismos. La energía renovable no sólo es limpia, sino que impide que se sigan contaminando elementos que de otra manera podrían ser utilizados como fuente de energía. El uso de gas y carbón contribuye tanto directa como indirectamente a problemas respiratorios, enfermedades cardíacas, cánceres y muchas otras condiciones debilitantes y que amenazan la vida.

La vara de medida utilizada en este trabajo, que han sido los empleos generados, es otro de los grandes beneficios de las energías renovables. La tecnología y los conocimientos técnicos necesarios para el éxito del diseño, el desarrollo, la producción y la instalación representan una gran oportunidad de trabajo, ya que se prevé que este campo en ciernes dentro del sector de la energía crezca sin signos de desaceleración.

Se estima que el uso de energía renovable empleará a unos 24 millones de personas en todo el mundo, particularmente de la industria solar y la industria eólica. La mano de obra de fabricación, la construcción e instalación de turbinas, la logística, las finanzas, las necesidades de transporte y los trabajos de consultoría jurídica son sólo algunos de los trabajadores necesarios para hacer posible el uso de la energía renovable.

De esta forma, según se puede apreciar en los siguientes gráficos, la creación de empleo resulta mayor en la fotovoltaica que en la eólica para todas las provincias. Sin embargo, como ya se ha analizado en el impacto social individualmente, sea mayor o menor el número de trabajos generados, este impacto es beneficioso dada la situación demográfica, social y laboral en la que se encuentran los emplazamientos en los que se han colocado las distintas plantas.

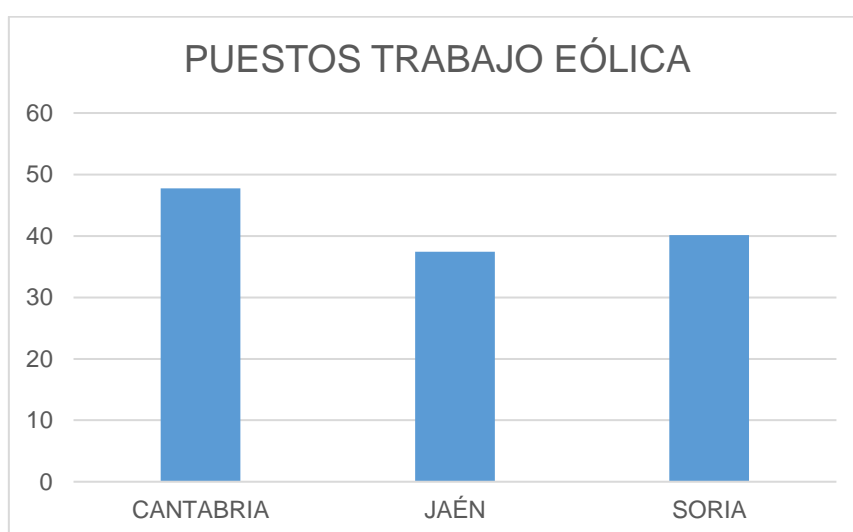


Figura 19: Puestos Trabajo Totales Eólica

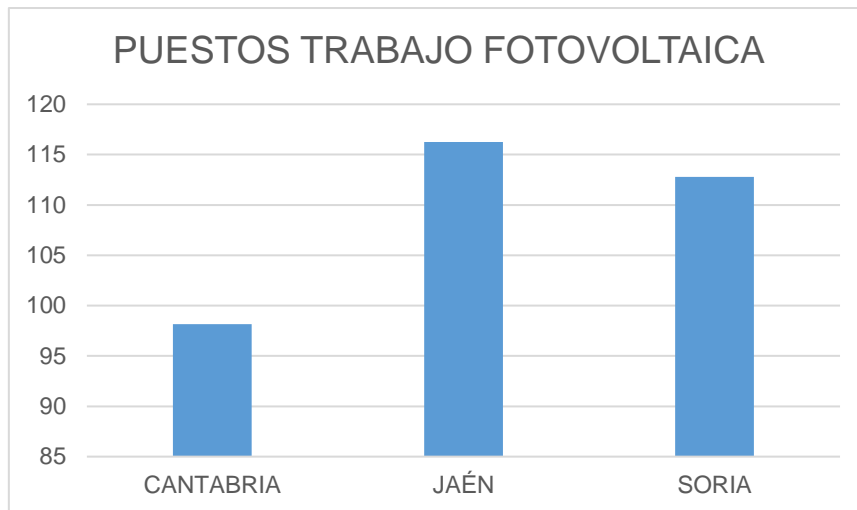


Figura 20: Puestos Trabajo Totales Fotovoltaica

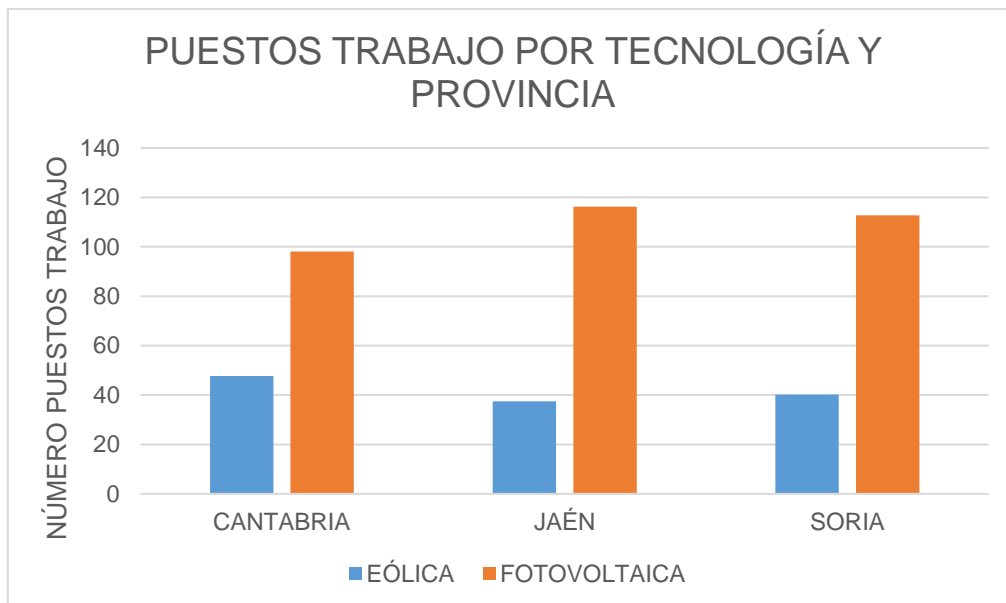


Figura 21: Puestos de Trabajo Totales por Tecnología y Provincia

Por su parte, desde el punto de vista económico también se pueden apreciar que el uso de energías renovables produce ciertos beneficios, si bien hay que esperar para verlos al largo plazo, ya que a corto su instalación puede ser más cara que la de las energías tradicionales. Aunque la instalación inicial de las fuentes de energía renovable puede ser costosa, eliminan el costo de las recargas de combustible. El sol, el viento y otras fuentes naturales son absolutamente gratuitas, por lo que al final, se ahorrarán grandes cantidades de dinero tras la

inversión inicial de la instalación. Además, muchas naciones, como España, ofrecen grandes incentivos fiscales e incluso subvenciones para la actualización a opciones energéticas más respetuosas con el medio ambiente.

Por si esto fuera poco, la energía renovable puede producirse localmente, lo que es beneficioso cuando se trata de nuestra dependencia de fuentes extranjeras. En este momento, la principal fuente de energía de la nación proviene de los combustibles fósiles, que España no podría utilizar sin depender de fuentes externas. El uso de energía renovable no sólo disminuirá la contaminación sucia, sino que también ahorrará dinero de la importación de combustibles fósiles, y disminuirá la necesidad de ayuda extranjera.

Vistas estas reflexiones, podría parecer que es beneficioso en lo económico pero, ¿es esto sostenible? Si observamos los gráficos expuestos a continuación y recordamos que la tarifa de venta de electricidad normalizada (LROE) es de 81,35 €/MWh, solamente alcanzan la rentabilidad las plantas fotovoltaicas de Jaén y Soria, mientras que con ayuda del gobierno podría alcanzarla la fotovoltaica y la eólica de Cantabria (mucho ayuda en éste último caso). Por su parte, la eólica de Soria y de Jaén, especialmente ésta última, supondrían grandes catástrofes en lo económico, con costes infinitamente superiores al dinero que se podría ingresar.

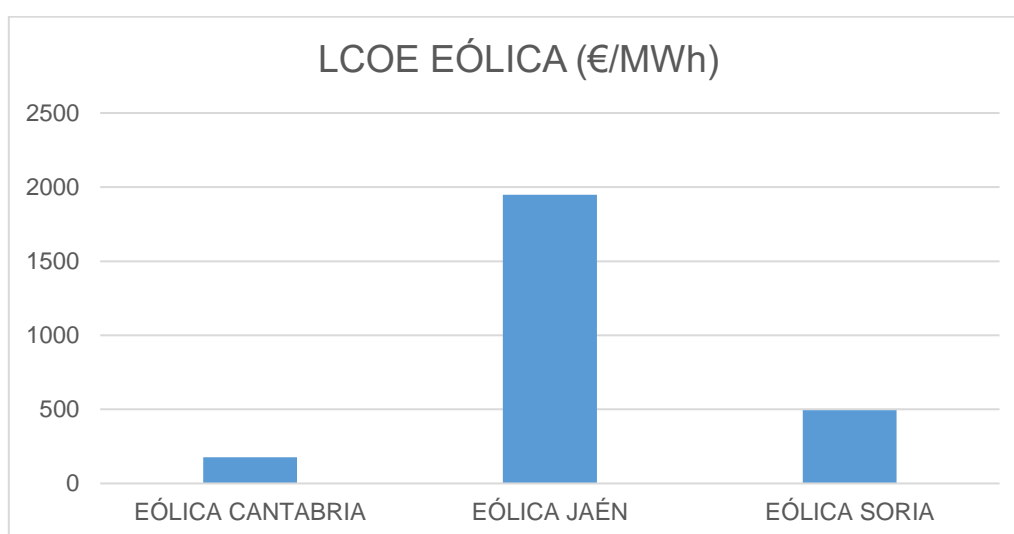


Figura 22: LCOE Eólica

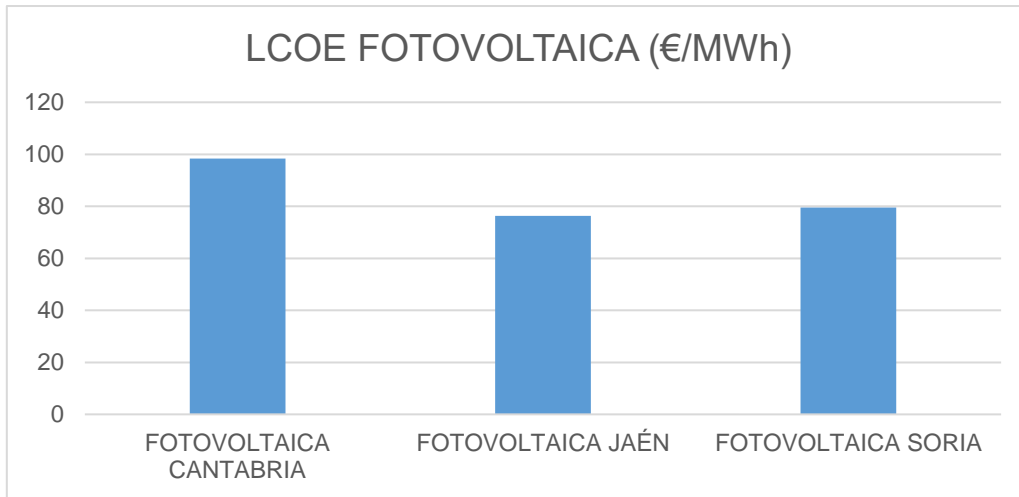


Figura 23: LCOE Fotovoltaica

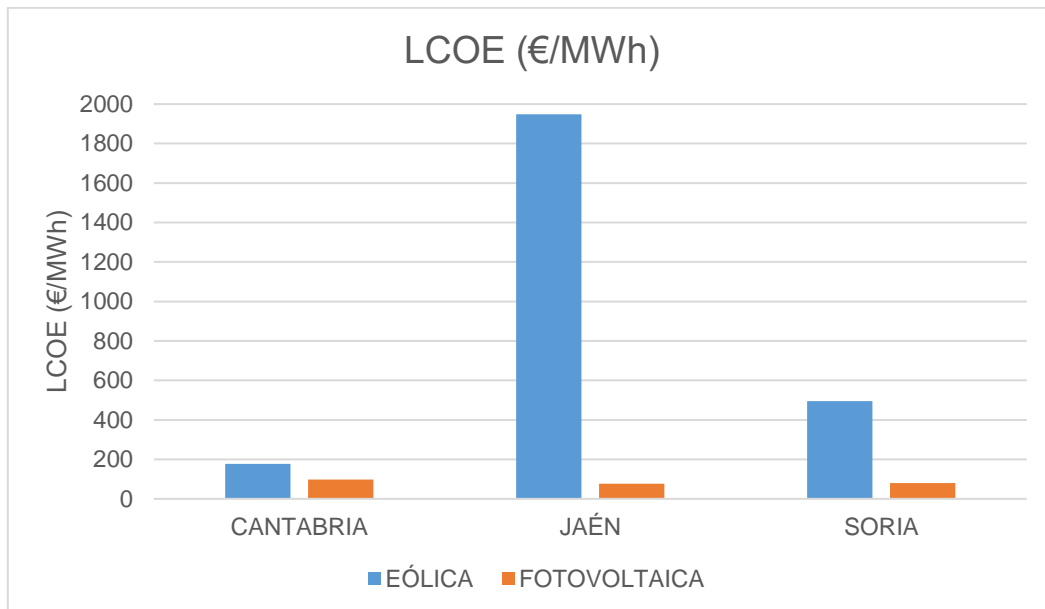


Figura 24: LCOE por Tecnología y Provincia

Así pues, para responder la pregunta, hay que diferenciar bien entre las palabras beneficioso y sostenible. Si omitimos las ayudas del gobierno, que quedan fuera de la competencia de este estudio, las únicas que aúnan ambos adjetivos, beneficiosas y sostenibles, son las centrales fotovoltaicas de Jaén y Soria. Por el contrario, pese a los beneficios en el ámbito medioambiental y social, el resto de las plantas a instalar no serían viables en lo económico, por lo que no serían sostenibles a largo plazo y no sería recomendable llevar a cabo su instalación.

¿Cuál de los dos tipos de energía sería más recomendable utilizar en cada provincia de acuerdo a los resultados?

Comenzando por el factor medioambiental, analizando los distintos impactos que genera en cada una de las provincias por unidad funcional generada, los resultados obtenidos son los siguientes.

	IMPACTO MEDIOAMBIENTAL		
CANTABRIA	EÓLICA	<	FOTOVOLTAICA
JAÉN	EÓLICA	>	FOTOVOLTAICA
SORIA	EÓLICA	<	FOTOVOLTAICA

Tabla 31: Impacto Medioambiental

La energía eólica prevalece tanto en Cantabria como en Soria, generando menos impacto negativo que la fotovoltaica. Por su parte, en Jaén, es tan escasa la producción eólica que se alcanza que el impacto por kWh generado resulta más elevado que en la fotovoltaica.

En cuanto al factor social analizado de los puestos de trabajo, la fotovoltaica se impone por una gran distancia en las tres provincias analizadas, como se puede comprobar en las siguientes gráficas, por lo que resulta la más recomendable según este criterio.

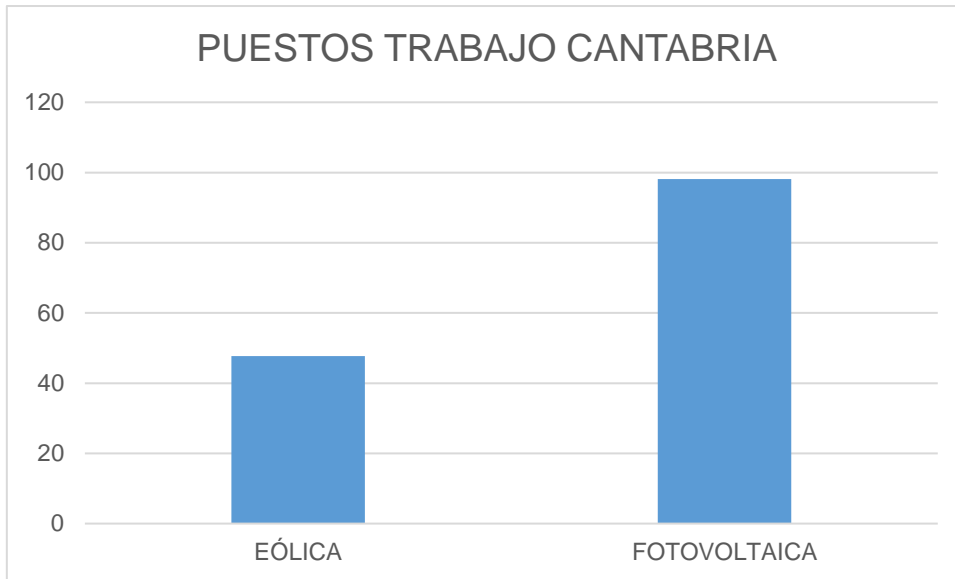


Figura 25: Puestos Trabajo Totales Cantabria

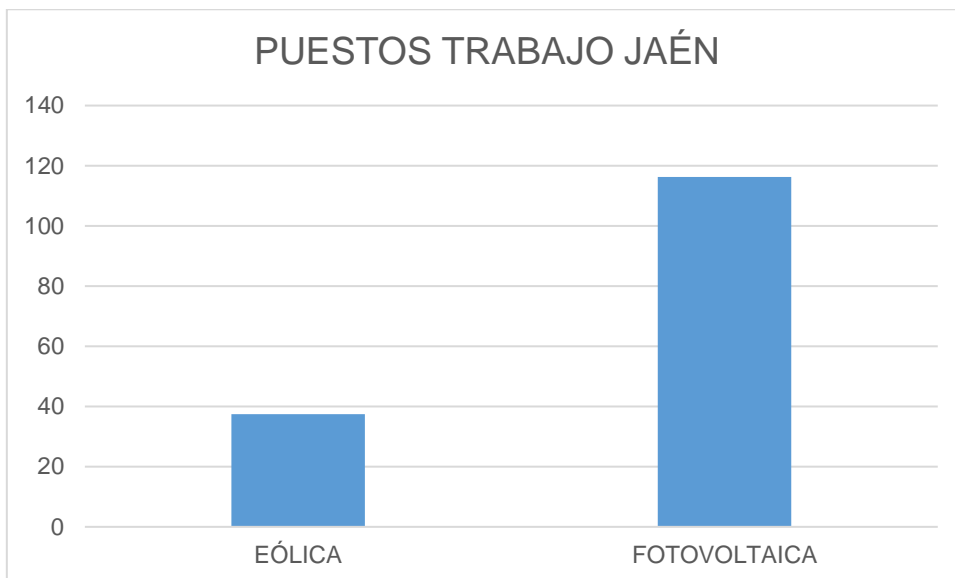


Figura 26: Puestos Trabajo Totales Jaén

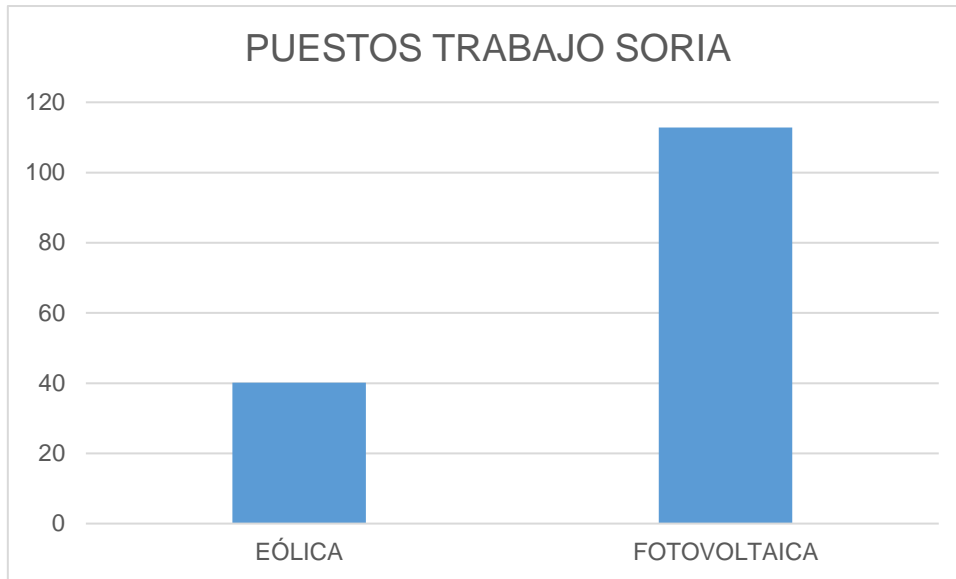


Figura 27: Puestos Trabajo Totales Soria

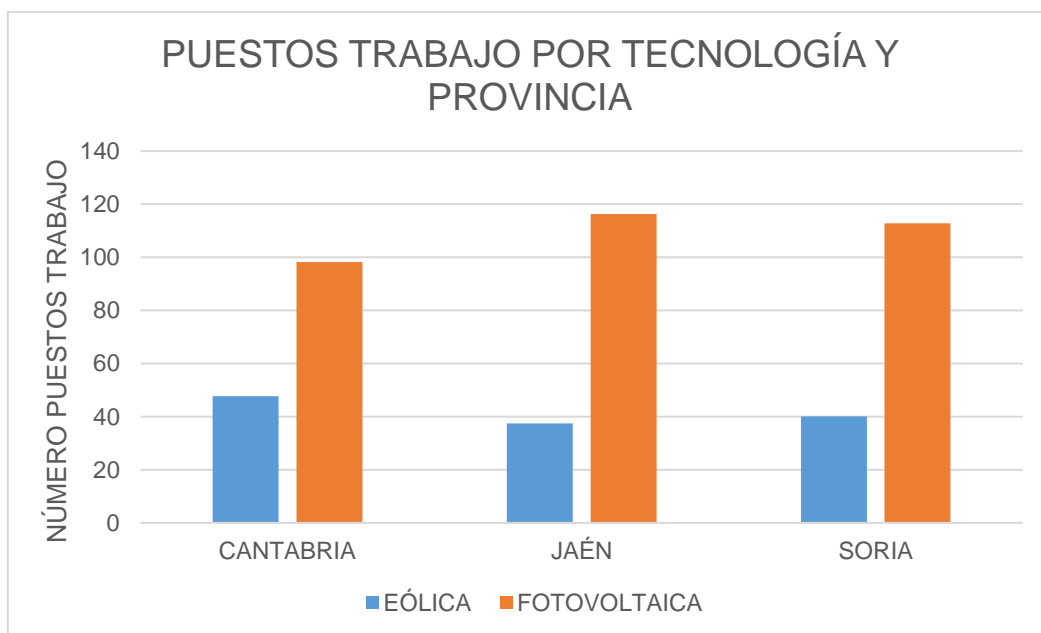


Figura 28: Puestos de Trabajo Totales por Tecnología y Provincia

Lo mismo ocurre en el apartado económico, en todas las provincias hay un coste normalizado de generación (LCOE) superior para la eólica que, para la fotovoltaica, haciendo que esta última sea más rentable.

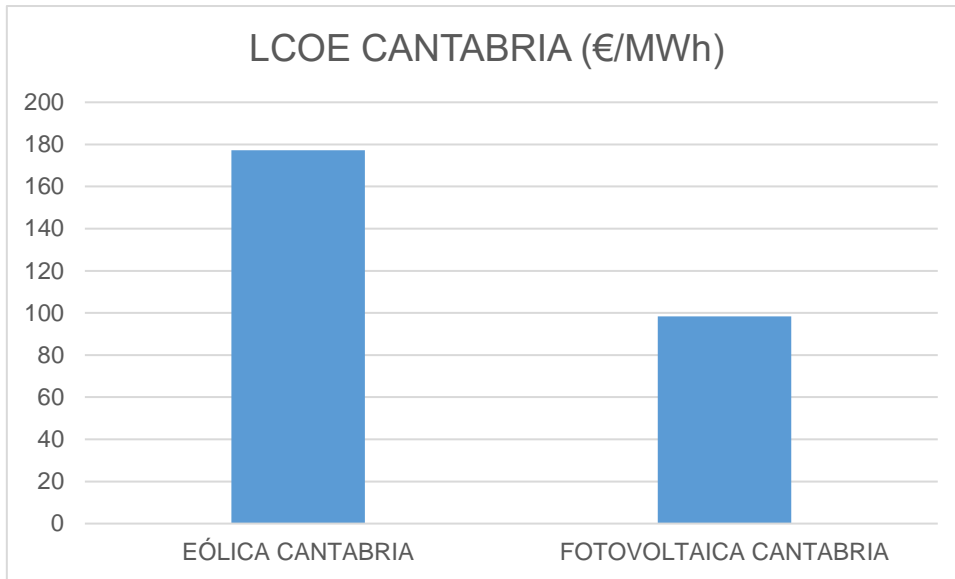


Figura 29: LCOE Cantabria

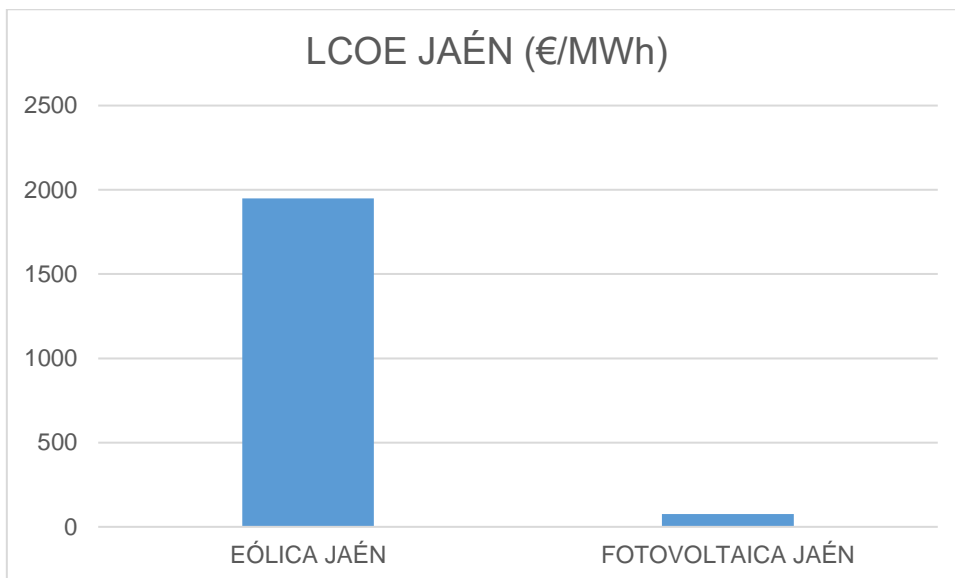


Figura 30: LCOE Jaén

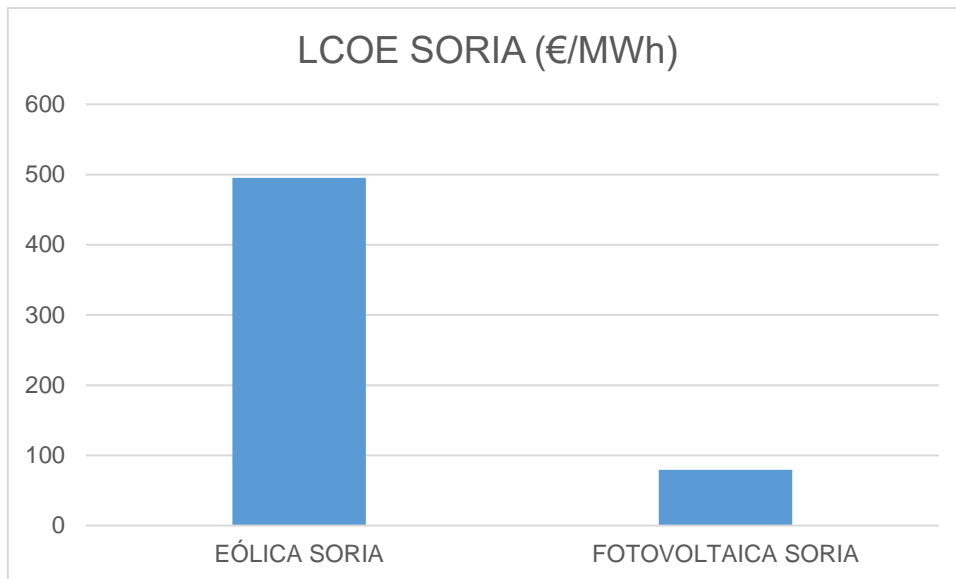


Figura 31: LCOE Soria

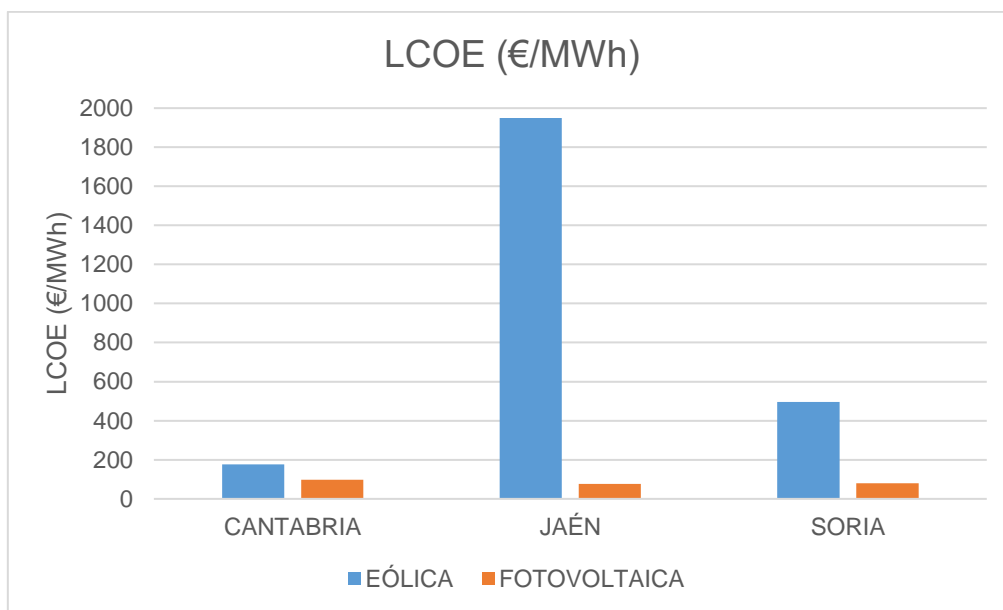


Figura 32: LCOE por Tecnología y Provincia

Por lo tanto, en Cantabria. Ninguna de las dos energías alcanza la sostenibilidad en lo económico, con un LCOE superior al LROE en ambos casos. Por tanto, cualquiera de las dos necesitaría de las ayudas gubernamentales para poder operar. Suponiendo que el esfuerzo para alcanzar dicha sostenibilidad fuese el mismo (no lo es, la eólica está bastante más lejos de lograrlo) debería decidirse a cuál de los otros dos factores se le quiere dar prioridad. Y es que la eólica

arroja mejores resultados en lo medioambiental y la fotovoltaica en lo social para esta región. Al no haber establecido en ningún momento un orden de impactos, resulta difícil elegir en esta provincia sobre la idoneidad de la una sobre la otra, ya que el emplazamiento cercano al mar requiere cuidado con el tema medioambiental, pero la situación del área de Torrelavega en lo social es de lo más precaria.

En Jaén, la elección resulta mucho más sencilla. La fotovoltaica se impone en los tres registros, medioambiental, social y económicamente, y además es sostenible, estando la eólica muy lejos de esa condición. Por lo tanto, la fotovoltaica es la recomendada para esta provincia.

Finalmente, en Soria, pese a que el impacto medioambiental es mayor en la fotovoltaica que en la eólica, la primera se impone con claridad en los otros dos apartados. Alcanzando la sostenibilidad en lo económico, la fotovoltaica ofrece además casi tres veces los puestos de trabajo de la eólica, lo que resulta muy importante dada la demografía de la comarca, que cuenta con muy pocos habitantes.

11. ANEXO OBJETIVOS ODS

Naciones Unidas establece que, para conseguir salir de la pobreza, se debe promover un crecimiento económico inclusivo, creando empleos sostenibles y promoviendo la igualdad. Esta situación afecta a 793 millones de personas, que viven por debajo del umbral de pobreza, con 1,90 € diarios.

A lo largo de este trabajo se ha recalcado en varias ocasiones que uno de los puntos clave para la posible instalación de las centrales en las provincias seleccionadas es la creación de empleo. Así pues, aunque probablemente la población española no presente el nivel de pobreza al que se refiere la ONU, dicha creación de empleo puede favorecer en gran medida a la economía de localidades y comarcas que se estaban quedando sin modos de obtener un sustento. Por lo tanto, este objetivo es aplicable a los principios y objetivos que persigue el proyecto.

“De aquí a 2030, mejorar la calidad del agua reduciendo la contaminación, eliminando el vertimiento y minimizando la emisión de productos químicos y materiales peligrosos, reduciendo a la mitad el porcentaje de aguas residuales sin tratar y aumentando considerablemente el reciclado y la reutilización sin riesgos a nivel mundial.” (Naciones Unidas, 2017)

Ésta es una de las metas propuestas por las Naciones Unidas para su sexto objetivo, lograr agua limpia y modos de saneamiento para cuanta más gente mejor. Para ello, la sustitución en el mix de energías de combustibles fósiles por energías eólicas o fotovoltaicas como las de este texto ayudarían en gran medida a no emitir residuos o contaminación que provoque lluvia ácida. De esta forma, el agua se mantendría mucho más limpia y podría llegar a más personas sin necesidad de un saneamiento tan exhaustivo como ahora.

“Trabajar para alcanzar las metas de este objetivo es especialmente importante ya que afecta directamente en la consecución de otros objetivos de desarrollo sostenible. Es vital apoyar nuevas iniciativas económicas y laborales que aseguren el acceso universal a los servicios de energía modernos, mejoren el rendimiento energético y aumenten el uso de fuentes renovables para crear

comunidades más sostenibles e inclusivas y para la resiliencia ante problemas ambientales como el cambio climático.” (Naciones Unidas, 2017)

Con ésta declaración de intenciones de su séptimo objetivo (Energía asequible y no contaminante), la Organización de Naciones Unidas se posiciona totalmente a favor de los fundamentos de este proyecto. Lo que se ha perseguido a lo largo de todo su desarrollo ha sido precisamente la creación de una sociedad o comunidad en localizaciones donde las posibilidades de trabajo escaseaban. Además, esto se ha hecho a través de la instalación de plantas de fuentes renovables, por lo que colabora con la reducción del impacto y del cambio climático.

Este problema del acceso a la energía afecta en mayor medida, como era de esperar, a los países menos desarrollados. La mayoría de la población que aún no puede cocinar utilizando fuentes no contaminantes y sistemas eficientes se localizan en Asia o en África subsahariana. Además, desde la ONU se anima a colaborar con las energías emergentes mediante inversiones públicas, lo cual también se ha mencionado en el proyecto, ya que en España existen dichas retribuciones específicas. Así pues, todo lo revisado en el trabajo muestra signos de estar avanzando en la dirección correcta en este objetivo, pero las organizaciones internacionales deberán pensar cómo solventar este problema en países donde impera la pobreza y no se pueden permitir grandes obras ni financiaciones.

En esta línea de mejorar las condiciones de vida y el crecimiento económico sin dañar el medioambiente se encuentra el octavo objetivo de los ODS. Este objetivo busca el crecimiento a partir de la posibilidad de encontrar un trabajo digno y que permita vivir fuera de la situación de pobreza al mayor número de personas posible. Así, problemas como la brecha salarial, el empleo no regulado o la dificultad para acceder a un primer empleo son algunas de las problemáticas más comunes hoy en día.

Por lo tanto, la importante creación de empleo que provocan las plantas instaladas (hay algún caso en el que ya hemos visto que no es demasiado significativa) contribuye en gran medida a relanzar la economía y el acceso a

empleos decentes para un cierto número de personas que, de otra manera, tendrían que emigrar para encontrar un futuro y una forma de ganarse la vida.

Otro objetivo que puede estar alineado con lo que se persigue en este estudio es el noveno. Quizá cueste más encontrar la relación, pero para que la industria y la creación de infraestructuras prosperen, es necesario que la eficiencia energética mejore y que se disponga del mayor número posible de recursos diferentes. Es decir, la innovación en energía posibilita la creación de industria e infraestructuras y hace que se pueda conseguir una economía robusta con buenos transportes, regadíos, tecnologías de la información y comunicaciones, entre otros atributos importantes.

De cara a cumplir con el objetivo número 12, “Producción y Consumo Responsables”, de lo que se trata según la ONU es de fomentar el uso eficiente de los recursos y la energía, la construcción de infraestructuras que no dañen el medio ambiente, la mejora del acceso a los servicios básicos y la creación de empleos ecológicos, justamente remunerados y con buenas condiciones laborales. (Naciones Unidas, 2017)

Es decir, la palabra que se busca es eficiencia. Se busca generar lo más posible usando cuantos menos recursos mejor. Existe una gran preocupación por la situación en la que van a quedar las generaciones futuras. Para que esta situación tenga mejores perspectivas, se trazan planes de desarrollo, con objetivos a cumplir en el futuro, pero de nada sirven si no se concientiza a los consumidores y al resto de integrantes de la cadena de producción.

A raíz de un par de datos, se puede extraer que el consumo de energía va a seguir yendo en aumento y que, de continuar el avance demográfico previsto para 2050, harían falta tres planetas Tierra para conseguir los recursos que permitiesen mantener el nivel de vida actual. Por lo tanto, las renovables han de jugar un papel fundamental para evitar que esto suceda.

En la mentalidad que se pretende instaurar del más por menos, es decir, de tratar de seguir generando bienes y servicios sin desgastar tanto el medio ambiente, la instalación de estas centrales, que no necesitan la extracción de ningún tipo de combustible, en tierras de las que actualmente se obtiene una rentabilidad mucho menor, por no decir inexistente, supondría un avance y un camino a

seguir para la consecución de este objetivo. Por otro lado, se debe ser cuidadoso en la elección del emplazamiento, ya que no se puede permitir que la obsesión por las renovables acabe con otros recursos importantes mediante la tala indiscriminada de árboles o la alteración del hábitat de algunas determinadas especies, como bien señala el objetivo número 15 (“Vida de Ecosistemas Terrestres”), que avisa de la deforestación y la desertificación como dos de las grandes amenazas para el desarrollo sostenible.

Por último, el que quizá sea el objetivo que más obviamente concuerda con la instalación de plantas renovables es el número 13, que habla de la “Acción por el Clima”. El cambio climático está cada vez más presente y está provocando la crecida de los océanos y el aumento de las temperaturas. Y todo esto se debe, en gran medida, a la emisión de gases de efecto invernadero, la cual se encuentra en su pico más alto de la historia. Esta situación no es para nada sostenible en el futuro y por ello, para fortalecer la respuesta global a la amenaza del cambio climático, los países adoptaron el Acuerdo de París en la COP21 en París, que entró en vigor en noviembre de 2016. (Naciones Unidas, 2017)

Así pues, la respuesta debe ser coordinada y en ella juegan un papel vital las energías renovables, que no emiten gases contaminantes y que tienen que ser las impulsoras de un cambio de tendencia que permita que el planeta siga en condiciones de ser habitable para las generaciones futuras.

Así pues, como conclusión de este anexo, puede determinarse que el proyecto está muy relacionado y en concordancia con los Objetivos del Desarrollo Sostenible, ya que es útil para la consecución de la mayoría de ellos. Por tanto, desde este punto de vista de la ONU, la instalación de las plantas de energías renovables sería del todo recomendable y supondría un ejemplo a seguir para la generación de empleo, la erradicación de la pobreza y la mejora en la salud del medioambiente.

12. ANEXO INVENTARIO DATOS CENTRAL EÓLICA

12.1. EXTRACCIÓN Y FABRICACIÓN

EXTRACCIÓN Y FABRICACIÓN			
COMPONENTES DE TURBINAS V112			
Clasificación Materiales VDA	Cantidad (toneladas)		SimaPro Categoría Material
	10 Turbinas	1 Turbina	
Materiales de acero y hierro (sin especificar)	2,43	0,243	Iron-nickel-chromium alloy, at plant/RER U
Materiales baja aleación y sin alear	2010,3	201,03	Steel, low-alloyed (GLO); market for; Alloc Def, U
Alta aleación	436,97	43,697	Steel, chromium steel 18/8 (GLO); market for; Alloc Def, U
Hierro fundido, aleaciones ligeras, aleaciones fundidas y forjadas	657,58	65,758	GG15I
Aluminio y aleaciones de aluminio	34,243	3,4243	Aluminum, ingots I
Cobre	48,49	4,849	Copper I
Aleaciones de cobre	0,091	0,0091	Copper, primary, at refinery/GLO U
Aleaciones de zinc	0,003	0,0003	G-ZnAlCu I
Metales especiales	0,000909	0,0000909	None founded
Termoplásticos	68,79	6,879	ABS I
Elastómeros termoplásticos	3,64	0,364	ABS I
Elastómeros/elastómeros	12,73	1,273	ABS I

Duromers	26,67	2,667	ABS I
Compuestos poliméricos	98,182	9,8182	Poly lactide, granulate at plant/GLO U
Lacas	7,58	0,758	Acrylic varnish, 87,5% in H ₂ O at plant/RER S
Adhesivos, selladores	0,073	0,0073	Foam glass plant/BE/I U
Materiales naturales modificados	1,52	0,152	Chemical plant, organics/RER/I U
Cerámica/vidrio	240	24	Sanitary ceramics, at regional storage/CH U
Otros materiales	30,31	3,031	Sanitary ceramics, at regional storage/CH
Electrónica	10,31	1,031	Electronic component machinery, unspecified/GLO/I U
Electricidad	8,79	0,879	Electricity, (JO-MB); unspecified; GLO; I U
Imanes	4,85	0,485	Magnetite, at plant/GLO U
Lubricantes	12,73	1,273	Lubricating Oil, at plant/RER U
Otros combustibles y medios auxiliares	0,073	0,0073	Diesel Stock CH U
TOTAL	3716,1	371,61	

Tabla 32: Inventario Extracción y Fabricación

CANTIDAD DE ENERGÍA CONSUMIDA POR FASE			
Fase/Parte	Energía Consumida (kWh)	Fuente Datos	Categoría en SimaPro
Adquisición materiales	7,86 x 10 ⁵	Vestas, 2011	Electricity, medium voltage (JO-MB), market for, Alloc Def, U
Fabricación	3 x 10 ⁶	Vestas, 2011	

Tabla 33: Energía Extracción y Fabricación

12.2. TRANSPORTE E INSTALACIÓN

DISTANCIAS DE TRANSPORTE						
Elementos	Origen	Destino	Distancia Carretera (km)	Distancia Mar (km)	Cantidad	Peso (tons)
Aspas	Daimiel (España)				30	1,1
		Cantabria	620			
		Soria	390			
		Jaén	160			
Nacelle	Ringkobing (Denmark)				10	31,5
		Cantabria	0	2000		
		Soria	320	2000		
		Jaén	780	2000		
Generador	Viverio, Lugo (España)				10	
		Cantabria	360			
		Soria	620			
		Jaén	920			
Torres	Pueblo, CO (USA)				10	28,4
		Cantabria	2660	6000		
		Soria	2980	6000		
		Jaén	3440	6000		

Tabla 34: Inventario Transporte

COMPONENTES CIMENTACIÓN			
Material	1 Turbina	10 Turbinas	Categoría Material SimaPro
Hormigón en el pedestal (m3)	13	130	Concrete block (GLO); market for; Alloc Def, U
Hormigón en losa (m3)	386	3860	Concrete block (GLO); market for; Alloc Def, U
Hormigón cegador (m3)	32	320	Concrete block (GLO); market for; Alloc Def, U
Volumen de la excavación (m3)	807	8070	
Volumen de relleno (m3)	379	3790	
Acero (kg)	37136	371360	Steel, low-alloyed, hot rolled (GLO), market for, Alloc Def, U

Tabla 35: Inventario Cimentación

CABLEADO DE LAS TURBINAS V112		
Material	Masa (kg)	Categoría Material SimaPro
Cobre	3636,363636	Copper (GLO); Market for; Alloc Def, U
Aluminio	28787,87879	Aluminum, primary, ingot (GLO); market for; Alloc Def, U
Polímero	5454,545455	Polyethylene, LLDPE, granulate, at plant/kg/RER
Materiales de acero y hierro	4242,424242	

Tabla 36: Inventario Cableado

CANTIDAD DE ENERGÍA CONSUMIDA POR FASE			
Fase/Parte	Energía Consumida (kWh)	Fuente Datos	Categoría en SimaPro
Transporte	2,78 x 10 ^5	Cálculo	Electricity, medium voltage (JO-MB), market for, Alloc Def, U
Instalación	7,1 x 10^5	Cálculo	

Tabla 37: Energía Transporte e Instalación

12.3. OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO

CANTIDAD DE LUBRICANTE PARA OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO			
Tiempo de Vida	Número de Veces Mantenimiento	Cantidad de Lubricante	Categoría Material SimaPro
20 años	4	400	Lubricating oil (GLO);market for; Alloc Def, U
25 años	5	400	
30 años	6	400	

Tabla 38: Inventario Operación y Mantenimiento

CANTIDAD DE ENERGÍA CONSUMIDA POR FASE			
Fase/Parte	Energía Consumida (kWh)	Fuente Datos	Categoría en SimaPro
Operación y Mantenimiento	1,2 x 10 ⁶	Cálculo	

Tabla 39: Energía Operación y Mantenimiento

12.4. FIN DE VIDA ÚTIL

TRATAMIENTO DE FIN DE VIDA DE LOS COMPONENTES DE LAS TURBINAS V112	
Material	Tratamiento
Aluminio	90% reciclado + 10% en los vertederos
Cobre	90% reciclado + 10% en los vertederos
Acero	90% reciclado + 10% en los vertederos
Polímeros	50 % incinerado + 50 % en vertedero
Lubricantes	100% incinerado
Otros desechos (incluido el hormigón)	100% en el vertedero

Tabla 40: Tratamiento Final de Vida

CANTIDAD DE ENERGÍA CONSUMIDA POR FASE			
Fase/Parte	Energía Consumida (kWh)	Fuente Datos	Categoría en SimaPro
Final de Vida	3,67 x 10 ⁵	Vestas, 2011	

Tabla 41: Energía Final de Vida

13. BIBLIOGRAFÍA Y REFERENCIAS

- Asdrubali, F., Baldinelli, G., D'Alessandro, F., & Scrucca, F. (2015). Life cycle assessment of electricity production from renewable energies: Review and results harmonization. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 42, 1113–1122. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2014.10.082>
- Asociación de Empresas de Energías Renovables (2018). Estudio del Impacto Macroeconómico de las Energías Renovables en España.
- Brundtland Commission 1987 our common world.pdf*. (n.d.).
- Burillo Cuadrado, M. P., Rubio Terrado, P., & Burillo Mozota, F. (2019). Estrategias frente a la despoblación de la Serranía Celtibérica en el marco de la política de cohesión europea 2021–2027. *Economía Agraria y Recursos Naturales*, 19(1), 83. <https://doi.org/10.7201/earn.2019.01.05>
- Campos-Guzmán, V., García-Cáscales, M. S., Espinosa, N., & Urbina, A. (2019). Life Cycle Analysis with Multi-Criteria Decision Making: A review of approaches for the sustainability evaluation of renewable energy technologies. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 104(January), 343–366. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2019.01.031>
- Chang, R. D., Zuo, J., Zhao, Z. Y., Zillante, G., Gan, X. L., & Soebarto, V. (2017). Evolving theories of sustainability and firms: History, future directions and implications for renewable energy research. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 72(July 2016), 48–56. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2017.01.029>
- Corona, B., & San Miguel, G. (2018). Life cycle sustainability analysis applied to an innovative configuration of concentrated solar power. *International Journal of Life Cycle Assessment*, 1444–1460. <https://doi.org/10.1007/s11367-018-1568-z>
- D'Souza, N., Gbegbaje-Das, E., & Shonfield, P. (2011). Life Cycle Assessment of Electricity Production from a Vestas V112 Turbine Wind Plant
- De la Rúa, C. (2009). Desarrollo de la Herramienta Integrada "Análisis de Ciclo

de Vida - Input Output" para España y aplicación a tecnologías energéticas avanzadas. Tesis Doctoral

García-gusano, D., Garraín, D., & Dufour, J. (2017). Prospective life cycle assessment of the Spanish electricity production. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 75(October 2016), 21–34. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2016.10.045>

Gomaa, M. R., Rezk, H., Mustafa, R. J., & Al-Dhaifallah, M. (2019). Evaluating the Environmental Impacts and Energy Performance of a Wind Farm System Utilizing the Life-Cycle Assessment Method: A Practical Case Study. *Energies*, 12(17), 3263. <https://doi.org/10.3390/en12173263>

Heijungs, R., Huppes, G., & Guinée, J. (2009). A scientific framework for LCA. *Deliverable D15 of the CALCAS Project (Http://Www. Calcasproject. Net or Http://Www. Estis. Net/Sites/Calcas/)*, 18(4), 375–385. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2009.10.020>

Hu, M., Kleijn, R., Bozhilova-Kisheva, K. P., & Di Maio, F. (2013). An approach to LCSA: The case of concrete recycling. *International Journal of Life Cycle Assessment*, 18(9), 1793–1803. <https://doi.org/10.1007/s11367-013-0599-8>

Instituto para la Diversificación y Ahorro de Energía (IDAE) (2011). Empleo Asociado al Impulso de las Energías Renovables.

Instituto para la Diversificación y Ahorro de Energía (IDAE) & BCG (2011). Evolución Tecnológica y Prospectiva de Costes de las Energías Renovables.

IRENA. (2013). *Renewable Energy and Jobs*. (May), 12.

IRENA. (2016a). *Renewable Energy Benefits: Understanding the Socio-Economics*. 1–16. Retrieved from https://www.irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2017/Nov/IRENA_Understanding_Socio_Economics_2017.pdf?la=en&hash=C430B7EF772BA0E631190A75F7243B992211F102

IRENA. (2016b). *Renewable Energy Statistics 2016 Statistiques D ' Énergie Renouvelable 2016 Estadísticas De Energía*. Retrieved from

IRENA. (2017). *IRENA RE Jobs Annual Review 2017*.

Iso, U. (2006). *española*.

Martínez Maturana, M. C. (2018). *Análisis de ciclo de vida de la generación de energía por carbón y paneles fotovoltaicos*. 59.

Miettinen, P., & Hämäläinen, R. P. (1997). How to benefit from decision analysis in environmental life cycle assessment (LCA). *European Journal of Operational Research*, 102(2), 279–294. [https://doi.org/10.1016/S0377-2217\(97\)00109-4](https://doi.org/10.1016/S0377-2217(97)00109-4)

PRé. (2019). *SimaPro Database Manual Methods Library Title: SimaPro Database Manual Methods Library Written by: PRé, various authors*. 75. Retrieved from <http://creativecommons.org/licenses/>

San Miguel, G., Corona, B., Ruiz, D., Landholm, D., Laina, R., Tolosana, E., ... Cañellas, I. (2015). Environmental, energy and economic analysis of a biomass supply chain based on a poplar short rotation coppice in Spain. *Journal of Cleaner Production*, 94, 93–101. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2015.01.070>

Sumper, A., Robledo-García, M., Villafáfila-Robles, R., Bergas-Jané, J., & Andrés-Peiró, J. (2011). Life-cycle assessment of a photovoltaic system in Catalonia (Spain). *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 15(8), 3888–3896. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2011.07.023>

Unidas, N. (2017). Agenda 2030 y los Objetivos de Desarrollo Sostenible. Una oportunidad para América Latina y El Caribe. *“Patrimonio”: Economía Cultural Y Educación Para La Paz (Mec-Edupaz)*, 1(11).

Wagner, H. J., Baack, C., Eickelkamp, T., Epe, A., Lohmann, J., & Troy, S. (2011). Life cycle assessment of the offshore wind farm alpha ventus. *Energy*, 36(5), 2459–2464. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2011.01.036>

Zamagni, A., Buttol, P., Buonamici, R., Masoni, P., Guinée, J. B., Huppés, G., ... Rydberg, T. (2009). Blue Paper on Life Cycle Sustainability Analysis. Revision 1 after the open consultation. *Deliverable 20 of Work Package 7 of*

the CALCAS Project, 103(037075), 11154–11159. Retrieved from http://www.ncbi.nlm.nih.gov/entrez/query.fcgi?cmd=Retrieve&db=PubMed&dopt=Citation&list_uids=16849428

Zaragoza, E. (2019). *PROYECTO ADMINISTRATIVO PARQUE FOTOVOLTAICO LA PEÑAZA 3*.

14. PÁGINAS DE CONSULTA

- <https://www.enair.es/es/app>
- <https://energiacasera.wordpress.com/2009/11/23/estimando-la-produccion-de-un-aerogenerador/>
- <https://blogs.publico.es/ignacio-martil/2018/07/06/las-bases-cientificas-de-la-energia-eolica/>
- <http://nozebra.ipapercms.dk/Vestas/Communication/Productbrochure/4M/Wbrochure/4MWProductBrochure/?page=10>
- <https://www.woespana.es/weather/maps/city?FMM=1&FYY=2000&LMM=12&LYY=2019&WMO=08023&CONT=eses®ION=0005&LAND=ES2&ART=WST&R=0&NOREGION=0&LEVEL=162&LANG=es&MOD=tab>
- <https://es.weatherspark.com/y/36637/Clima-promedio-en-Ja%C3%A9n-Espa%C3%B1a-durante-todo-el-a%C3%B1o>
- <https://www.energynews.es/pvgis-produccion-fotovoltaica/>
- https://www.vestas.com/en/about/find_vestas#!production
- <https://www.tutiempo.net/calcular-distancias.html>
- www.marinetraffic.com
- <https://www.pv-magazine.com/2019/02/27/inside-jinkosolars-us-factory-2/>
- <https://www.sfe-solar.com/baterias-solares/manual-calculo/>
- https://es.wikipedia.org/wiki/Santillana_del_Mar#Poblaci%C3%B3n_y_orde%C3%B1aci%C3%B3n_urbana
- <https://es.wikipedia.org/wiki/Hinojedo>
- https://es.wikipedia.org/wiki/Sorihuela_del_Guadalimar
- https://es.wikipedia.org/wiki/La_Ventosa_de_Fuentepinilla
- <https://simapro.com/wp-content/uploads/2019/02/DatabaseManualMethods.pdf>
- https://re.jrc.ec.europa.eu/pvg_tools/en/tools.html#PVP
- <https://www.aeeolica.org/sobre-la-eolica/la-eolica-espana/mapa-eolico>

- <https://elperiodicodelaenergia.com/espana-posee-la-mayor-planta-fotovoltaica-de-europa-northleaf-conecta-la-mula-de-494-mw-de-potencia-en-murcia/>
- https://es.wikipedia.org/wiki/Energ%C3%ADa_solar_en_Espa%C3%B1a
- <https://www.scitecheuropa.eu/the-benefits-of-renewable-energy/98815/>
- <https://www.evwind.com/2020/04/27/la-eolica-genera-14-233-gwh-en-el-primer-trimestre-de-2020-el-234-de-la-generacion/>
- <https://www.ree.es/es/sala-de-prensa/actualidad/especial/2020/04/el-primer-trimestre-de-2020-anticipa-una-revolucion-verde>
- <https://elperiodicodelaenergia.com/asi-ha-bajado-el-coste-de-la-eolica-en-europa-la-terrestre-se-situa-en-14-millones-por-mw-mientras-que-la-marina-ya-esta-en-25-millones-por-mw/>
- https://www.elespanol.com/reportajes/20200223/sniace-muere-torrelavega-agoniza-revilla-llevando-ferreras/469453526_0.html
- <http://www.cajaruraljaen.com/indicadoresdesarrollo/municipios/sorihuela-del-guadalimar/>
- http://soria-goig.com/Pueblos/pag_0579.htm
- <https://www.epdata.es/datos/poblacion-inmigrantes-emigrantes-otros-datos-habitantes-cada-municipio/3/quintana-redonda/5902>
- <https://inomics.com/es/insight/the-economic-benefits-of-renewable-energy-1391619>
- <https://www.renewableenergymagazine.com/emily-folk/the-many-economic-benefits-of-renewable-energy-20190312>
- <https://tarifasgasluz.com/faq/pvpc>
- <http://energia.renovetec.com/energias-renovables/294-comparativa-de-costes-de-las-energias-renovables>
- <https://www.pv-magazine.es/2020/04/07/ya-hay-5835-gw-de-energia-fotovoltaica-operativa-en-todo-el-mundo/>
- <https://www.interempresas.net/Energia/Articulos/300619-Mas-60-GW-potencia-eolica-instalada-mundo-2019-convierten-segundo-ano-mas-grande-historia.html>
- <https://avatarenergia.com/parques-eolicos-en-espana/>
- <https://autosolar.es/pdf/Ficha-Tecnica-Jinko-Solar-305-330W.pdf>

- <https://www.ipcc.ch/report/sixth-assessment-report-cycle/>