



Universidad
Zaragoza

Trabajo Fin de Grado

Título del trabajo: Creación de empleo de la
energía eólica en España

Autor:

Alejandro Urmeneta Floristán

Director:

Jorge Bielsa Callau

Facultad de Economía y Empresa

2022

Contenidos

- 1. Introducción.**
- 2. Metodología**
 - 2.1. Cuantificación del coste de aumentar la capacidad energética.**
 - 2.2. Cálculo creación empleo efectivo por potencia instalada.**
 - 2.3. Estimación potencia eólica para 2030 y 2040.**
- 3. Resultados.**
- 4. Conclusiones.**
- 5. Referencias.**

1. Introducción.

El mundo en el que vivimos está en constante cambio y desde hace siglos hemos llevado a cabo un proceso de carbonificación de la producción, en la que la economía global dependía hasta hace unas pocas décadas exclusivamente de energías “sucias” que no solo contaminan el planeta, sino que crea una interdependencia económica para con los países productores de estas economías. Durante la primera revolución industrial (1760-1840), el carbón abanderó la producción, durante la segunda Revolución Industrial (1870-1914) fue sustituido por el gas y el petróleo, posponiendo para generaciones venideras la aparición de nuevas fuentes de energía de tipo sostenibles. Las economías desarrolladas han cambiado mucho sus estructuras energéticas, la forma de obtener y consumir energía.

Este trabajo busca entender cuáles son los costes totales efectivos de realizar toda la instalación necesaria para aumentar las capacidades eólicas en España. Por otra parte, tiene como objetivo estimar la creación potencial de empleo y la creación de valor en forma de empleos permanentes de la industria eólica dentro de España.

Dicho TFG ha sido redactado por un estudiante de Economía que, a través de la investigación y revisión de otros trabajos y estudios, intenta calcular el empleo que va a generar la energía eólica en un futuro en el que España sea responsable respecto a la transición energética y la lucha mundial contra el cambio climático.

España ha sido históricamente dependiente en términos de energía respecto a otros países que sí que producían este tipo de energías y de los que tenía que importarla, llegando a inducir la economía a la superinflación que produce su escasez junto a su distintivo de bien de primera necesidad que le da su rigidez en la elasticidad demanda. Esta escasez crea crisis de oferta como la que vivimos en España en el año 1973 (la economía dependía un 70% del petróleo es decir de la por aquel entonces la recién formalizada OPEP que realizó su primer recorte suministro para aumentar los precios del barril de petróleo) o como la inflación que vivimos a día de hoy producida

principalmente en la crisis de abastecimiento de gas natural y petróleo ruso, que afecta a toda la economía global en su conjunto y especialmente a la europea.

No obstante, esta última crisis, podría ser peor si Europa no estuviera realizando un proceso de descarbonización. Gracias a la introducción de nuevos métodos para la producción de energía renovable, Europa ya no es sistemáticamente dependiente de países productores de combustibles fósiles como el petróleo.

España, la cual, como he explicado, ha dependido históricamente de la importación de energía de otros países, tiene ahora la oportunidad de, gracias a la energía eléctrica que puede producir de forma sostenible a través de tecnologías renovables como la eólica (primera fuente energética renovable de España) o la solar principalmente, dejar de depender e importar sistemáticamente de otros países lo cual produce riesgo e incertidumbre a la economía, además esta transición económica es una oportunidad para reestructurar una economía la cual tiene problemas de desempleo y falta de trabajo intensivo en capital. En este trabajo de fin de grado cuantifico en términos de empleo la necesaria transición energética que debe realizar España en las próximas décadas.

La estructura de este trabajo será la siguiente; la segunda parte resume toda la metodología y procesos, así como los pasos que he seguido para conseguir los resultados a la vez que justifico las fuentes de las cuales he obtenido los datos relevantes, la sección tercera es una explicación detallada de los resultados, la cuarta parte un resumen de las conclusiones obtenidas y posible trabajo futuro y finalmente la quinta sección es la que concluye el trabajo con los anexos y las referencias bibliográficas.

2. Metodología

2.1. Cuantificación del coste de aumentar la capacidad energética.

La clave para la elaboración de este trabajo ha sido la recopilación de una alta variedad de fuentes tales como informes y estudios que aportaban los datos cualitativos necesarios.

En primer lugar, para obtener los costes de inversión en una determinada tecnología para generar energía proveniente del viento he utilizado la base de datos de IRENA (2021)[1] que proporciona los costes totales promedios ponderados por capacidad de generación energética, de invertir en energía eólica terrestre por cada kW en dólares estadounidenses (USD/kW), para proyectos localizados en Europa, puestos en contraste con la estimación de IEA (Agencia Internacional de la Energía) realizada en el estudio “New policies scenario”, predecía que en la década de 2030 la media de los costes por kW serían unos 1548 [€/kW] y en la década de 2040 unos 1515 [€/kW].

[Tabla 1] Costes por kw según diversos estudios.

Unidades	IRENA (\$)	IEA NPS	IEA NPS
[\$/kW]	2020	2030	2040
Eólica Terrestre	1515	1.548	1.512

(Elaboración propia a partir de IRENA (2021) Y IEA (2021)).

Obtenemos que el coste actual y futuro de construir la infraestructura media para generar energía eólica terrestre está medida en \$/kW los cuales para transformarlos en MW que es la unidad que utilizaremos a lo largo de este estudio tendríamos que multiplicarlo por 1000 [\$/kW * 1000 = \$/MW].

Por otro lado, queremos contrastar el efecto que tiene un millón de dólares sobre el empleo, deberemos pasar la anterior medida a millón de \$ por Megavatio de capacidad instalada [Mi\$/MW] por lo que deberemos dividirlo otra vez por 1.000.000, lo que nos da cuánto dinero debemos invertir para tener un megavatio de capacidad actualmente y la estimación para las próximas dos décadas.

Finalmente, podremos conseguir los megavatios que se consiguen por cada millón de \$;

[Tabla 2] Capacidad instalada en MW por cada Mi\$ según diversos estudios.

Unidades	IRENA	IEA NPS	IEA NPS
[MW/Mi\$]	2020	2030	2040
Eólica Terrestre	0.6600	0.6459	0,6614

(Elaboración propia a partir de IRENA (2021) Y IEA (2021)).

Dado que se espera que el mismo nivel de inversión produzca más MW (abaratamiento de la tecnología eólica), se crearía menos empleos por cada millón de dólares invertidos. Conseguir la infraestructura objetivo para 2050 será más barata en términos de empleo, que si la alcanzásemos con la tecnología y costes actuales.

2.2. Cálculo creación empleo efectivo por potencia instalada.

Por otro lado, necesitamos conseguir cuantos empleos es capaz de crear una inversión de un millón de euros en esta industria tal y como está estructurada, en España, la industria de la energía eólica. Para ello, primero debemos saber cuál es la interdependencia del sector eólico español con los demás sectores de la economía. Para ello, existen dos herramientas que podríamos utilizar, la primera de ellas, la Matriz de Contabilidad Social (MCS) que permite evaluar los efectos de cambios exógenos sobre el sector de las energías renovables, pero al ser un modelo matricial que depende de la cuantificación del empleo del sector objeto de estudio, en este caso el eólico del que no disponemos una información estadística lo suficientemente precisa, elegiremos la segunda herramienta, el modelo input-output (Modelo IO), el cual es el más eficaz para estimar la creación de empleo directo e indirecto y es el que acaban utilizando la mayoría de estudios (Tourkolias, C. and Mirasgedis, S., 2011 [5]), (Hillebrand, H., 2005 [6]), (Caldés, N., 2009 [7]), (Allan, GJ., 2014 [8]) que analizan la creación de empleo y riqueza por parte de energías renovables en España y en todo el mundo, no obstante también tiene una serie de particularidades que producen ciertas desventajas sobre todo si estamos construyendo un modelo que determine la creación de empleo para las próximas décadas en España, como la no incorporación de la mejoría o abaratamiento

de las tecnologías, no tiene en cuenta tecnologías a escala, ni posibles cambios en la estructura o interdependencias entre actividades del sistema productivo en el futuro.

El funcionamiento del modelo IO, el cual fue desarrollado por Wassily Leontief es una matriz en el que se relaciona la cantidad de consumo que tiene que absorber una industria o sector de la economía para cada una de las restantes industrias de la economía para llevar a cabo su producción, esto nos permite evaluar la interdependencia de nuestro sector eólico respecto al resto de sectores de la economía así como la dependencia de exportar o importar bienes o servicios respecto a otros sectores de otros países del mundo, si ampliamos el modelo a IO multi-regional (MRIO). Este modelo nos ayudará a estimar los multiplicadores del empleo directo, indirecto.

Para esta parte del estudio utilizaremos parte de las conclusiones el estudio (Montilla, J., 2020 [2]). Los modelos IO en España nos los proporciona el mismo Instituto Nacional de Estadística (INE) o bien el World Input-Output Database (WIOD) pero como el sector de la energía eólica terrestre no ocupan ninguna categoría en estas bases de datos, utilizaremos los estudios que han realizado (Tegen, S., 2011 [17]), (I.E.A. (2012) [19]), (Veatch, B. (2012) [20]) sobre la interdependencia de este, respecto al resto de sectores de la economía.

[Tabla 3] Interdependencia eólica respecto a otros sectores de la economía según estudios.

Sector	Eolica (Tegen et al., 2013)	Eolica (IRENA., 2012)	Eolica (B & V., 2012)
Construcción	20,0%	27,6%	25,5%
Industria extractiva	3,0%	16,0%	
Fabricacion productos metalicos	16,0%	16,0%	34,0%
Maquinaria	37,0%		
Maquinaria y equipos electrónicos, recambios y componentes	15,0%	31,4%	34,0%
Transporte	3,0%		
Seguros y actividades relacionadas	3,0%		
Servicios profesionales, científicos y técnicos	2,0%	9,0%	4,0%
Direccion de compañías y empresas	1,0%		2,5%
Suma total	100,0%	100,0%	100,0%

(Elaboración propia a partir de Tegen (2013), IRENA (2012) y B&V (2012)).

Para estimar cuantos empleos podrá generar este aumento de la demanda en las diferentes actividades que son interdependientes de la eólica “podríamos sacar la

información de entrevistas con expertos, análisis financieros de la industria energética u otro tipo de fuentes de información, no obstante, utilizaremos los vectores de demanda creados en el estudio (Garrett-Peltier, H. (2017) [9]), que fue seleccionada de gran cantidad de bases de datos de proyectos como la ESCO. Una vez que construye el vector de costes estimables de la energía renovable debemos colocar cada elemento de la tabla 3 a un sector del modelo. Además, debemos crear desde nuestra tabla IO, un vector del comercio internacional que se distribuya por sectores.” “Para cuantificar el empleo efectivo creado a partir de la inversión en energías renovables utilizaremos una ampliación del modelo IO, el Multi regional MRIO, para convertir la matriz de Leontief del modelo IO a una matriz de empleo necesario” (Montilla, J., 2020 [2]); la fórmula para convertirla será;

$$EN = L(I-A)^{-1}$$

- Con L; Matriz diagonalizada de los vectores de empleo de cada sector.
- $(I-A)^{-1}$; Inversa de Leontief.
- EN; (Empleo necesario); Es la matriz resultante, determina cuanto empleo directo e indirecto que una economía es capaz de generar dada su estructura productiva al aumentar la demanda final efectiva.

El resultado de este modelo generará el número de empleos directos e indirectos (cada unidad de empleo directo e indirecto equivale a un trabajo a tiempo completo durante un año laboral), no obstante, para cuantificar la cantidad de empleos que no se crean de forma temporal, es decir que perduran durante en el tiempo mientras exista la necesidad de mantener y operar las instalaciones para generar la energía, existen diversos estudios que cuantifican la cantidad de empleos se necesitan de media respecto a la capacidad instalada (en MW).

[Tabla 4] Empleos O&M necesarios por cada MW de energía eólica.

Estudios / Artículos académicos.	O&M (Operative and Maintenance) (Nº Trabajos/MW)
Moreno and López [10].	0.2
Tourkolias and Mirasgedis [5].	0.375
Van der Zwaan, Cameron, and Kober [11].	0.6
Kahouli and Martin [12].	0.4
McKinsey [14] (in Wei et al.) [13]	0.18
Comings, Fields, Takahashi, and Keith [15].	0.4
Intervalo	(0.18-0.6)
Promedio	0.36

(Elaboración propia a partir de Tourkolias, C. (2011), Wei, M. (2010), Van der Zwaan, B (2013), Kahouli, S. (2018), McKinsey Consulting (2006), Moreno, B. (2008) Comings, T. (2014).

2.3. Estimación potencia eólica para 2030 y 2040.

Una vez hemos estimado cuantos empleos somos capaces de generar directa e indirectamente al invertir un millón de euros en gastos totales en la industria eólica en España y como ya sabemos cuántos megavatios es capaz de generar ese mismo millón de euros de media, seremos capaces de estimar cuantos empleos es capaz de generar la inversión total suficiente para producir un MW de tecnología eólica.

Una vez conocemos cuantos empleos crea esta industria por megavatio de capacidad instalada, debemos calcular cuanta capacidad necesita España para cumplir con los pactos a nivel nacional e internacional de cara a 2030; Pacto Nacional Integrado de Energía y Clima (2030), y de cara a 2050; Pacto Verde Europeo (2050)

Primero deberíamos analizar cuál es nuestra red de energía eólica instalada a nivel nacional actual, según los datos proporcionados por Red Eléctrica de España (REE, junio 2022), la instalación total de eólica terrestre conllevaría un total de 28.889 MW en un total de 1334 parques eólicos repartidos por todo el país. Según los datos aportados

en el PNIEC, la capacidad instalada para el año 2030 deberá llegar a los 48.300 MW de energía terrestre eólica, es decir que hasta entonces deberíamos instalar un total de 19.411 MW únicamente de aerogeneradores onshore.

Por otro lado, la Unión Europea, de cara a acelerar la transición ecológica creó el Pacto Verde Europeo, con “el objetivo vinculante de lograr la neutralidad climática de aquí a 2050. A tal fin, a lo largo de las próximas décadas habrá que reducir sustancialmente los niveles actuales de emisiones de gases de efecto invernadero.” Una manera de aminorar la emisión de gases nocivos va de la mano de la energía la cual según el estudio (Jacobson M.Z., 2021 [16]) para el año 2050, España debería tener en torno a 93.700 MW de instalados solo de eólica. Para cumplir con este pacto vinculante, en España se deberían construir unos 64.811MW, la diferencia entre la capacidad actual y la necesaria para para cumplir con el Pacto Verde Europeo 2050.

Dado que conocemos cuantos empleos directos e indirectos es posible crear a partir de la instalación de 1 MW dado la estructura actual de la economía española e internacional y unos costes actuales (2020) y futuros (2030 y 2050) somos capaces de estimar cuantas ocupaciones se podrán crear si finalmente cumplimos con los pactos tanto nacionales como internacionales en el futuro dadas las necesidades energéticas que estos requieren.

3. Resultados.

En este apartado, se presentan los principales resultados relevantes a partir de la metodología explicada, referencias y de la extracción de información desde bases de datos y estudios.

Organizaré los resultados en tres periodos; para 2020 (actualidad), para 2030 para cumplir con los objetivos de PNIEC y finalmente, para alcanzar la neutralidad climática en 2050 según los estándares recogidos en el Pacto Verde Europeo.

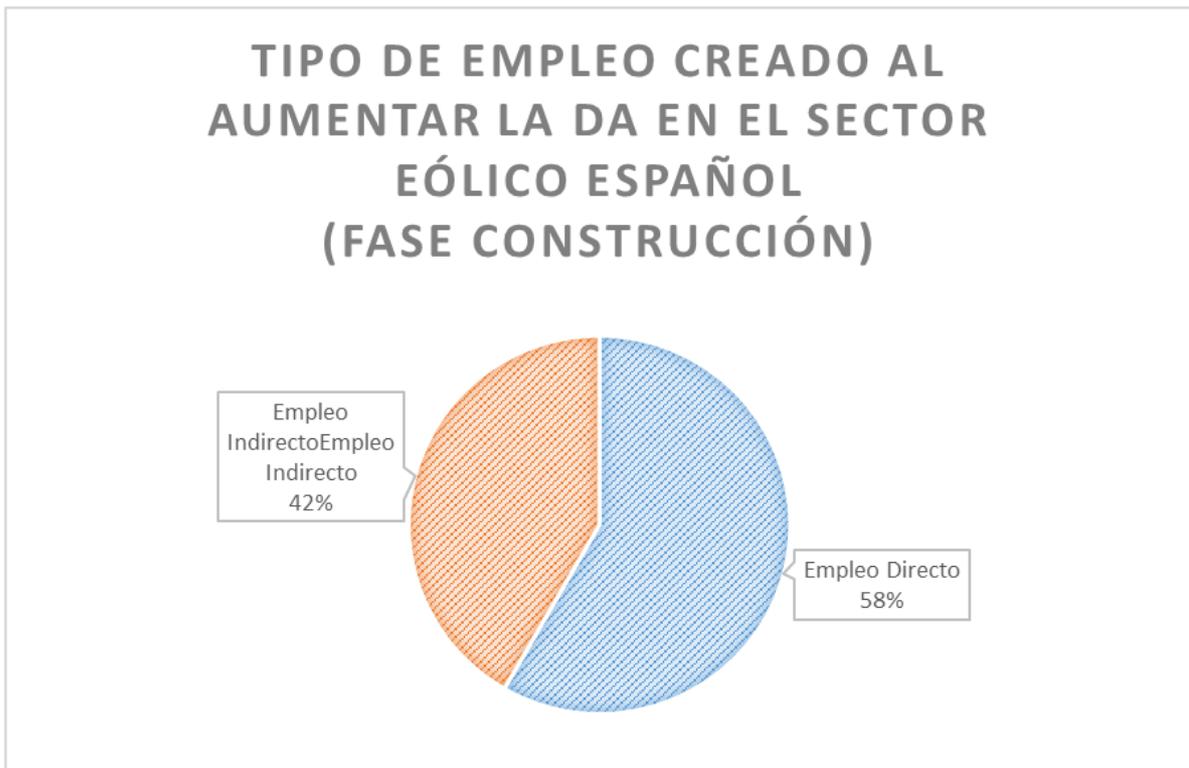
Utilizo los empleos creados para instalar un megavatio de eólica (Emp/MW) y la capacidad total que se necesita instalar en cada periodo, de esta manera estimamos los

empleos creados directos e indirectos en fase de construcción y los empleos permanentes.

Por un lado, los trabajos temporales (creados durante la fase de construcción) los distinguimos en dos tipos. Los empleos directos son aquellos necesarios durante la fase de construcción dentro de la propia industria eólica, mientras que los indirectos son los trabajos requeridos en otras industrias que dan soporte y proveen al sector eólico español. Por otro lado, los trabajos temporales son los encargados de la manutención y operatividad del sistema eólico.

Hace falta explicar que estos puestos de trabajo que estima nuestro modelo tienen una duración de un año trabajando a tiempo completo, es decir, 40 horas semanales durante un año.

[Gráfico 1] Creación empleo al aumentar la DA en el sector eólico español durante la fase de construcción).



(Elaboración propia)

2022

Por un lado, tenemos los datos aportados por la Agencia Internacional de las Energías Renovables, en el que proporciona los costes totales medios ponderados para 2020, de invertir una cantidad de un millón de dólares estadounidenses en tecnología eólica, en términos de capacidad eléctrica (MW); Indica que un millón de dólares (1 Mi. \$) en 2020 generaban un total de 0.66 de megavatios (MW); se producen según [9] un mínimo de 8.6 trabajos (5.036 trabajos directos; solo dentro de la industria eólica y 3.6 trabajos indirectos; creados en el resto de actividades productivas) si la inversión se realiza en España dada la estructura productiva actual de la industria renovable eólica a día de hoy.

Concluimos que, por cada megavatio de capacidad instalada en España, se pueden llegar a generar en torno a 13.03 empleos totales/MW; 7.63 empleos directos/MW; 5.45 empleos indirectos/MW.

$$\frac{Emp}{Mi\$} \div \frac{MW}{Mi\$} = \frac{Emp}{MW}$$

2030

Para 2030, España tiene aprobado desde 2021, el plan nacional Integrado de Energía y Clima (PNIEC, 2021-2030) con el objetivo de reducir las emisiones de gases que generan efecto invernadero (GEI) en torno a un 55% respecto a los niveles de 1990, para ello deberá alcanzar la impactante cifra de 48.300 MW de capacidad instalada de energía eólica onshore lo que, en contraste con la red eólica actual (28.889 MW) se necesitarán crear en torno a 19.411 MW en lo que termina la década.

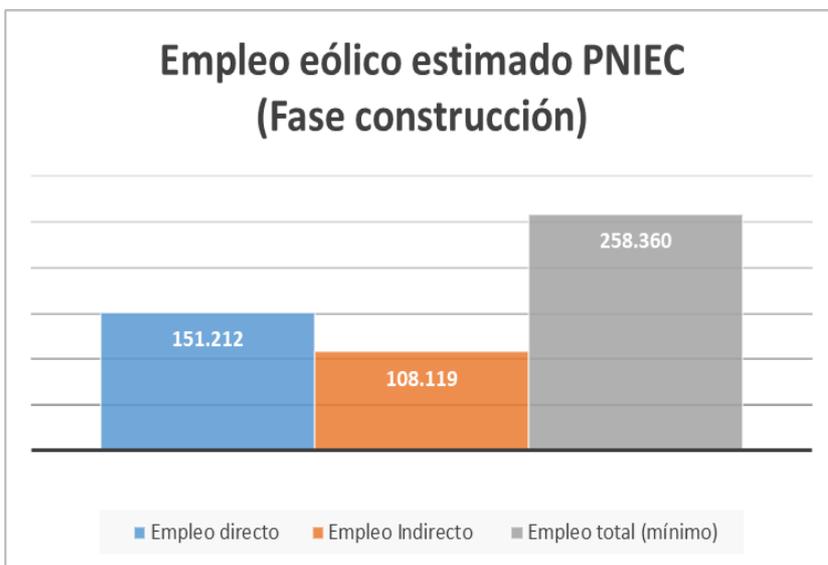
Para unos costes de instalación totales medios de 0.6459 MW por cada millón de dólares estadounidenses invertidos, se pueden llegar a generar en torno a 13.31 empleos totales/MW; 7.79 empleos directos/MW; 5.57 empleos indirectos/MW.

Para 2030 debemos aumentar la capacidad en 19.411 MW. Lo cual significa que podrían crear en torno a 258.360 empleos en fase de construcción totales en España (151.212 directos y 108.119 indirectos). Suponemos que la estructura productiva de la

industria y las interdependencias de esta con el resto de actividades de la economía permanecen constantes. Estas cifras serían para cumplir con el PNIEC tal y como está presentado el proyecto a junio de 2022.

Para mantener operativos esa nueva capacidad instalada de aerogeneradores, se necesitarán emplear a 6.988 personas nuevas que se encarguen a tiempo completo e indefinidamente de la operatividad y mantenimiento de las infraestructuras.

[Gráfico 2] Empleo eólico fase construcción estimado PNIEC.



(Elaboración propia)

2050

De cara a 2050, la Unión Europea firmó el Pacto Verde Europeo que persigue detener los efectos negativos del cambio climático y la degradación del medio ambiente en Europa. Una de las claves de este pacto es dejar de producir emisiones netas de efecto invernadero para 2050, el crecimiento económico este disociado al uso de recursos. Para ello, dicho pacto plantea que se debe llegar a la independencia respecto a los combustibles fósiles, nucleares, del carbón ni ningún biocarburante. Si queremos cumplir el pacto, deberemos actualizar nuestra potencia energética renovable, la

[Gráfico 3] Empleo eólico permanente PNIEC



(Elaboración propia)

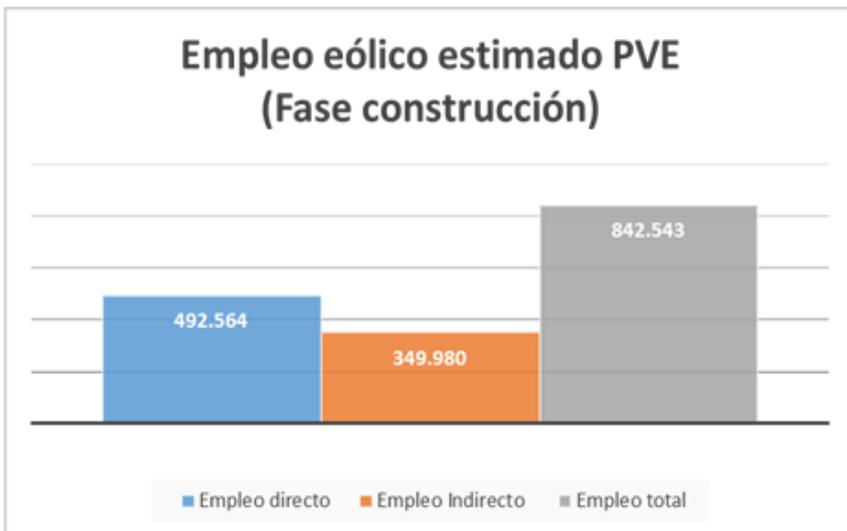
estimación de (Jacobson M.Z., 2021 [16]) calcula que necesitaremos una infraestructura eólica terrestre total de 93.700 MW.

Se estima que para 2040, debido al aumento de la eficiencia e introducción de nuevas tecnologías, se puedan obtener en torno a 0,6614 MW por cada millón de dólares estadounidenses (más MW/Mi \$), los cuales podrían generar unos 13 empleos totales, de los cuales 7.6 serían directos y 5.4 indirectos.

Para alcanzar este nivel productivo, España debe incorporar en torno a 64.811 MW en las próximas tres décadas, lo que conllevaría crear mínimo 842.543 empleos totales; de los cuales en torno a 492.564 serían directos y 349.980 indirectos, para alcanzar el Pacto Verde Europeo en su integridad para 2050.

En lo que respecta a los empleos permanentes, se crearían en torno a 23.332 trabajos indefinidos con el objetivo de mantener operativa la red eólica española.

[Gráfico 4] Empleo eólico fase construcción estimado PVE



(Elaboración propia)

[Gráfico 5] Empleo eólico permanente PVE



(Elaboración propia)

4. Conclusiones.

España encuentra en la energía eólica una oportunidad para generar (de forma transitoria, durante el periodo de construcción) un total de 842.543 puestos de trabajo de duración anual repartidos en las próximas casi tres décadas hasta 2050. De todos estos empleos, 492.564 se crearían en la propia industria mientras que el resto, 349.980 serían en otras relacionados con esta, como la minera o la industria de transporte; industrias que actúan como proveedoras y crean la cadena de suministro para la eólica. Dichos empleos anuales, son los necesarios para construir el sistema eólico español necesario para cumplir los objetivos europeos de cambio climático en 2050 y ser neutros en emisiones de efecto invernadero.

El modelo estima que se requerirán en torno a 23.332 empleos especializados en la operatividad y mantenimiento de la industria eólica española extra respecto a junio de 2022. Dichos empleos especializados, representan justamente el tipo de vacante para trabajo cualificado que la economía española le resulta especialmente complicado crear.

La energía eólica ayudaría a reducir el desempleo el cual es uno de los mayores problemas económicos sistemáticos del país, además de aumentar la producción total durante las próximas las tres décadas que debería durar la instalación de capacidad energética sostenible según recoge el Pacto Verde Europeo para alcanzar la descarbonización total.

5. Referencias.

[1] IRENA (2021), Renewable Power Generation Costs in 2020, International Renewable Energy Agency, Abu Dhabi.

[2] Montilla, J (2020), Green jobs in the Spanish renewable energy sectors: an input-output approach.

[3] Cualladó Diges J. (2021), Análisis de la ruta de descarbonización del sector servicios en España en 2030 y 2050.

- [5] Tourkolias, C. and Mirasgedis, S. (2011), Quantification and monetization of employment benefits associated with renewable energy technologies in Greece.
- [6] Hillebrand, H; Georg Buttermann, J. M. Behringer, M. Bleuel (2005), The expansion of renewable energies and employment effects in German.
- [7] Caldés N; M. Varela, M. Santamaría, R. Sáez (2009). Economic impact of solar thermal electricity deployment in Spain, *Energy Policy*, Volume 37, Issue 5.
- [8] Allan, GJ; P Lecca, PG McGregor, JK Swales - *Marine Policy* (2014). The economic impacts of marine energy developments: a case study from Scotland.
- [9] Garrett-Peltier, H. (2017). Green versus brown: Comparing the employment impacts of energy efficiency, renewable energy, and fossil fuels using an input-output model.
- [10] Moreno, B.; A. J. Lopez. The effect of renewable energy on employment. The case of Asturias (Spain). *Renew. Sustain. Energy Rev.* 2008.
- [11] Van der Zwaan, B.; L. Cameron; T. Kober, (2013) Potential for renewable energy jobs in the Middle East. *Energy Policy*.
- [12] Kahouli, S.; Martin, J.C. (2018) Can Offshore Wind Energy Be a Lever for Job Creation in France? Some Insights from a Local Case Study.
- [13] Wei, M.; S. Patadia; Kammen, (2010) D.M. Putting renewables and energy efficiency to work: How many jobs can the clean energy industry generate in the US?
- [14] McKinsey Consulting (2006). *Wind, Oil and Gas: The Potential of Wind*; McKinsey and Company: Washington, DC, USA.
- [15] Comings, T.; Fields, S.; Takashi, K.; Keith, G (2014). *Employment Effects of Clean Energy Investments in Montana*; Synapse Energy Economics Inc: Massachusetts.
- [16] Jacobson, M.Z. (2021); *Impacts of a Green-New-Deal Energy Plan on Grid Stability, Costs, Jobs, Health, and Climate in Spain*, Stanford University.

[17] Tegen, S., Lantz, E., Hand, M., Maples, B., Smith, A., & Schwabe, P. (2011). cost of wind energy review Technical Report NREL. TP-5000-56266 National Renewable Energy Laboratory.

[18] Cansino, J.M.; M.A. Cardenete, J.M. González-Limón, R. Román (2014), The economic influence of photovoltaic technology on electricity generation: A CGE (computable general equilibrium) approach for the Andalusian case.

[19] Wind, I. E. A. (2012). Annual Report, International Energy Agency, 2012.

[20] Veatch, B. (2012). Cost and performance data for power generation technologies. Cost Report, ed. BVH Company.