



FACULTAD DE DERECHO

ENERGÍAS RENOVABLES Y EL DESEMPLEO

Autor: Marina del Carmen Canga Ruiz

5º E3 Analytics

Business Analytics

Director: José Luis Arroyo Barrigüete

Madrid

Abril 2021

RESUMEN

El propósito de este trabajo es estudiar la relación existente entre la inversión en energías renovables y el desempleo partiendo de una premisa inicial según la cual, como apuntan diversos trabajos como el de Khobai et al (2020: 170), “renewable energy consumption has a negative and significant effect on unemployment in the long-run”. Para ello, se ha recurrido a la aplicación de las técnicas de *clustering* de series temporales, una técnica con un amplio campo de aplicación pero que no se estudia a lo largo del grado en Analytics.

Se presenta esta modalidad de energía como un elemento fundamental dentro del desarrollo sostenible y se estudiará el auge que ha sufrido en los últimos años. Por otro lado, se analizará la problemática actual que existe en relación con los elevados niveles de desempleo. En este sentido, se procede al estudio de la viabilidad de las inversiones en energías renovables como posible solución efectiva y sostenible ante la elevada tasa de desempleo mundial.

Tras realizar la extracción y limpieza del *dataset*, mediante el uso de las técnicas de aprendizaje no supervisado, se ha procedido al tratamiento de los datos en dos fases diferenciadas.

La primera de ellas consistió en el estudio del *mix* eléctrico de un total de 124 países, considerando el porcentaje del mismo que corresponde a energías renovables, en el periodo 2000 – 2017. Mediante un análisis clúster de series temporales, se identificaron grupos homogéneos de países.

Estos grupos se han puesto en relación con las tasas de desempleo en cada área geográfica en cuestión, y los resultados obtenidos indican que no existen diferencias significativas entre los distintos clústeres, es decir, que todos los clusters tienen, en media, la misma tasa de paro.

La principal limitación de este trabajo es el hecho de no haber controlado todos los numerosos factores de confusión que pueden incidir en los niveles de desempleo de un país. No obstante, se trata de un estudio exploratorio: el objetivo último no es demostrar una relación causal, algo que requeriría un análisis mucho más complejo, sino, simplemente, evaluar la posible relación entre el peso de las energías renovables en el *mix* eléctrico y la tasa de desempleo, sin considerar otros factores que, sin duda, afectan a esta última variable.

ABSTRACT

The purpose of this paper is to study the relationship between investment in renewable energy and unemployment based on an initial premise according to which, as pointed out by various works such as that of Khobai et al (2020, 170), "renewable energy consumption has a negative and significant effect on unemployment in the long-run". In order to do this, time series clustering techniques, which is a technique with a wide field of application, but which is not studied throughout the degree in Analytics, has been used.

This energy modality is presented as a key element in sustainable development and the boom that has been experienced in recent years is studied. On the other hand, the current economic crisis and the high levels of unemployment are analyzed.

In this regard, the feasibility of investments in renewable energy is studied as a possible effective and sustainable solution to the high rate of global unemployment.

After the extraction and cleaning of the dataset, using unsupervised learning techniques, the data has been processed in two distinct phases.

The first of these consisted of the study of the electricity mix of a total of 124 countries, considering the percentage of it that corresponds to renewable energies, in the period 2000 - 2017. Using a time series cluster analysis, homogeneous groups of countries were identified.

These groups have been linked to the unemployment rates in each corresponding geographical area, and the results show that there are no significant differences between the different clusters. According to this, all clusters have, on average, the same unemployment rate.

The main limitation of this study is the fact that it does not control all the factors of confusion that have an impact on unemployment levels. However, it is an exploratory study: the ultimate objective is not to demonstrate a causal relationship, which would require a much more complex analysis, but to evaluate the possible relationship between the weight of renewable energies in the electricity mix and the unemployment rate, without considering other factors that undoubtedly affect the latter variable.

ÍNDICE

1. INTRODUCCIÓN	6
2. JUSTIFICACIÓN DEL TEMA	6
3. ENFOQUE DE LA INVESTIGACIÓN	8
4. ENERGÍAS RENOVABLES Y DESEMPLEO	9
4.1 ENERGÍAS RENOVABLES	9
4.2 DESEMPLEO: PROBLEMÁTICA ACTUAL	17
4.3 ENERGÍAS RENOVABLES Y DESEMPLEO	19
Relación actual entre las Energías Renovables y el Desempleo	19
Previsión de la relación futura entre las Energías Renovables y el Desempleo	21
5. MATERIAL Y MÉTODOS	22
5.1 FUENTES DE DATOS	22
5.2 TRATAMIENTO DE LOS DATOS	23
Datos referentes al porcentaje de electricidad con fuentes de generación renovable	23
Datos referentes a las tasas de desempleo	24
5.3 PROCEDIMIENTO	25
5.4 RESULTADOS	27
Estudio con seis clústeres	27
Estudio con tres clústeres	34
6. CONCLUSIONES	38
7. BIBLIOGRAFÍA	39

1. INTRODUCCIÓN

El propósito de este trabajo es estudiar la relación existente entre la inversión en energías renovables y el desempleo pues, como apuntan diversos trabajos como el de Khobai et al (2020: 170), “renewable energy consumption has a negative and significant effect on unemployment in the long-run”.

Se presentará esta modalidad de energía como un elemento fundamental dentro del desarrollo sostenible y se analizará el auge que ha sufrido en los últimos años. A continuación, haciendo uso de las técnicas de aprendizaje no supervisado se procederá al tratamiento de los datos en dos fases diferenciadas. La primera de ellas consistirá en el estudio del *mix* eléctrico en un total de 124 países, considerando el porcentaje del mismo que corresponde a energías renovables, en el periodo 2000 – 2017. Mediante un análisis clúster de series temporales, se identificarán grupos homogéneos de países. Después, los resultados obtenidos se pondrán en relación con las tasas de desempleo en cada área geográfica en cuestión. Se espera que en esta segunda fase los resultados permitan analizar el impacto de las inversiones en el desempleo y se persigue también poder elaborar conclusiones fiables que sean de aplicación al largo plazo.

2. JUSTIFICACIÓN DEL TEMA

Desde la Revolución Industrial, hasta la actualidad, el ser humano ha cometido muchos excesos que reflejan la gran dependencia que tenemos del medio ambiente. Muchos de los problemas ambientales que acontecen en la actualidad (deforestación, contaminación, calentamiento global, subida del nivel del mar, etc.) tienen como origen el uso incontrolado de los recursos naturales. Nos encontramos en una sociedad donde el consumo energético se ha acelerado y, por consiguiente, existe una preocupación referente a la búsqueda de nuevas fuentes con el fin de poder satisfacer esta creciente demanda energética.

En este sentido, en 2015 la Organización de Naciones Unidas (en adelante, ONU) propuso la “Agenda 2030” que persigue el vínculo del desarrollo sostenible con procesos económicos, sociales y ambientales mediante los diecisiete Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS). En este sentido, el séptimo objetivo de desarrollo sostenible se refiere a garantizar el acceso a una energía asequible, fiable y sostenible para todos. En definitiva, este objetivo busca, por un lado, que en 2030 se haya logrado la universalización del acceso a energía fiable y asequible. Además, también persigue que en el plazo previsto aumente la cooperación entre distintos países para fomentar la investigación de

energías limpias, promover las inversiones en energías renovables y que se duplique la eficiencia energética (ONU, 2015).

Adicionalmente, en la Cumbre Mundial del Clima (París, 2015) también se intentó buscar un compromiso mundial con el fin de poder encontrar soluciones comunes y eficaces ante el cambio climático. En este sentido, el Acuerdo de París, que entró en vigor en 2016, fue pionero en fijar un objetivo global de carácter vinculante para casi doscientos países. El Acuerdo “tiene por objeto reforzar la respuesta mundial a la amenaza del cambio climático, en el contexto del desarrollo sostenible y de los esfuerzos por erradicar la pobreza” (Acuerdo de París, 2015). Para alcanzar este fin, se especifican a continuación una serie de objetivos más concretos, pero muy ambiciosos. Se pretende mantener el aumento de la temperatura mundial por debajo de dos grados, tomando como referencia los niveles preindustriales, y continuar los esfuerzos para limitar el aumento de la temperatura a 1,5 grados con respecto a estos niveles. Además, se persigue un desarrollo sostenible con bajas emisiones de efecto invernadero. En este sentido, el fuerte apoyo hacia las energías renovables se justifica también por contribuir a la reducción de gases de efecto invernadero y otros contaminantes (André, de Castro & Cerdá, 2012). Por consiguiente, la inversión en energías renovables es un elemento clave para la consecución de los objetivos propuestos en la Cumbre de París.

Retomando las palabras de Francesco La Camera, director general de la Agencia Internacional de Energías Renovables (en adelante, IRENA), “La energía renovable es una fuente de energía nueva y rentable que protege de volatilidad a los mercados energéticos y a los usuarios, apoya la estabilidad económica y estimula el crecimiento sostenible” (IRENAa, 2019, 1).

Como ya se afirmaba en el Informe sobre el desarrollo Humano de 2007-2008, los gobiernos habían comenzado a integrar los impactos del cambio climático a sus decisiones de inversión, constituyendo una prueba evidente del deseo de hacer frente de manera unitaria al desafío que supone el cambio climático. Señala el compromiso de fomentar un desarrollo limpio, destacando el apoyo a las energías renovables. Además, indica que el suministro de estas energías está aumentando favorecido por las iniciativas de regulaciones que incentiven estas inversiones, como la “tarifa de alimentación” en Alemania (Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo, 2008).

Por todo lo anterior, afirmamos que el contexto actual se caracteriza por una apuesta por parte de las organizaciones internacionales y los gobiernos nacionales, a favor de las energías renovables como solución potencial ante los problemas medioambientales y como posible origen de un nuevo mercado laboral.

Al mismo tiempo nos encontramos en un contexto de paralización económica global ocasionada por el COVID-19. Como señala Servais, esta crisis económica y laboral causada por la pandemia va a tener una repercusión directa sobre el nivel de empleo (Servais, 2020). En este sentido, la Organización Internacional del Trabajo (en adelante, OIT) señalaba en abril de este año que las medidas de paralización total o parcial ya estaban afectando a casi 2700 millones de trabajadores, lo que representa en torno al 81% de la fuerza de trabajo mundial. Es más, en el informe se afirma que la crisis actual es y va a ser la más grave desde la Segunda Guerra Mundial siendo preocupante el rápido aumento de la destrucción de empleo en el mundo (OIT, 2020a: 2)

A parte de las implicaciones económicas que tiene esta paralización y crisis económica, también es importante destacar las repercusiones que tiene el desempleo en la salud. En ese sentido, la Organización Mundial de la Salud (en adelante, OMS) señaló que estar en paro es una situación que puede afectar al nivel de autoestima de la persona y ser consecuencia de enfermedades mentales como la depresión (OMS, 2015: 10). Esto es así, porque el empleo además de aportar beneficios económicos proporciona también unas funciones psicosociales que se refieren a necesidades intrínsecas que toda persona tiene (Prieto & Gómez, 2020).

Por consiguiente, la finalidad última de este trabajo es el estudio de la viabilidad de la inversión en energías renovables como forma de reactivar la economía de manera sostenible. Se espera que este impulso económico se pudiese traducir en la emergencia de un nuevo mercado laboral, que a su vez aminorase la elevada tasa de desempleo mundial.

3. ENFOQUE DE LA INVESTIGACIÓN

En la elaboración de este trabajo se seguirá el proceso propio de la investigación académica. En primer lugar, se llevará a cabo una revisión de la literatura, a fin de determinar el estado del arte en lo que se refiere a la relación entre energías renovables y desempleo. A continuación, se llevará a cabo un estudio cuantitativo, basado en datos de fuentes públicas. Finalmente, se analizarán los resultados y se compararán con los obtenidos en investigaciones previas, cerrando el trabajo con las principales conclusiones alcanzadas.

4. ENERGÍAS RENOVABLES Y DESEMPLEO

4.1 ENERGÍAS RENOVABLES

En el año 2018, la Agencia Internacional de Energía (en adelante, IEA) señaló que el mundo de la energía estaba cambiando significativamente, previendo que en 2040 la demanda energética mundial se hubiese elevado en un cuarto, fundamentalmente como consecuencia del crecimiento de las economías en desarrollo. Tomando de base el año 2000, Europa y Norteamérica representaban más del 40% de la demanda energética global, mientras que las economías en desarrollo asiáticas solo ostentaban el 20%. No obstante, en 2040 se prevé que esta situación se haya invertido totalmente (IEA, 2018: 2).

Además, aunque el mundo está construyendo paulatinamente un nuevo modelo de sistema energético, es necesario que se preste atención a tres pilares: asequibilidad, confiabilidad y sostenibilidad. En este sentido, IAE indica que los tres pilares están estrechamente interconectados y que el adecuado balance de las tres necesita un enfoque exhaustivo de las políticas energéticas (IEA, 2018: 1).

Por su parte, recientemente IRENA ha analizado la transformación energética tomando como referencia el intervalo de tiempo desde 2020 a 2050. Las principales conclusiones del informe nos permiten prever cómo va a ser la evolución energética en los próximos años.

En este sentido, recuerda que la descarbonización global sigue siendo necesaria para cumplir con los ODS mencionados anteriormente. Así, “el escenario de transformación energética [...] ofrece un base sostenible, con bajas emisiones de carbono y segura para el clima con vistas a un desarrollo económico estable a largo plazo” (IRENA, 2020a: 1). Destacamos el Pacto Verde Europeo, política integral que establece un plan de acción que persigue el impulso de una gestión eficiente de los recursos mediante el paso a una economía limpia y circular, además de la restauración de la biodiversidad y la reducción de la contaminación (Comisión Europea, 2019).

IRENA afirma que las energías renovables, la eficiencia y la electrificación son necesarios para reducir la mayoría de las emisiones a escala regional y nacional. Además, “a pesar de la diversidad de rutas de transición, todas las regiones registrarían mayores cuotas de uso de la energía renovable, y el Sudeste Asiático, América Latina, la Unión Europea y África Subsahariana estarían a punto de alcanzar cuotas de entre el 70 % y el 80 % en sus combinaciones totales de fuentes de energía para 2050” (IRENA, 2020a: 3).

Por tanto, es evidente que todo apunta a que el futuro de las Energías Renovables sea prometedor. Una vez expuesta la viabilidad de estas energías, procedemos al estudio de su concepto y características principales.

Dentro de las energías no renovables, encontramos el petróleo, carbón, gas natural y la energía nuclear. Durante muchos años, los combustibles fósiles han constituido el verdadero motor de la sociedad. Como apunta Díaz Velilla (2005: 2), la principal desventaja que presentan estos recursos energéticos es que contaminan y que en el actual modelo de crecimiento y desarrollo económico están abocados al fracaso.

En relación con su carácter contaminante, los combustibles fósiles generan altos niveles de residuos y emisiones de gases contaminantes. Por su parte, desde el punto de vista de su “agotabilidad”, como señalan algunos expertos, no existe un problema de agotamiento inmediato, pero el consumo energético actual es 100.000 veces más rápido que su velocidad de formación (Santamarta, 2004: 1). Por tanto, el largo periodo de regeneración de estas energías y su alto carácter contaminante ponen en duda su viabilidad, dejando de manifiesto la necesaria evolución hacia un sistema energético sostenible.

Por su parte, las energías renovables engloban aquellas fuentes energéticas limpias, inagotables y autorregeneradoras (Díaz Velilla, 2005: 18). Además, otra de las diferencias que presenta esta modalidad de energía, con respecto a las no renovables, es que implican recursos autóctonos favoreciendo la riqueza y el desarrollo local, y disminuyendo la dependencia energética.

Adicionalmente, los costes de las energías renovables, especialmente de la energía solar fotovoltaica y de la eólica, han mantenido una tendencia continuada decreciente, haciendo que estas modalidades de energías limpias sean más asequibles. Por el contrario, el precio de combustibles fósiles como el petróleo ha ido creciendo significativamente (AIE, 2018: 1), al margen de fluctuaciones coyunturales que hemos podido observar en los últimos años. De esta forma, las energías renovables presentan una alternativa cada vez más competitiva desde el punto de vista del coste económico.

En definitiva, por todo lo dispuesto anteriormente podemos afirmar rotundamente que nos encontramos en un contexto de transición hacia un sistema energético basado en energías renovables que se prevé que tenga una repercusión positiva para la economía global y el desarrollo.

Una vez expuesto el concepto y la importancia actual de las energías renovables procedemos al estudio de sus tipologías;

1. Energía eólica

La energía eólica es una modalidad de energía renovable que tiene como fuente el viento. De esta forma, el viento provoca el movimiento de dispositivos (molinos, aeromotores, máquinas eólicas aerogeneradores, turbinas...) que convierten la energía cinética del viento en energía mecánica.

Diferenciamos dos tipos de energías eólicas en función del medio en que se desarrollan; las instalaciones *offshore* que se refieren al aprovechamiento mediante la tecnología de la eólica marina, y las instalaciones *onshore* que alude a las instalaciones terrestres.

Las principales ventajas que presenta la modalidad *offshore* es que los recursos eólico-marinos son mejores, los vientos son más constantes y fuertes, no existen limitaciones de espacio para las instalaciones y permite reducir el impacto visual-acústico. Sin embargo, la modalidad *onshore* se lleva implementando desde hace muchísimos años, estando las tecnologías y los conocimientos totalmente asentados. Además, los costes de la modalidad terrestre son mucho más bajos (Moragues y Rapallini, 2004: 1-2).

Desde el punto de vista ambiental, como señalan Moragues y Rapallini, este tipo de energía no utiliza combustibles, no emite contaminantes ni gases de efecto invernadero, tampoco produce residuos tóxicos ni consume agua o recursos naturales escasos (Moragues y Rapallini, 2004: 2).

Una de las principales preocupaciones sociales que suscitan sobre esta modalidad de energía eólica es el impacto del nivel del ruido de los aerogeneradores. Aunque es cierto que durante las construcciones de los parques eólicos puede producirse ruido mecánico molesto, cuando los aerogeneradores ya están en funcionamiento apenas hay contaminación acústica. De esta forma, el ruido del parque eólico a 350 metros es de 35-45 dBA, mientras que el de un dormitorio silencioso es de 35 dBA (Galvez, González & Almenares, 2018). En este sentido, IEA Wind creó una nueva tarea 39 en 2018 con el objetivo de reducir el impacto del nivel del ruido de los aerogeneradores (Quiet Wind Turbine Technology) cuya función principal es la creación de estándares internacionales en las regulaciones del nivel del ruido (IEA WIND, Task 39, 2018).

Por su parte, desde el punto de vista del coste económico, atendiendo a la clasificación de la Instituto de la Diversificación y Ahorro de la Energía (en adelante, IDEA), la energía eólica *onshore* se encuentra dentro del grupo de las tecnologías maduras de bajo coste. Es decir, son aquellas tecnologías renovables con costes de generación más bajos y con menor recorrido de reducción de costes debido a la madurez de la tecnología. Aunque en ambos casos se espera una reducción moderada de costes de inversión, tiene mayor potencial de reducción de costes la *offshore* que la *onshore*, pues en la *offshore* existe recorrido para incrementar la disponibilidad de los aerogeneradores y se espera una reducción

de costes de operación y mantenimiento. En ambos casos, la “palanca de mejora” reside en el aumento de la capacidad, permitiendo aumentar la producción eléctrica para una misma localización o hacer rentables localizaciones que antes no lo eran (IDAE, 2011: 17). Existen investigaciones en cuanto a la mejora continua de modelos de aerogeneradores terrestres y marinos como el “Analysis of wind tunnel measurements and improvement of aerodynamic models” de IEA Wind en la tarea 29. Proyecto que, contando con la participación de 9 países, trabaja con el objetivo de mejorar y validar modelos aerodinámicos en climas de alta turbulencia y los efectos aeroelásticos (IEA WIND, Task 29, 2019).

En este sentido, siguiendo las estadísticas ofrecidas por IRENA, la media ponderada mundial de LCOE (Levelized Cost of Energy) de energía eólica *onshore* cayó un 39% entre 2010 y 2019 de 0.086 (2010) a 0.053 USD/kWh (2019). Además, se constató una reducción del 9% interanual en 2019. Por su parte, La media ponderada global de LCOE de la energía eólica *offshore* disminuyó un 29% entre 2010 y 2019, de 0.161 a 0.115 USD/kWh, con un 9% reducción interanual en 2019 (IRENA, 2020b: 46-74). Por tanto, en los últimos años ha disminuido en un 10% más la energía eólica *onshore* y el precio en 2019 de la energía *offshore* sigue siendo superior al doble del precio de la energía *offshore*.

En un horizonte a corto plazo algunos expertos han indicado que “el mercado anual global retornará al estado creciente durante el 2019 y 2022, rompiendo la barrera de los 60 GW de capacidad instalada, y esperando alcanzar los 840 GW para finales del 2022” (Gil, García-Cascales & Molina, 2019: 1211). Además, según Global Wind Energy Council, en 2022, Asia liderará el mercado eólico (370,4 GW de capacidad total instalada), seguida de Europa (253,8 GW), luego de Norteamérica (158,9 GW), América Latina (34,1 GW), Oriente Medio-África (13,7 GW) y la zona del Pacífico (9,9 GW) (GWEC, 2018).

2. Energía solar

La energía solar es aquella modalidad de energía renovable que toma como fuente el Sol. Aunque el Sol lleva proporcionando energía durante 6.000 millones de años, la cantidad de hidrogeno que sigue existiendo en su núcleo es suficiente para mantener el ritmo actual de disipación energética durante por lo menos 8.000 millones de años más (Jarabo Friedrich F., 2020: 2). Por consiguiente, podemos considerar que esta fuente es inagotable.

La potencia del Sol interceptada por la Tierra es de 173.000 TW que, aunque representa una pequeña parte de la emitida es aproximadamente 10.000 veces mayor que la potencia que proporcionan conjuntamente todas las formas de energía que los humanos usamos en la Tierra (Jarabo Friedrich F., 2020, 2).

Diferenciamos dos tipos de energías renovables; la fotovoltaica que se basa en el aprovechamiento de la luz, y la termosolar que se sirve del calor.

El funcionamiento de la energía fotovoltaica descansa en las células solares que son dispositivos electrónicos que convierten la luz solar directamente en electricidad a través del efecto fotoeléctrico. En este fenómeno los fotones, esto es partículas de luz, impactan con los electrones de un metal arrancando sus electrones. El movimiento del electrón durante el proceso genera la corriente eléctrica. Todo sistema fotovoltaico consta de tres partes fundamentales; en primer lugar, el generador solar que está compuesto por el conjunto de paneles fotovoltaicos. Este generador capta la radiación solar y la transforma en corriente continua a baja tensión. En segundo lugar, el acumulador se refiere a las baterías que proveen de potencia cuando no hay luz solar y amortigua las variaciones energéticas. Finalmente, el regulador de carga que evita sobrecargas o descargas excesivas y asegura que el panel trabaje a la máxima eficiencia (Lamas, 2020: 3).

Desde el punto de vista ambiental, la generación de este tipo de energía no requiere ningún tipo de combustión, de manera que no se produce contaminación térmica ni emisiones de dióxido de carbono que favorezcan el efecto invernadero. Además, las células fotovoltaicas se fabrican a partir de pequeñas cantidades de silicio (obtenido a partir de arena) muy abundante en la naturaleza. Por tanto, no se producen alteraciones de las características litológicas, topográficas o estructurales del terreno. Tampoco se ve alterado el suelo, las aguas ni la flora y fauna debido a la ausencia de vertidos.

Respecto al coste, la media ponderada global de LCOE de las plantas fotovoltaicas a escala utilitaria disminuyó un 82% entre 2010 y 2019. Es decir, de 0.378 USD/kWh a 0,068 USD/kWh en 2019, con una reducción del 13% del año 2018 a 2019 (IRENA, 2019a, 21).

Las principales desventajas de este tipo de energía renovable se refieren a la etapa de fabricación de los paneles solares donde se requiere una gran cantidad de energía, se emiten altos niveles de gases de efecto invernadero y desechos tóxicos y se consume un elevado volumen de agua. Estas desventajas también vuelven a darse en la futura eliminación de los paneles (Lamas, 2020, 4).

Por su parte, la energía termosolar se basa en el aprovechamiento de la energía solar para calentar y expandir un fluido (agua o aire normalmente) que a su vez propulsa una turbina convirtiendo la energía mecánica en energía eléctrica. En definitiva, un receptor concentra la energía solar para conseguir elevadas temperaturas que son empleadas para generar vapor y operar un ciclo de potencia. Las principales ventajas de esta modalidad de energía es que posibilita una adaptación a la demanda gracias a su capacidad de almacenamiento y que permite la producción eléctrica en ausencia de radiación solar (Lamas, 2020: 1-7).

Desde el punto de vista ambiental, esta modalidad de energía no emite ningún tipo de emisiones contaminantes ni gases ni residuos. Tampoco produce efectos significativos sobre la flora y fauna (IDAE, 2016).

Los costes de esta modalidad de energía han descendido significativamente. De esta forma, la media ponderada de LCOE de las plantas CSP cayó un 47% entre 2010 y 2019, desde 0,346 USD/kWh a 0,182 USD/kWh (IRENA, 2020b: 21).

Conviene señalar que, en el caso de las instalaciones de alta temperatura los impactos medioambientales en el suelo, flora y fauna son mayores debido a la gran extensión de las instalaciones y la necesidad de instalar redes para la evacuación de la electricidad. Además, estas instalaciones requieren un alto consumo de agua (Espejo Marín, 2010).

3. Energía hidráulica o hidroeléctrica

Las centrales hidroeléctricas aprovechan la diferencia de desnivel entre dos puntos para transformar, en una turbina hidráulica, la energía mencionada en energía mecánica. Luego, ésta activa el generador que transforma la energía mecánica en energía eléctrica (IDAE, 2006: 25).

La principal preocupación que suscita entorno a esta modalidad de energía es el posible impacto en el caudal del agua, no obstante, las implantaciones de medidas correctoras (instalación de pasos de peces en la presa, restitución al cauce del agua empleada...) reducen esta alteración.

El coste de inversión e implantación de una central hidroeléctrica depende de distintos factores como la orografía del terreno, los accesos y el tamaño (IDAE, 2006: 38). Según los datos facilitados por IRENA, la media ponderada mundial de LCOE proyectos hidroeléctricos en 2019 fue un 6% más alto que el valor registrado en 2018 (de 0.047 a 0.045 USD/kWh) y 27% superior a los proyectos encargados en 2010. Este aumento de precios se debe fundamentalmente a los costes de instalación afrontados como consecuencia del desarrollo de grandes y numerosos proyectos, especialmente en Asia. No obstante, a pesar de este aumento en el coste, esta modalidad de energía sigue siendo más económica que la modalidad más barata de combustibles fósiles (IRENA, 2020b: 17).

4. Biomasa y biogás

El término biomasa se utiliza para hacer referencia a una fuente de energía renovable basada en la utilización de la materia orgánica. Tiene carácter de energía renovable porque su contenido energético procede, en última instancia, de la energía solar usada por los vegetales en el desarrollo de su proceso fotosintético. Aunque una parte importante de la biomasa se emplea directamente (por ejemplo, la leña), la utilización energética moderna de los biocombustibles sólidos necesita un acondicionamiento

especial. En este sentido, destacamos el uso de combustibles como las astillas, serrín, pelets y briquetas (Fernández, 2003: 4).

Por su parte, el biogás es una mezcla de diferentes gases producidos por la descomposición anaeróbica de materia orgánica (estiércol, basuras orgánicas, etc.). El componente más abundante es el metano, que se obtiene en biodigestores por fermentación anaeróbica del estiércol de herbívoros. La mezcla del metano con el aire es combustible y arde con llama azul. Cuando se quema el biogás, se genera monóxido de carbono y agua (Sierra & Barrios, 2013: 4). El monóxido de carbono sale a la atmósfera, siendo posteriormente captado por las plantas para su crecimiento. Luego, estas plantas servirán de alimento a los herbívoros, cuyo estiércol se alimentará al biodigestor, completándose así el ciclo del monóxido de carbono (Arrieta, López & Copete, 2006). Además, este bioproceso contribuye a la reducción de la emisión de gases de efecto invernadero y del calentamiento global, ya que una molécula de metano capta aproximadamente veinticinco veces más calor que la molécula de monóxido de carbono (Dussan, 2009: 100-111).

Con respecto al coste, entre 2010 y 2019, la media ponderada mundial LCOE de la bioenergía cayó de 0.076 a 0.066 USD/kWh. Este precio es igual a la forma más barata de energía de los combustibles fósiles IRENA, 2019a: 12). En este sentido, la bioenergía ofrece un conjunto de opciones que abarcan una amplia gama de materias primas y tecnologías, donde el coste de las materias primas proporciona un precio altamente competitivo.

5. Energía geotérmica

Este tipo de energía aprovecha el calor del interior de la Tierra como fuente energética. Así, los recursos geotérmicos se encuentran tanto en las áreas más profundas como en las más superficiales. Al perforar la superficie terrestre, se puede extraer vapor o agua caliente para utilizarse en la generación de electricidad mediante el uso de turbinas de vapor.

Es importante destacar el riesgo que entrañan los proyectos de generación de esta modalidad de energía. Inicialmente deben de realizarse unas evaluaciones costosas y confirmarse con pozos de prueba, esto aporta a los desarrolladores información sobre la extensión y los flujos del embalse, pero no aclara todas las dudas que suscitan entorno al funcionamiento y gestión.

A finales del año 2019, el despliegue geotérmico representó el 0,5% de la capacidad instalada total de energías renovables a nivel mundial, con un total instalado de 13,9 GW de capacidad (IRENA, 2019a: 104).

La media ponderada mundial LCOE de los proyectos encargados en 2019 fue de 0,073 USD/kWh, en general en línea con valores vistos en los últimos cuatro años. Conforme al estudio de la tendencia de los datos, se prevé que en 2021 el precio haya caído hasta 0,05 USD/kWh (IRENA, 2019a: 108).

El despliegue de las centrales geotérmicas sigue siendo modesto. Desde 2014 se han incorporado al menos 440 MW al año y las tendencias han sido más estables. En el año 2019, se añadieron 682 MW constituyendo un nuevo récord (IRENA, 2019a: 103).

6. Energía mareomotriz

Esta modalidad de energía renovable aprovecha el ascenso y descenso del mar producidos por las fuerzas gravitatorias del sol y la luna. En relación con el funcionamiento, el agua es almacenada en un dique, luego la fuerza del agua hace girar turbinas de un modo similar a como se produce en las centrales hidroeléctricas, y así se produce la electricidad.

Muchos estudios sugieren que esta modalidad de energía podría ser un mecanismo de producción sustentable y limpio, compatible con el medio ambiente y con el potencial suficiente para satisfacer la demanda energética (González & González, 2015: 131).

Realmente, ningún proceso de extracción energética es seguro para el ambiente. Esto es así, porque, aunque la explotación mareomotriz es un sistema confiable, la instalación de la infraestructura necesaria altera la naturaleza del ecosistema porque para su construcción es necesario realizar cambios en el componente natural del medio (perturbación del hábitat durante la construcción, afectación de los ecosistemas costeros, posible contaminación del agua, y efectos en la hidrodinámica, los procesos de transporte, etc.) (González & González, 2015: 131-132).

7. Energía unimotriz u olamotriz

Energía renovable que se basa en el aprovechamiento de la energía liberada por el agua del mar en sus movimientos de ascenso y descenso de las olas. El oleaje se produce como consecuencia de los desplazamientos de aire ocasionados por la diferencia de presiones en la atmósfera. A su vez, estas diferencias se deben al calentamiento desigual que provoca el Sol en la superficie terrestre. Existen una gran variedad de dispositivos que convierten la energía que desprende el oleaje en electricidad entre los que destacamos; los flotadores, depósitos, balsas, neumáticos y dispositivos móviles articulados (Amundarain, 2018: 4).

Con respecto a su potencial, se ha estimado que sea superior a 100.000 TWh/año. Esta previsión hace muy atractiva esta modalidad de energía renovable si tenemos en cuenta que el consumo de electricidad en el mundo ronda los 16.000 TWh/año. Con la tecnología actual se estiman 45.000 TWh/año para la

energía de las olas, 2.200 TWh/año para la procedente de las mareas, 20.000 TWh/año para las provenientes del gradiente salino y 33.000 TWh/año para la térmica oceánica (EREC, 2010: 191).

En relación con el respeto medioambiental, los impactos negativos tienen un carácter moderado. Los principales son; la contaminación sonora, la modificación del entorno y vista y la accesibilidad y tránsito. A esto se le suma, el elevado coste que presentan estas energías en la actualidad (Jauregui, Liftschitz & Pelissero, 2017).

8. Biodiésel y bioetanol

Desde el punto de vista de su composición química, el biodiesel es un producto obtenido de aceites vegetales y grasas animales. Por tanto, esta modalidad de energía tiene el potencial para reducir emisiones de gases contaminantes generados fundamentalmente por el mayor usuario de combustibles fósiles líquidos: el sector transporte. Así, el biodiésel es un biocombustible líquido presentado como una posible solución para la sustitución o disminución del uso de diésel tradicional de petróleo.

Por su parte, el bioetanol ha sido comúnmente empleado como combustible o potenciador de gasolina. Es totalmente renovable puesto que el bióxido de carbono que libera procede de plantas que lo captaron previamente, y es reciclado y vuelve a las plantas para el proceso fotosintético donde se genera biomasa (Martínez, Arredondo & Ojeda, 2012: 97).

4.2 DESEMPLEO: PROBLEMÁTICA ACTUAL

Aunque el desempleo es un problema que nos lleva acompañando desde hace años, en la actualidad preocupa aún más. Esto es así porque nos encontramos un contexto de paralización mundial como consecuencia del COVID-19 y la crisis económica y laboral provocada por la pandemia está repercutiendo negativamente sobre el nivel de empleo.

La Organización Internacional del Trabajo (OIT) examinó los datos y los análisis económicos disponibles y sobre esta base, realizó una serie de recomendaciones a los gobiernos. Esta Organización estima que el número de personas en situación de pobreza laboral aumentará entre 8.8 y 35 millones en todo el mundo. En un informe realizado en marzo de 2020 indicó que las estimaciones se mantenían y que la pandemia podría aumentar dramáticamente el desempleo mundial (OIT, 2020a: 5).

Teniendo en cuenta que el nivel de desempleo mundial en 2019 fue de 188 millones de personas, se prevé que esta cifra aumente entre 5,3 millones (hipótesis prudente) y 24,7 millones (hipótesis extrema). Estas pérdidas de empleo se traducen en una caída de ingresos por parte de los trabajadores que se estiman entre 860.000 millones de dólares y 3,4 billones de dólares a finales de 2020. Todo

esto, desembocará en una disminución del consumo de bienes y servicios, lo que a su vez afectará a las perspectivas de las empresas y las economías. Adicionalmente, se prevé un aumento exponencial del subempleo, como consecuencia de las reducciones de las horas de trabajo y de los salarios (Servais, 2020).

Por todo lo anterior, la OIT ha solicitado la adopción de medidas urgentes coordinadas y a gran escala. Estas medidas se basan en tres pilares; proteger a los trabajadores en su lugar de trabajo, estimular la economía y el empleo, sostener los puestos de trabajo y los ingresos. Además, prevé medidas de política fiscal y monetaria, préstamos y ayudas financieras a determinados sectores. También nos recuerda que esta crisis laboral puede agravar la desigualdad, esto es así porque afecta de manera desproporcional a determinados grupos como los jóvenes, mayores, mujeres e inmigrantes (Servais, 2020).

El desempleo, como se ha señalado, constituye una fuerte preocupación desde el punto de vista económico puesto que la falta de ingresos lleva a familias a situaciones extremas de subsistencia provocando un descenso en el consumo y un estancamiento y desaparición de muchas empresas. Pero, además de las consecuencias económicas, es importante mencionar el impacto que tiene este fenómeno en la salud mental de las personas.

En este sentido, el empleo no solo aporta beneficios económicos, sino que además proporciona unas funciones psicosociales que constituyen necesidades intrínsecas de toda persona. Estas necesidades fueron explicadas por Jahoda en su modelo de deprivación afirmando que el empleo impone una estructura a la jornada diaria, favorece las relaciones sociales, vincula las metas individuales con objetivos y propósitos colectivos, posibilita la definición del estatus social y la identidad personal e impone la realización de una actividad cotidiana (Jahoda, 1987). Por consiguiente, el desempleo implica la pérdida de estas funciones y provoca un aumento en el riesgo de padecimiento de problemas de salud mental entre los que se encuentran la ansiedad, insomnio y depresión. Siguiendo con este planteamiento, la OMS emitió en 2011 un informe donde señala el desempleo como uno de los principales factores de riesgo para la salud mental (OMS, 2015: 10).

Por consiguiente, es necesaria la búsqueda de alternativas efectivas y sostenibles que sean capaces de disminuir la tasa de desempleo mundial. En este trabajo estudiamos la viabilidad de las inversiones en energías renovables como posible solución ante el problema del desempleo.

4.3 ENERGÍAS RENOVABLES Y DESEMPLEO

Después de haber abordado separadamente el auge de las Energías renovables y la crisis laboral que caracterizan al contexto actual, procedemos a estudiar conjuntamente ambas realidades. En primer lugar, analizaremos la relación actual entre las Energías Renovables y el Desempleo. Posteriormente, estudiaremos esta relación de cara al futuro.

Relación actual entre las Energías Renovables y el Desempleo

En el año 2017 el sector de las energías renovables empleó a 10,3 millones de trabajadores, en el 2018 a 11 millones y en 2019 a 11.5 millones de personas. Estas estadísticas muestran la tendencia creciente referente a la creación de empleo por las energías renovables (IRENA, 2019b: 5). El Informe de 2020 realizado por IRENA en base a los datos de 2019, señala que la mayoría de estos puestos se han creado en un reducido número de países, representando Asia el 63% del total de empleo en energías renovables. No obstante, los beneficios están expandiéndose, especialmente a través del despliegue de la energía solar fotovoltaica (IRENA, 2020c: 5).

En la representación gráfica que recogemos a continuación se aprecia el gran peso de la fuerza laboral de energías renovables que ostenta Asia, especialmente China que en 2019 alcanzó los 4.361.000 empleos creados, seguido de India (833.000) y Japón (265.000). También tiene especial peso Brasil con 1.158.000 nuevos puestos de trabajo. Por su parte, el conjunto de países europeos suma 1.316.000 empleos en este sector, siendo la primera potencia europea Alemania con 309.000 nuevos empleados. Estados Unidos suma 756.000 y África 247.000 (IRENA, 2020c: 20).

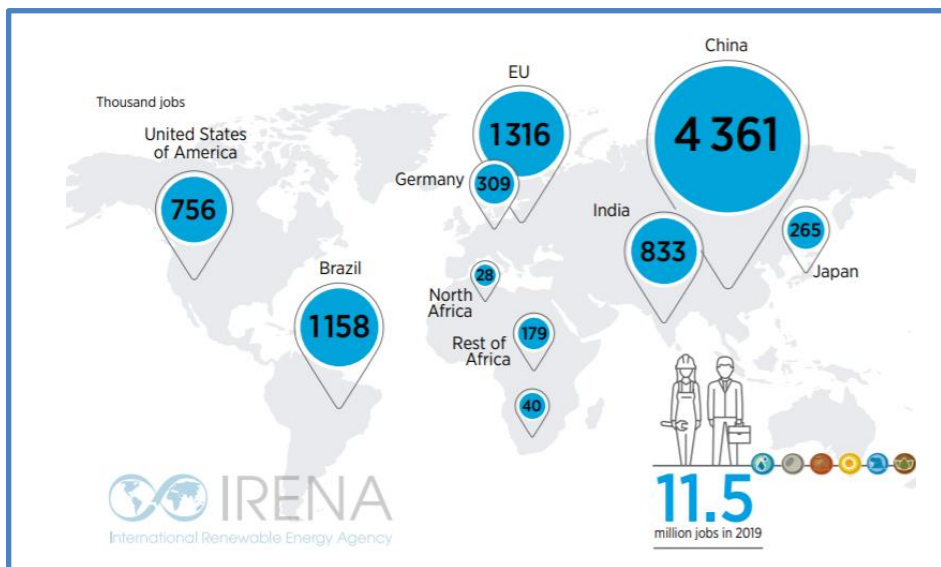


Figura 1: Empleo de las energías renovables en países seleccionados (en miles de trabajadores)

Fuente: base de datos empleo, IRENA (2020c)

Con respecto a la creación de puestos de trabajo, precisamos que la mayoría de estos trabajos todavía son ostentados por hombres, siendo la proporción de mujeres en la fuerza laboral de las energías renovables del 32%. No obstante, esta cifra supone un avance en comparación con la proporción de mujeres en el sector energético en general que es del 22% (IRENA, 2020c: 6).

Desde el punto de vista de las modalidades de energías renovables, las industrias de energía solar fotovoltaica, bioenergía, hidroeléctrica y eólica fueron en 2019 los mayores empleadores (IRENA, 2020c: 9).

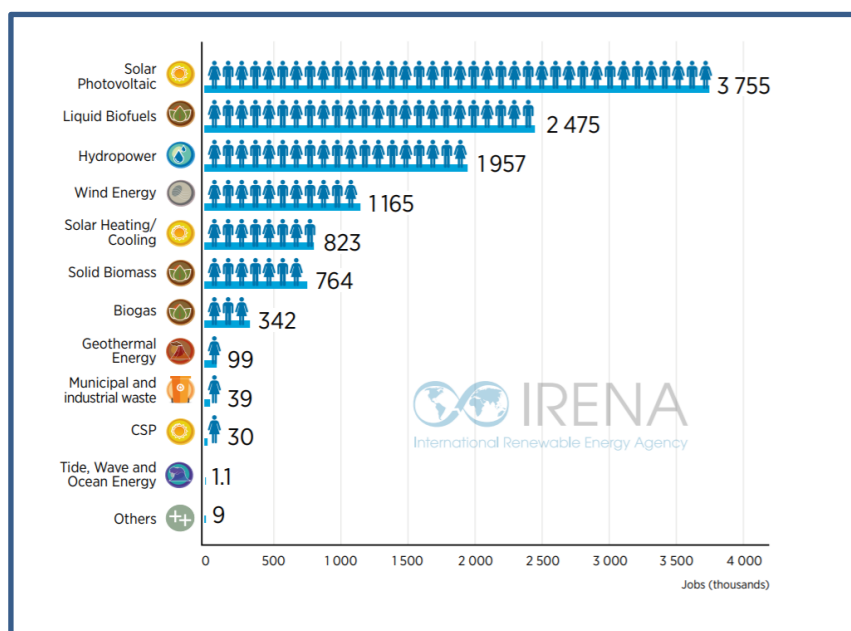


Figura 2: Empleo de las energías renovables según la tecnología (en miles de trabajadores)

Fuente: base de datos empleo, IRENA (2020c)

Nota: “others” incluye trabajos no desglosados por tecnologías individuales de energía renovable

El empleo global en el sector de la energía solar fotovoltaica aumentó en 2019 un 4% hasta alcanzar los 3,8 millones de puestos de trabajo. En este sentido, el 83% de los trabajos en energía solar fotovoltaica se ofrecen en Asia, seguido de América (6,5%), Europa (4,4%) y África (3,7%). Estas cuatro potencias suman el 87% de la fuerza laboral solar fotovoltaica a nivel mundial. Por su parte, el empleo global de la energía termosolar se situó en 823.300 puestos de trabajo, representando Asia el 88% del total (IRENA, 2020c: 10).

Desde el punto de vista de la energía eólica, aunque la mayoría de las instalaciones para la producción de energía eólica siguen siendo *onshore*, el mercado *offshore* está ganando peso. Según apuntan las

estimaciones de IRENA, el empleo total en energía eólica terrestre y marina, se mantuvo estable en 1,17 millones de personas a nivel mundial. En este caso, Asia representa el 56% de la oferta de trabajo en energía eólica mientras que Europa el 27% y América del Norte el 11% (IRENA, 2020c: 12).

En relación con los biocombustibles, en 2019 la producción de biocombustibles aumentó en un 5% especialmente debido a la expansión del biodiesel, este crecimiento del sector se ha traducido en un aumento en el nivel de empleo alcanzando los 2,5 millones. La mayoría de estos trabajos se refieren al sector agrícola concretamente a la obtención de materia prima (plantación y cosecha). La transformación de la materia prima en combustibles requiere menos trabajadores, aunque más cualificados. Estados Unidos representa el 43% de la oferta de trabajo referida a biocombustibles, seguido de Asia con un 34% (IRENA, 2020c: 11).

Finalmente, en el sector hidroeléctrico se emplearon a 1,93 millones de personas en todo el mundo, siendo los principales empleadores China, India y Brasil. Destacamos que el empleo en 2019 fue ligeramente menor (6%) que, en 2018, debido al retraso de varios proyectos. Se espera que en 2020 la tendencia siga siendo decreciente debido a la escasez de personal como consecuencia de las prohibiciones de viaje (IRENA, 2020c: 15).

Previsión de la relación futura entre las Energías Renovables y el Desempleo

Según señala IRENA, “el escenario de transformación energética ofrece una base sostenible, con bajas emisiones de carbono y segura para el clima con vistas a un desarrollo económico estable a largo plazo” (IRENA, 2020d: 2). En este sentido, la Agencia Internacional promete que el nuevo modelo energético aportaría más empleos y un mayor crecimiento económico.

Con respecto al crecimiento económico, continúa afirmando que esta perspectiva de transformación del sistema energético también supondría un mayor crecimiento del producto interior bruto, estimándose en un aumento del 2,4% a mediados de siglo, teniendo en consideración las cifras actuales. En este sentido indica que “el aumento acumulado de aquí a 2050 asciende a 98 billones de dólares estadounidenses (USD), muy por encima de las inversiones adicionales necesarias para transformar el sistema energético” (IRENA, 2020d: 2). Adicionalmente señala la alta rentabilidad de la inversión en el nuevo escenario de transformación energética. En este sentido, se estima que el coste de la inversión sería de 19 billones de USD más que el modelo energético previsto, pero que generaría unos beneficios superiores a 50 billones de USD en 2050.

Siguiendo las afirmaciones de la OIT, el crecimiento económico en sí no tiene por qué traducirse en una reducción de la tasa de desempleo y en una mejora de los puestos de trabajo. Sin embargo, “el

crecimiento económico es un requisito previo para aumentar el empleo productivo; es el resultado combinado de incrementos en el empleo e incrementos en la productividad laboral” (OIT, 2020b).

IRENA señala que el crecimiento económico provocado por la inversión en un modelo energético sostenible conllevaría la aparición de nuevos modelos de desarrollo socioeconómico. Además, se prevé que de aquí a 2050, estas inversiones se tradujesen en un aumento de los empleos en el sector de energías renovables hasta 42 millones a nivel mundial, es decir, cuatro veces más que el nivel de empleo actual. Por su parte, se prevé que, en 2050, los empleos en el sector de la energía en general alcance los 100 millones, esto es, 40 millones más que en la actualidad. Finalmente, esta transición también crearía 7 millones de empleos más en todos los sectores de la economía, tomando como referencia los planes actuales (IRENA, 2020d: 2).

En este sentido, el artículo de Khobai et al (2020), analiza cómo el consumo de energía renovable afecta al desempleo a corto y a largo plazo. Para ello, toma como referencia espacial Sudáfrica y como intervalo temporal el periodo comprendido entre 1990 y 2014. Haciendo uso del modelo autorregresivo de rezagos distribuidos (ARDL) se obtienen unos resultados que reflejan conclusiones contradictorias entre el estudio a corto y largo plazo. Así, los resultados obtenidos en el primer análisis muestran una relación insignificante entre ambas variables. No obstante, las conclusiones obtenidas del estudio a largo plazo sugieren que el consumo de energía renovable y el desempleo presentan una importante correlación negativa. Esta correlación tiene sentido pues, como afirma Khobai y sus coautores, las energías renovables requieren más mano de obra que las energías no renovables (Khobai et al, 2020: 18). Por consiguiente, el estudio sostiene que un aumento en la producción y consumo de la energía renovable en Sudáfrica reduce a largo plazo, la tasa de desempleo, impulsando el crecimiento económico y mejorando los niveles de vida.

5. MATERIAL Y MÉTODOS

5.1 FUENTES DE DATOS

En la elaboración de este trabajo se ha partido de un conjunto de datos referentes al porcentaje de electricidad con fuentes de generación renovable y se ha casado con los datos relativos a la tasa de desempleo, con el objetivo de estudiar una posible relación entre ambas variables.

Los datos relativos al porcentaje de electricidad con fuentes de generación renovable se han extraído de IRENA que produce estadísticas completas sobre una variedad de temas relacionados con las energías renovables. El presente trabajo ha partido de una muestra suficientemente grande con el

objetivo de poder elaborar un análisis interesante y alcanzar conclusiones fiables. En este sentido, el ámbito espacial inicial tomado como referencia ha sido la información relativa a 173 países de todo el mundo. Por su parte, el intervalo temporal objeto de estudio ha comprendido desde el año 2000 hasta el año 2017, es decir, se han recogido los datos de un total de dieciocho años con el fin de poder realizar un análisis a largo plazo.

Por su parte, los datos relativos a las tasas de paro se han extraído de ILOSTAT que es un portal de estadísticas laborales de la OIT. En este sentido, se han recogido los datos referentes al año 2017 de todos los países de la muestra, con el objetivo de analizar si las inversiones en energías renovables entre el año 2000 y 2017 se han traducido en una reducción en la tasa de desempleo en 2017, es decir, consideramos el efecto acumulado.

5.2 TRATAMIENTO DE LOS DATOS

Datos referentes al porcentaje de electricidad con fuentes de generación renovable

La extracción y tratamiento de los datos ha sido una parte fundamental en la elaboración de este trabajo. Este proceso se ha realizado en dos partes diferenciadas; Excel y, posteriormente, RStudio.

Como se ha mencionado anteriormente, los datos referentes al porcentaje de electricidad con fuentes de generación renovable se han extraído de IRENA en formato Excel. Este formato inicial era totalmente incompatible con las funciones a usar en RStudio, siendo necesario un tratamiento de los datos para poder adecuarlos al formato correspondiente.

El Excel inicial contaba con una primera página de filtrado en función de la región, país, métricas y año. La segunda y la tercera página que componían el Excel recogían el informe y los datos, respectivamente, en función de las filtraciones anteriores.

En un primer momento, el tratamiento de los datos se centró en un objetivo: obtener un Excel armonizado con toda la información en una única página. Para ello, se recurrieron a las funciones de Excel para la extracción. En este sentido, la función de búsqueda lógica que permite encontrar valores dentro de nuestra hoja de acuerdo con los criterios establecidos en la búsqueda resultó especialmente útil.

El Excel resultante recogía la información de manera homogeneizada habiéndose simplificado la información cualitativa a través de funciones de búsqueda y reemplazamiento. En este sentido, el Excel incluía una primera columna con la información relativa a la región, país, código de los países, energía renovable o no, principal tecnología, tecnologías, año, capacidad y generación eléctricas. A todas estas columnas se les incorporó una función de filtrado para facilitar el entendimiento de la información.

Adicionalmente, el Excel contenía tres tablas que recogían la siguiente información por país (173 países) y año (2000-2017): el total de energía no renovable, el total de energía renovable y el porcentaje de electricidad con fuente de generación renovable.

Después de haber podido visualizar claramente toda la información disponible y de haberla comprendido, se procedió a la limpieza del Excel. En este sentido, la única información que realmente era útil y necesaria para nuestro análisis era la contenida en la tabla referente al porcentaje de electricidad con fuente de generación renovable de los 173 países para los años comprendidos desde 2000-2017. Por tanto, se recogió esta información en un nuevo Excel con los datos distribuidos regularmente en escala temporal anual, correspondiendo una única cifra por país y año. De esta forma, los datos ya estaban preparados para poder ser importados en RStudio y construir objetos de la clase “serie temporal”.

A continuación, se prosiguió con el tratamiento de los datos en el programa RStudio. Es importante señalar que para poder importar y manipular datos de Excel con RStudio debemos de tener instalado de forma adicional al propio sistema R, un paquete específico para tal actividad denominado Readxl. Se importó el Excel como un *dataframe*, pero para poder realizar los análisis en cuestión tuvo que convertirse en una serie temporal a través de la función *ts*.

Finalmente, se realizaron una serie de pruebas de visualización previas con el fin de verificar que los datos tenían una apariencia de comportamiento normal.

En este sentido, se probó a visualizar la evolución del porcentaje de generación eléctrica renovable y la función de autocorrelación simple (FAS) de los distintos países, con la finalidad de verificar que no existían problemas con los datos.

A través de ambas visualizaciones no se apreció ninguna anomalía de los datos.

Datos referentes a las tasas de desempleo

Los datos relativos a las tasas de desempleo de los 173 países incluidos en la muestra, en el año 2017, se obtuvieron de ILOSTAT. Aunque la página permite la extracción de los datos en un formato CSV, la extracción y tratamiento de los datos también fue fundamental.

Partimos de un Excel de grandes dimensiones con mucha información sobrante. En este sentido, el buscador lógico de Excel fue especialmente útil al agilizar la búsqueda de la información relativa a los 173 países que conformaban la muestra. El objetivo de esta búsqueda era seleccionar los datos de estos países para poder prescindir de la información contenida para los países restantes. Luego, se procedió a depurar los datos relativos a otros años que no fuesen el 2017. Además, el Excel inicial recogía

información relativa al código del país y el nombre de indicador que no aportaba información útil a nuestro trabajo.

Para facilitar la casación entre ambas bases de datos, al Excel de tasas de paro resultante se le aplicó el mismo formato que presentaba el Excel relativo a los datos referentes al porcentaje de electricidad con fuentes de generación renovable.

Luego, se procedió a la importación del Excel resultante en RStudio a través del paquete mencionado anteriormente: *Readxl*. También se eliminó la primera columna referente a los años también con el fin de facilitar la casación de ambas bases de datos.

Después, como el Excel se había importado como *dataframe* pero para la realización de los análisis era necesario el formato matriz, se transformaron los datos a través de la función *as.matrix*.

Finalmente se procedió a la visualización con el objetivo de poder tener una primera aproximación del comportamiento de los datos. En base al *boxplot* resultante se puede afirmar que el 75% de los datos presentan una tasa de paro inferior al 10%, el máximo está entorno al 19% y, por encima de esta última cifra, hay un elevado número de atípicos.

5.3 PROCEDIMIENTO

En este trabajo se ha recurrido al algoritmo de *clustering* de series temporales, una técnica con un amplio campo de aplicación pero que no se estudia a lo largo del grado en Analytics, con el objetivo de identificar grupos homogéneos del conjunto de variables, en base al porcentaje de energías con fuente renovable.

Inicialmente, se tomaron en consideración los datos de 173 países de todo el mundo elegidos en base a la información disponible relativa al porcentaje de energías de fuente renovable y a las tasas de paro de 2017. No obstante, tras llevar a cabo el análisis completo, se pudo apreciar como los datos de África distorsionaban muy notablemente los resultados, impidiendo extraer conclusiones. Por este motivo, se decidió prescindir de estos datos y seguir adelante con la información relativa a los 124 países restantes.

Con este *dataset*, se procedió a la aplicación de las técnicas de clústering de series temporales. Los algoritmos de *clustering* son empleados muy frecuentemente en disciplinas de lo más variado, y al margen de su complejidad matemática, sencillamente se trata únicamente de identificar grupos homogéneos en un conjunto de variables (Arroyo, 2018: 14). En nuestro caso, la finalidad de la aplicación de este algoritmo es poder agrupar los datos referentes al porcentaje de energías con fuente

renovable de 124 países, en base a la similitud de las series temporales, de manera que los integrantes del grupo sean parecidos entre sí y diferentes a los del resto de grupos.

Por tanto, el *clustering* es un método de aprendizaje no supervisado, donde no hay una variable respuesta a considerar, sino que la finalidad es analizar la existencia de alguna estructura interna dentro del conjunto de los datos. Existen dos tipos de *clustering*: jerárquico y no jerárquico. Los primeros están especialmente indicados cuando, a priori, no se conoce el número de clústeres y el tamaño del *dataset* no es muy grande. Por su parte, los segundos requieren que se realice de antemano una estimación del número de clústeres y suelen emplearse en grandes muestras. En este trabajo, se opta por la aplicación de las técnicas de *clustering* jerárquico, puesto que la muestra es reducida y consideramos preferible no hacer hipótesis a priori.

Para calcular la matriz de distancias, es necesario determinar el tipo de distancia a utilizar para medir el grado de similitud entre las diferentes observaciones. En este sentido, inicialmente se valoró la posibilidad de emplear la distancia euclídea o la CORT.

La distancia euclídea, estudia la similitud de los valores observados en función de la cercanía de las series en un momento temporal concreto. Aunque la distancia euclídea es de las más utilizadas, es importante tener en cuenta tres características que señalamos a continuación; i) es sensible a la existencia de atípicos, ii) la escala en la que se miden las variables y la magnitud de su varianza pueden afectar en gran medida a los resultados e iii) ignora la relación entre variables, es decir, la correlación.

A través de la visualización *boxplot* de nuestro data set, fácilmente se puede apreciar que el número de atípicos es muy alto. Por tanto, la sensibilidad que presenta la distancia euclídea frente a los atípicos podría afectar a la fiabilidad del análisis.

Por su parte, la distancia CORT, es una medida específica para series temporales que además de tener en cuenta la cercanía de las series considera las correlaciones temporales, es decir, las tendencias. En otras palabras, mide si los crecimientos o decrecimientos, en cualquier instante de tiempo, son similares en dirección y tasa. A través de la visualización de dendrogramas se pudo apreciar que los clústeres conformados por la distancia CORT eran más balanceados que los originados por la distancia euclídea.

Por todo lo mencionado anteriormente, se consideró más conveniente la aplicación de esta última medida de distancia por entender que se resultaba más idónea para el caso concreto.

Después de haber establecido la distancia correspondiente al cálculo de la similitud o disimilitud entre pares de observaciones, es preciso definir el método de enlace o *linkage*. Esto es, la medida de distancia

entre dos clústeres. El paquete *hclust* usa por defecto el método de enlace *complete* a través del cual, la distancia entre dos clústeres se define como la distancia entre las dos observaciones más alejadas de cada clúster. El mecanismo de este paquete consiste en calcular todas las distancias entre cada par de observaciones, y luego elegir la mayor. Es decir, este criterio de enlace mide la proximidad entre dos grupos calculando la distancia entre sus objetos más lejanos o la similitud entre sus objetos menos semejantes (Barcos Redín, 2020: 32). En este trabajo se ha optado por este criterio de enlace pues, como señala Arroyo, esta opción tiende a producir clústeres compactos con diámetros pequeños¹ (Arroyo, 2018: 15).

Desde el punto de vista de la herramienta empleada, el algoritmo de *clustering* se ha implementado en R, un entorno de programación orientado al análisis estadístico. Además, se trata de una herramienta muy versátil, de código abierto y gratuito, lo que también ha favorecido a su enorme popularidad entre la comunidad académica y profesional.

Concretamente, para la elaboración de este trabajo hemos empleado el paquete *TSclust* (Montero & Vilar, 2014). Este paquete, hace posible la implementación de un gran conjunto de medidas de disimilitud de series temporales lo cual permite al usuario realizar agrupaciones mediante el uso de algoritmos de agrupación convencionales.

5.4 RESULTADOS

Estudio con seis clústeres

Con el fin de determinar el número óptimo de clústeres, se procedió a su visualización a través de la generación de un dendrograma. En el *clustering* aglomerativo, el dendrograma se construye desde el nivel más bajo, siendo cada observación un clúster. En cada paso se mezclan los dos clústeres más cercanos hasta que todas las observaciones han sido incluidas en un único clúster (Barcos Redín, 2020: 23).

El eje Y marca la distancia entre las observaciones, es decir, la disimilitud que presentan los países en base a su porcentaje de energías con fuente renovable. Por tanto, las observaciones más parecidas entre sí son las que aparecen próximas comenzando por abajo, luego, estas observaciones se van uniendo, formando ramas. Cuanto antes se unen las observaciones más similares son entre sí, por el contrario, las observaciones que integran las ramas formadas más tarde (más arriba) se parecen cada vez menos.

¹ Matemáticamente, este método se define de la siguiente manera: sean i y j los elementos de un determinado clúster, y k otro elemento no perteneciente a dicho clúster, quedando la distancia de k respecto a i y j representada por $\delta(i,k)$ y $\delta(j,k)$. El método *complete* considera como distancia de k respecto al clúster formado por i y j la máxima de ellas: $\delta^*(k,i,j)=\max\{\delta(i,k),\delta(j,k)\}$, $k \neq i,j$

El número de clústeres se ha propuesto haciendo un corte a una altura de 1.8 aproximadamente, viendo los conjuntos de observaciones que quedan por debajo del corte obtenemos los seis clústeres presentados anteriormente. De esta manera, el algoritmo ha determinado que existe una cierta homogeneidad entre los integrantes de cada uno de los seis clústeres presentados, que los diferencian del resto de países que forman parte del resto de los grupos. Ejecutando la función `table(Grupos)` en el programa Rstudio, obtenemos el siguiente resultado:

```
> table(Grupos)
Grupos
 1  2  3  4  5  6
15 68 12 17 11  1
```

Según esta función, el primer clúster estaría integrado por 15 países, el segundo por 68, el tercero por 12, el cuarto por 17, el quinto por 11, y el sexto y último por 1. A continuación, se verificará que la dimensión de los clústeres percibida a partir de la interpretación del dendrograma es la misma. No obstante, conviene precisar que la función `table(Grupos)` no extrae los clústeres en el mismo orden que el dendrograma. De esta manera, la figura 3 muestra el dendrograma y los seis clústeres obtenidos:

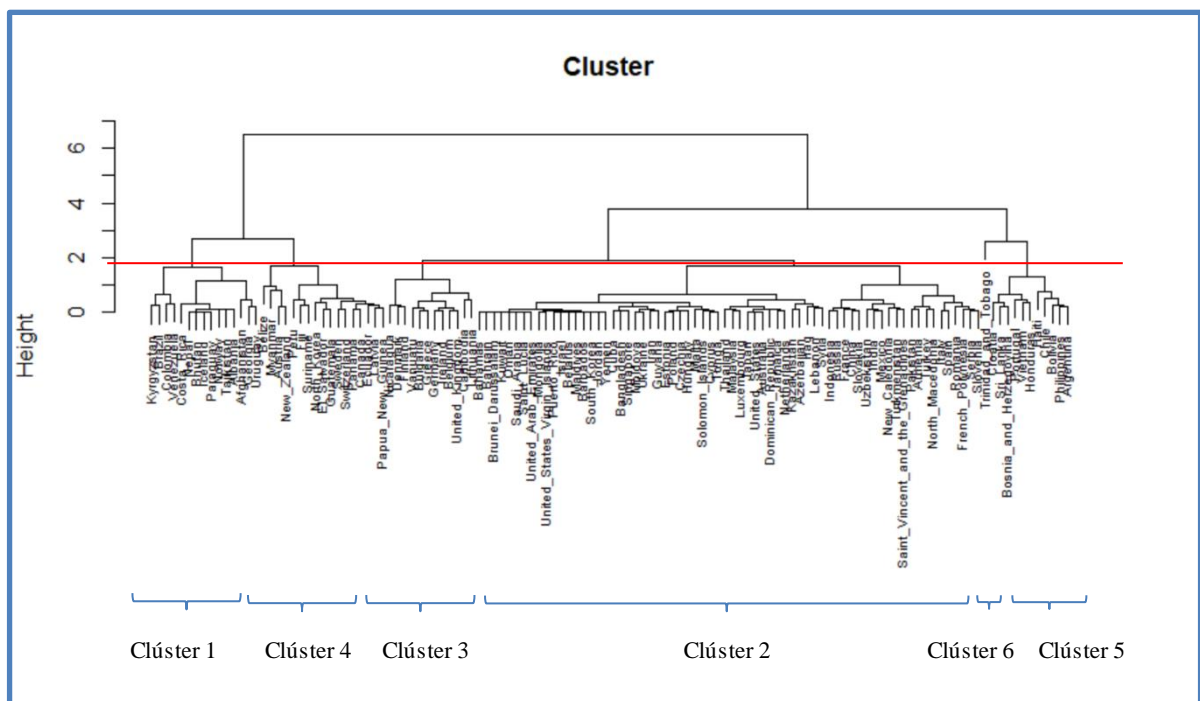


Figura 3. Análisis clúster de los países seleccionados. Dendrograma.

Fuente: elaboración propia

Con el objetivo de verificar que la información que ofrece el dendrograma es coherente con la realidad, procedemos a interpretar cada uno de los clústeres.

El clúster 1 está integrado por quince países. Interpretando la información que nos ofrece este primer clúster podemos afirmar que Colombia y Venezuela presentan un porcentaje de energías con fuente renovable prácticamente idéntico a lo largo de toda la serie temporal ya que presentan la menor distancia en función de la escala que ofrece el eje vertical. Luego, Brasil y Kyrgyzstan, que también presentaban prácticamente el mismo porcentaje, se juntan con los anteriores aproximadamente en la altura 0,6. Esto significa que los cuatro países presentan un porcentaje similar entre sí. De esta manera, subiendo por el eje Y hasta llegar a una altura de 1,7 tiene lugar la última unión del clúster incluyendo observaciones entre las que se encuentran los siguientes países: Costa Rica, Nepal, Bután, Islandia, Paraguay, Noruega, Tayikistán, Albania, Afganistán, Georgia y Uruguay.

Si atendemos al *dataset*, esta clasificación tiene sentido pues integra los países con un mayor porcentaje de energías con fuente energética renovable. En este sentido, la mayoría de los valores que presentan los países mencionados oscilan entorno al 0,8-0,9.

Por su parte, el clúster 2 es el que presenta una mayor dimensión estando formado por 68 países, es decir, integra más de la mitad de los países tomados en consideración (esto es, 124). De este clúster llama la atención el elevado número de uniones que acontecen como consecuencia del carácter heterogéneo de los integrantes. Para facilitar su comprensión, se podría decir que el clúster está dividido en dos grandes bloques (izquierda y derecha) que se unen a una altura de 1,7. Después, dentro de estos dos grupos hay varios subgrupos.

Tomando, por ejemplo, a España como referencia observamos que se encuentra en el grupo de la derecha. Este grupo está formado por países que se asimilan más entre sí que con los integrantes del grupo izquierdo. Así, España e Italia presenta un porcentaje de energía con fuente renovable prácticamente idéntico. Después, los países con un porcentaje más similar a España son Rumanía, la Polinesia francesa, Serbia y Eslovenia, seguido de Turquía, Armenia, Macedonia del Norte y Pakistán. Finalmente, a una altura de 0,8 tiene lugar la última unión integrando los países del grupo derecho menos similares a España, entre ellos se encuentran Francia, China y México.

El grupo izquierdo, que se une con el derecho a una altura de 1,7, está integrado por los países que menos se asimilan al porcentaje energético español, dentro del clúster 2. Entre ellos, se encuentran Polonia, Iraq, Cuba, Israel...

Partiendo de los datos, afirmamos que el clúster formado es coherente y que guarda relación con la realidad energética de los países en cuestión. En este sentido, España e Italia presentan un porcentaje que oscila en torno al 0,1-0,4. Este porcentaje es algo inferior al de países como Rumanía, la Polinesia francesa, Serbia y Eslovenia, pero superior al de Francia, China o México (0,1-0,2 aproximadamente).

El tercer clúster está compuesto por 12 observaciones. Partiendo, por ejemplo, de Alemania su valor es prácticamente idéntico al de Irlanda (0,04-0,33), y muy similar al de Reino Unido y Bélgica. Los siguientes países con porcentajes más similares son Grecia, Bulgaria y Vanuatu, seguidos de Camboya y Lituania. Finalmente, la última unión acontece a la altura de 0,8 con Finlandia, Dinamarca y Nicaragua.

Atendiendo a los datos reales, Alemania e Irlanda presentan porcentajes muy similares con un mínimo de 0,04 y un máximo de 0,33. Luego, a medida que van teniendo lugar las uniones, los países van teniendo cada vez valores más altos. De esta forma, el porcentaje de Finlandia, Dinamarca y Nicaragua es mayor que el de Reino Unido y Bélgica, por ejemplo.

El cuarto clúster, está integrado por 17 países. Partiendo de la información de Suiza, afirmamos que presenta un porcentaje prácticamente idéntico a Suecia. Más tarde, se produce una unión de estos dos países con Panamá, Canadá, Ecuador, Latvia y Nueva Guinea, presentando un porcentaje similar. Con poca diferencia de distancia, y por tanto de disimilitud, se encuentran Guatemala, El Salvador y Corea del Norte. Después, a una altura de 1 tiene lugar una unión con Perú y Fiji de manera que son los siguientes países más similares a Suiza en base al porcentaje en cuestión. La última unión que se produce en este clúster tiene lugar a una altura de 1,7, con Belize, Myanmar, Austria y Nueva Zelanda, por consiguiente, estos últimos son los que presentan un porcentaje más diferente respecto a Suiza.

Los datos referentes al porcentaje de energía con fuente renovable de Suiza y Suecia desde el año 2000 al año 2007, giran en torno al 0,5 presentando unos valores muy semejantes. Luego, países como Panamá y Canadá tienen valores más altos, que oscilan entre 0,5-0,7, muy similares a los relativos Guatemala, El Salvador y Corea del Norte. Con unos valores un poco más altos se encuentran Perú y Fiji. Finalmente, con valores algo más altos se encuentran Belize, Myanmar, Austria y Nueva Zelanda. En este sentido, resulta interesante detenerse en los valores de Belize, que han aumentado significativamente a lo largo de los años, partiendo de un valor de 0,53 en el año 2000 a 0,92 en 2017. De la misma forma, Myanmar también presenta una evolución fuerte que va desde el 0,37 en el año 2000 y alcanza el 0,6 en 2017. Por el contrario, la evolución de los valores de Austria y Nueva Zelanda a lo largo de estos años es mucho más estable y los valores que adopta son relativamente altos

(aproximadamente 0,6-0,8). Dejando este inciso de lado, afirmamos que la agrupación realizada por el algoritmo tiene sentido y guarda coherencia con los datos reales.

El quinto clúster está compuesto por 11 países, siendo el más pequeño de los clústeres observados con excepción del cluster 6 que se comentará a continuación. La interpretación es la misma que la que se viene realizando con los clústeres anteriores. De manera sistemática, partiendo de Argentina podemos afirmar que su porcentaje es prácticamente idéntico al de Filipinas (0,2-0,4), seguido del de Bolivia, Chile y Haití que presentan porcentajes algo más elevados. Dentro del mismo clúster, entre los países menos similares a Argentina se encuentran Croacia, Honduras, Portugal (0,3-0,7). En definitiva, el quinto clúster constata lo que se viene diciendo y permite confirmar que las agrupaciones que propone el algoritmo de clústering son razonables.

Respecto del sexto clúster, está integrado por un solo país: Trinidad y Tobago. De esta manera, el clúster en cuestión constituye un atípico, siendo conveniente prescindir del mismo con el fin de evitar que éste distorsione los resultados del análisis en cuestión. Por este motivo, se continúa el análisis únicamente con los primeros cinco clústeres obtenidos.

Inicialmente se graficaron las series temporales de cada uno de los clústeres, pero como consecuencia de la dificultad de llegar a conclusiones precisas en base a esta visualización, ya que existían demasiadas series, se optó por graficar los promedios de las series temporales anteriores:

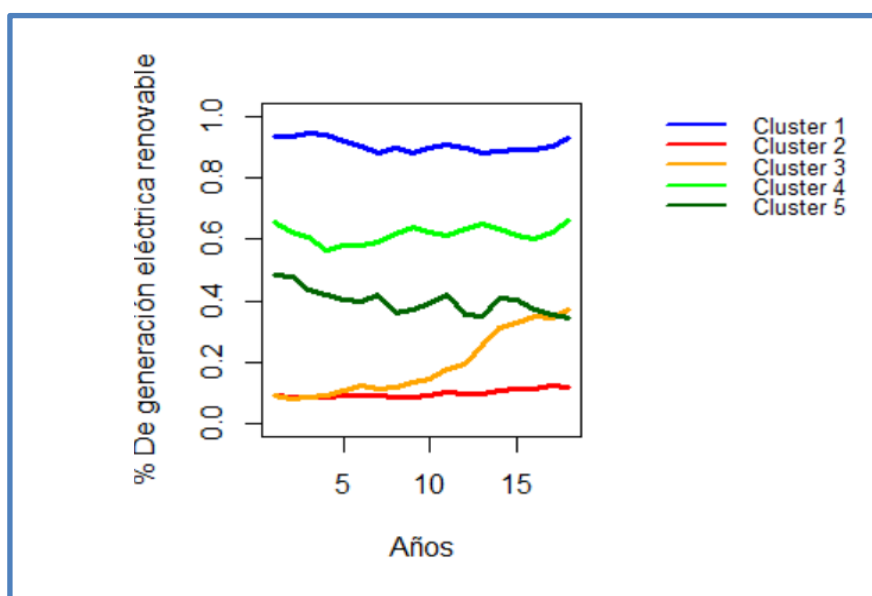


Figura 4. Evolución de los promedios de las series temporales de los cinco clústeres

Fuente: elaboración propia

En definitiva, las visualizaciones obtenidas constatan las conclusiones realizadas a partir del estudio de los datos y del dendrograma. En este sentido, el clúster 1 está formado por los países con un porcentaje de energía con fuente renovable más elevado, seguido del clúster 4, del clúster 5, del clúster 3 y, finalmente, del 2. Después de la revisión realizada, afirmamos que el algoritmo nos ha proporcionado una clasificación aparentemente razonable, compartiendo los países de cada clúster valores similares y siendo distintos estos a los relativos a países integrantes de otros grupos.

Este trabajo parte de la hipótesis de que las inversiones en energías renovables tienen un impacto positivo, a largo plazo, en la tasa de paro, en el sentido de que tiene a disminuirla. Por tanto, en base a los resultados obtenidos, se espera que los países con mayor tasa de paro sean los integrantes del clúster 2 por ser este grupo el que ostenta un menor porcentaje de energías con fuente renovable, seguidos del clúster 3, del clúster 5 y del clúster 4 (en orden). Finalmente, se espera que la tasa de paro de los países que conforman el clúster 1 sea la más baja.

Somos conscientes de que existe una enorme cantidad de factores de confusión no controlados en este ejercicio, pero el objetivo del presente TFG es llevar a cabo un análisis preliminar exploratorio. La premisa de que, si efectivamente la inversión en renovable tiene un fuerte impacto en la tasa de paro, este efecto debería ser observable incluso sin tener en consideración otros factores de confusión.

A continuación, se procedió, al estudio de la tasa de paro de cada clúster. Para ello, en base a los cinco clústeres formados, se casaron ambos datos: los relativos al porcentaje de energía con fuente renovable y los referentes a la tasa de paro.

De esta manera, la media de paro y la desviación típica obtenida para cada clúster es la que se muestra a continuación:

Nº Clúster	% renovable	Media	Desviación típica
Clúster 1	1º	7.82	4.17
Clúster 2	5º	7.43	4.98
Clúster 3	4º	6.62	5.14
Clúster 4	3º	4.68	1.93
Clúster 5	2º	7.97	5.54

Tabla 1: tasas de paro (media y desviación típica) en cada clusters (5 clusters)

Fuente: Elaboración propia

Tomando en consideración únicamente el promedio, señalamos que las tasas medias de paro más elevadas la ostentan, primero el clúster 5 y luego el clúster 1, lo cual llama significativamente la atención si tenemos en cuenta que son los países con mayor porcentaje de energía con fuente renovable. A continuación, con una tasa media de desempleo de 7,43 se encuentra el clúster 2 que, a su vez, es el que presenta un porcentaje de energías renovables más bajo. Después, el clúster 3 presenta una tasa de paro de 6,61. Finalmente, el clúster con menor tasa de desempleo es el clúster 4 siendo al mismo tiempo el tercer país con mayor porcentaje de energías con fuente renovable. En definitiva, los resultados obtenidos hasta el momento no reflejan las conclusiones que esperábamos alcanzar.

Con el objetivo de visualizar mejor estos resultados, se graficó un *boxplot* de la tasa de paro de los cinco clústeres, obteniéndose la figura 5:

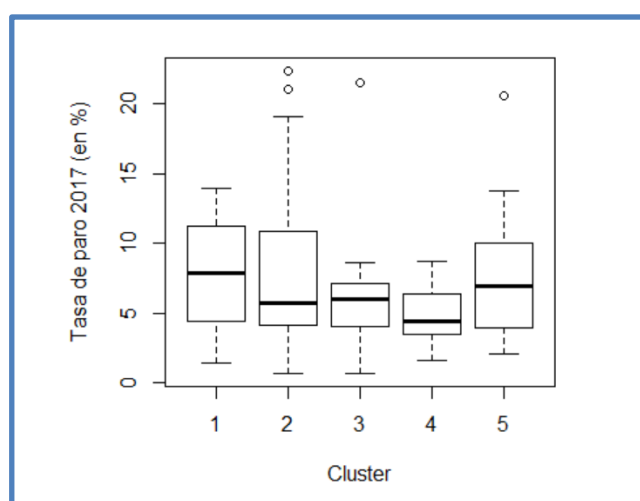


Figura 5: *Boxplot* referente a la tasa de paro de los cinco clústeres

Fuente: elaboración propia

En definitiva, los resultados obtenidos hasta el momento no apoyan las conclusiones que esperábamos alcanzar.

Con el objetivo de comparar las tasas de paro de los distintos clústeres, inicialmente se estudió la posibilidad de aplicar la técnica ANOVA. En este sentido, el análisis de varianza prueba la significancia estadística de las diferencias de medias entre diferentes grupos (Tabachnick & Fidell, 2020: 69).

Para poder aplicar esta técnica deben de cumplirse una serie de condiciones: i) prueba de normalidad, ii) independencia y, iii) homocedasticidad.

Con respecto a la primera de las condiciones, se recurrió al test de normalidad de Shapiro-Wilks que plantea la hipótesis nula que una muestra proviene de una distribución normal. En todos los clústeres, salvo el segundo, se cumple la condición de normalidad. No obstante, como esta condición no se cumple para el clúster 2 es conveniente la aplicación de un test no paramétrico robusto a la falta de normalidad.

Por su parte, el test de Fligner-Killeen (1976), modificado por Conover et al. (1981), sirve para probar homogeneidad de varianzas (Correa, Iral & Rojas, 2006: 61). De esta manera, se trata de un test no paramétrico que compara las varianzas basándose en la mediana. Una vez aplicado el test de Fligner-Killeen en Rstudio, se concluyó que los datos son homocedásticos, es decir, hay igualdad de varianzas.

En vista de que no se verifica la hipótesis de normalidad, pero sí la de homogeneidad de varianzas, se recurrió al test de Kruskal-Wallis, que es un test no paramétrico robusto a la falta de normalidad. Se trata de una alternativa a ANOVA aplicable cuando los datos no son normales. En este sentido, se obtiene un p-valor de 0.2262 de manera que, como supera 0,1, no se puede rechazar la hipótesis nula. Así, los resultados obtenidos indican que no existen diferencias significativas, es decir, que todos los países tienen, en media, la misma tasa de paro.

Puesto que Kruskal-Wallis tiene menos potencia que un contraste paramétrico se procedió a la realización de un ejercicio complementario tomando en consideración únicamente el clúster con mayor porcentaje de energías con fuente renovable (clúster 1) y el clúster con el porcentaje más bajo (clúster 2) con el fin de hacer una comparación específica de los clústeres con comportamiento en la serie más distinto. El resultado confirma que no existen diferencias entre ambos clústeres (p-valor de 0.54).

Estudio con tres clústeres

Finalmente, con el objetivo de constatar lo dispuesto anteriormente, se procedió a realizar el mismo análisis, pero esta vez tomando en consideración un número diferente de clústeres en base a la visualización del dendrograma. De esta manera, se optó por tomar como referencia una altura de tres, resultando tres clústeres según se muestra a continuación en la figura 6:

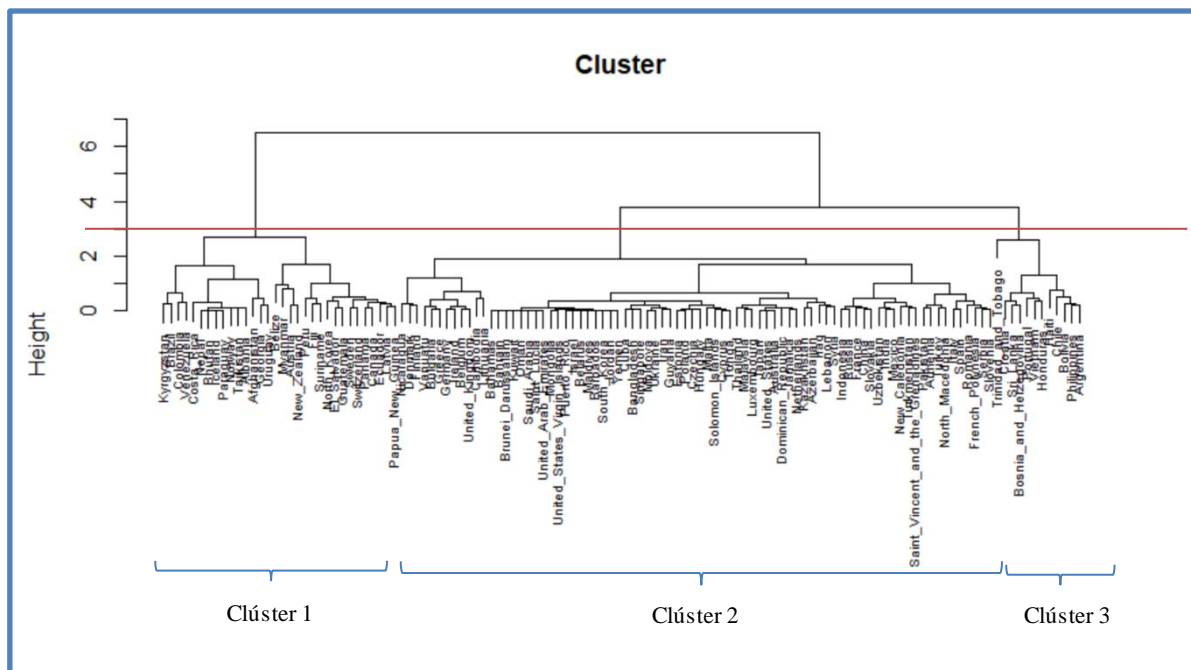


Figura 6. Análisis clúster de los países seleccionados. Dendrograma.

Fuente: elaboración propia

Al ejecutar la función `table(Grupos)` obtenemos que el primer clúster está compuesto por 32 países, el segundo por 80 y el tercero por 12, de esta manera, el orden coincide con la visualización de los grupos a través del dendrograma.

Respecto a la lógica y razonabilidad de los datos nos remitimos a lo dispuesto anteriormente, afirmando que los grupos formados por el algoritmo guardan coherencia con el *dataset*.

A continuación, se procedió a la visualización de las series temporales de cada uno de los clústeres y nuevamente, se decidió graficar el promedio de las mismas con el fin de facilitar su visualización y posterior interpretación, obteniéndose la figura 7:

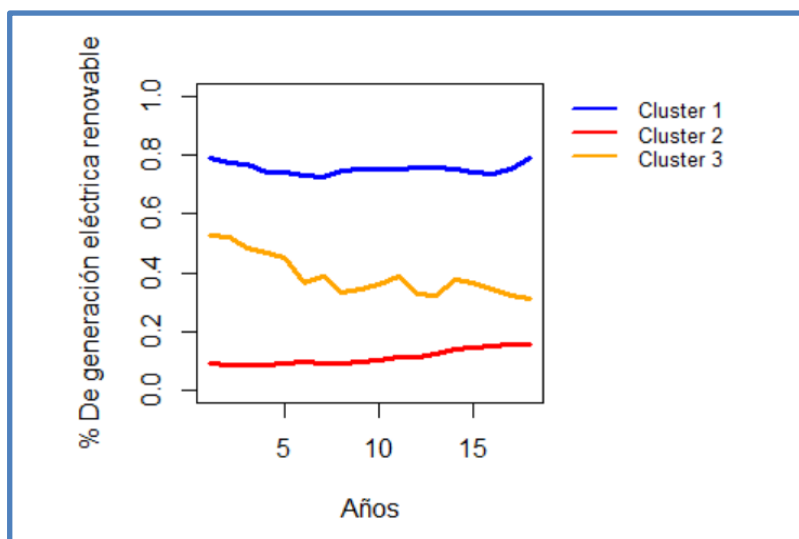


Figura 7: Evolución de los promedios de las series temporales de los tres clústeres

Fuente: elaboración propia

Mediante la interpretación del dendrograma y de la figura 7 concluimos que el clúster 2 integra los países con un menor porcentaje de energías con fuente renovable de manera que, conforme a la hipótesis de partida de este trabajo, se espera que este grupo ostente un mayor porcentaje de tasa de paro. Después, el clúster 3 es el que integra los países con el menor porcentaje energético. Finalmente, se prevé que los países que conforman el clúster 1 presenten la tasa de paro más baja puesto que su porcentaje de energías con fuente renovable es el más elevado.

A continuación, se procede a la casación de los datos energéticos con los referentes a las tasas de paro, partiendo de los tres clústeres formados.

Después de calcular la media de desempleo en cada clúster y su desviación típica, obtenemos el siguiente resultado:

Nº Clúster	% renovable	Media	Desviación típica
Clúster 1	1º	6.15	3.51
Clúster 2	3º	7.31	4.98
Clúster 3	2º	7.53	5.49

Tabla 2: tasas de paro (media y desviación típica) en cada clusters (3 clusters)

Fuente: Elaboración propia

Atendiendo a los datos relativos a la media de los clústeres, el clúster con mayor porcentaje de energías renovables, esto es el clúster 1, tiene, en media, la menor tasa de paro. Sin embargo, el clúster 3, que presenta un porcentaje menor que el clúster 1 pero superior al clúster 2, tiene una tasa de paro media superior a la del clúster 2.

Con el fin de extraer unas conclusiones más acertadas, se procede a la visualización del *boxplot* de la tasa de paro de los tres clústeres, obteniéndose la figura 8:

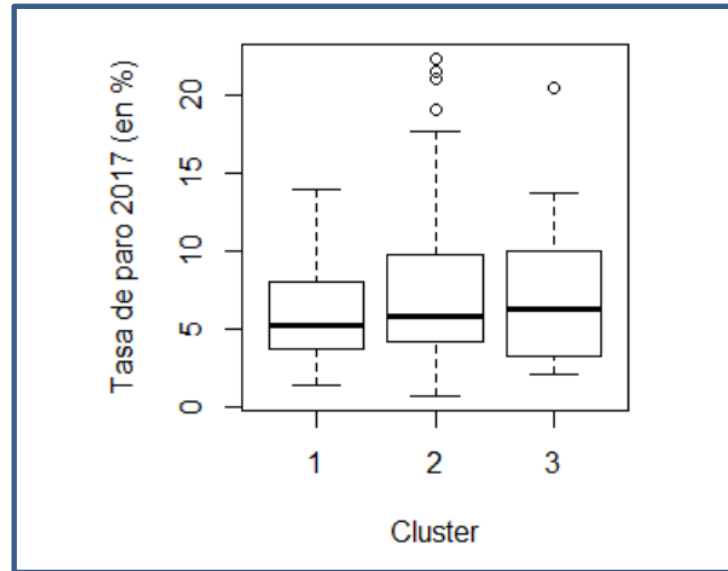


Figura 8: *Boxplot* referente a la tasa de paro de los tres clústeres

Fuente: elaboración propia

Con el fin de aplicar la herramienta ANOVA, se procedió al estudio de la normalidad a través del test Shapiro-Wilks. Únicamente el clúster 3 presentaba normalidad. Respecto a la homocedasticidad, a través del test de Fligner se verificó la homogeneidad de la varianza.

Nuevamente, se recurrió al test de Kruskal-Wallis obteniéndose como resultado un p-valor de 0,6917 siendo muy superior a 0,10. Por tanto, se acepta la hipótesis nula que afirma que los clústeres 1, 2 y 3 son similares.

A continuación, se volvieron a verificar las conclusiones mediante el estudio de los grupos más diferentes, es decir, los clústeres 1 y 2. Nuevamente no se encuentran diferencias estadísticamente significativas (p-valor de 0.40).

6. CONCLUSIONES

Como se ha afirmado al inicio de este trabajo, el objetivo último no es demostrar una relación causal entre la inversión en energías renovables y la tasa de desempleo, lo cual requeriría un análisis mucho más complejo que tomase en consideración otros factores que, sin duda, afectan a esta última variable. Por tanto, este trabajo ciñe su finalidad a evaluar, de un modo muy preliminar y exploratorio, la posible relación entre el peso de las energías renovables en el *mix* eléctrico y la tasa de desempleo. La hipótesis subyacente es que, si existiese una relación muy fuerte entre ambas variables, esta podría observarse incluso pese a no haber controlado otros factores de confusión

La agrupación que propone el algoritmo de *clustering* atiende a la similitud energética de los países en cuestión, habiendo formado grupos de países con un porcentaje de energía con fuente renovable similar entre sí (considerando la evolución completa de la serie temporal de 2000 a 2017), pero diferente a la de los integrantes del resto de clústeres. Posteriormente se han ligado estos clústeres a las tasas de desempleo en 2017, considerando que la evolución del *mix* eléctrico tiene un efecto en el desempleo a largo plazo. Es decir, que el paro que se observa en 2017 es consecuencia del histórico de inversiones en renovables desde 2000.

Los resultados obtenidos indican que no existen diferencias significativas entre los distintos clústeres, es decir, que todos los clústeres tienen, en media, una tasa de paro similar. Por tanto, estos resultados no respaldan la hipótesis de partida, esto es, “renewable energy consumption has a negative and significant effect on unemployment in the long-run” (Khobai et al, 2020: 170). Seguramente esta discrepancia se debe, como ya se ha indicado, al enfoque metodológico empleado, y un análisis más completo es muy posible que arrojase resultados diferentes.

La principal aportación de este trabajo es la implementación de las técnicas de *clustering* de series temporales, una técnica novedosa con un amplio campo de aplicación. Por tanto, este trabajo sirve como base para una investigación posterior, que efectivamente controle los distintos factores de confusión, y supone un paso hacia la implementación de esta metodología, poco utilizada hasta el momento, pero extremadamente útil.

7. BIBLIOGRAFÍA

- Acuerdo de París (Artículo 2.1.) (2015, diciembre). Recuperada el 5 de diciembre de 2020 <https://cutt.ly/EhnIG2m>
- Agencia Internacional de la Energía (IEA) (2018). *World Energy Outlook*. IAE Publications. Recuperado el 5 de diciembre de 2020 <https://cutt.ly/thnIXMj>
- Agencia Internacional de la Energía Eólica (IEA WIND) (2018). *Quiet Wind Turbine Technology* (Task 39). Recuperado el 5 de diciembre de 2020 de <https://cutt.ly/0hnI73I>
- Agencia Internacional de la Energía Eólica (IEA WIND) (2019). *Analysis of wind tunnel measurements and Improvement of aerodynamic models*. (Task 29). Recuperado el 5 de diciembre de 2020 <https://cutt.ly/khnOwJL>
- Agencia Internacional de Energías Renovables (IRENA) (2019a). *Las energías renovables representan casi tres cuartas partes de la nueva capacidad de 2019*. Comunicado de Prensa. Recuperada el 5 de diciembre de 2020 de <https://cutt.ly/VhnIJvS>
- Agencia Internacional de Energías Renovables (IRENA) (2019b). *Renewable Energy and Jobs. Annual Review 2019*. Recuperado el 5 de diciembre de 2020 de <https://cutt.ly/2hnOnsT>
- Agencia Internacional de Energías Renovables (IRENA) (2020a). *Perspectivas mundiales de las energías renovables transformación energética de aquí a 2050*. Recuperado el 5 de diciembre de 2020 <https://cutt.ly/ahnIBEA>
- Agencia Internacional de Energías Renovables (IRENA) (2020a). *Renewable Power Generation Costs in 2019*, International Renewable Energy Agency. Recuperado el 5 de diciembre de 2020 de <https://cutt.ly/WhnOral>
- Agencia Internacional de Energías Renovables (IRENA) (2020c). *Renewable Energy and Jobs. Annual Review 2020*. Recuperado el 5 de diciembre de 2020 de <https://cutt.ly/HhnOm2V>
- Agencia Internacional de Energías Renovables (IRENA) (2020d). *Conclusiones Principales. Perspectivas mundiales de las energías renovables transformación energética de aquí a 2050*. Recuperado el 5 de diciembre de 2020 de <https://cutt.ly/RhnOR5h>
- Amundarain, M. (2018). *La energía renovable procedente de las olas*. Ingeniería de Sistemas y Automática, UPV/EHU. País Vasco, España, 1-14. Recuperado el 10 de febrero de 2021 de <https://cutt.ly/JkUQ5qx>
- André, F. J., De Castro, L. M., & Cerdá, E. (2012). *Las energías renovables en el ámbito internacional*. Cuadernos económicos de ICE, 83, 11-36. Recuperado el 10 de febrero de 2021 de <https://cutt.ly/9kUWsrB>

- Arrieta, A. A., López, H. C., & Gómez, J. P. (2006). *Análisis de los parámetros para el diseño y optimización de un tubo radiante*. Revista Facultad de Ingeniería Universidad de Antioquia. Colombia, 31-39. Recuperado el 10 de febrero de 2021 de <https://cutt.ly/wkUWQNC>
- Arroyo, J.L. (2018). *Caracterización en la trilogía Foundation: un estudio cuantitativo basado en el análisis clúster*. Artnodes, N°22, 11-19.
- Asamblea General Naciones Unidas (2015, septiembre). *Transformar nuestro mundo: La Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible* (Objetivo 7). Recuperada el 5 de diciembre de 2020 de <https://cutt.ly/3hnIAME>
- Barcos Redín, L. (2019/2020). *Tema 2 Machine Learning III, técnicas de Clustering (parte I)*. Universidad Pontificia de Comillas.
- Castro-Martínez, C., Beltrán-Arredondo, L. I., & Ortiz-Ojeda, J. C. (2012). *Producción de biodiesel y bioetanol: ¿una alternativa sustentable a la crisis energética?* Ra Ximhai, n. 8(3b), 93-100. Recuperado el 10 de febrero de 2021 de <https://cutt.ly/QkUEt5M>
- Comisión Europea. (2019). *Pacto Verde Europeo*. Recuperado el 5 de diciembre de 2020 <https://cutt.ly/ghnI0WX>
- Consejo Europeo de Energías Renovables (EREC) (2010). *Renewable energy in Europe: markets, trends, and technologies*. Earthscan. Recuperado el 5 de diciembre de 2020 de <https://cutt.ly/QjWaETw>
- Consejo Global de la Energía Eólica (GWEC) (2018). *Global Wind Report: Annual Market Update 2017*. Recuperado el 5 de diciembre de 2020 de <https://cutt.ly/9hnOtzI>
- Correa, J. C., Iral, R., & Rojas, L. (2006). *Estudio de potencia de pruebas de homogeneidad de varianza*. Revista colombiana de estadística, 29(1), 57-76. Recuperado el 10 de febrero de 2021 de <https://cutt.ly/rkUEkfy>
- Díaz Velilla, J. P. (2005). *Sistemas de energías renovables*. Ediciones Paraninfo, SA. 2-18. Recuperado el 10 de febrero de 2021 de <https://cutt.ly/2kUETQz>
- Dussan, J. (2009). *Aproximaciones biológicas y fisicoquímicas en el tratamiento de contaminantes: un resumen del aporte de la Universidad de los Andes*. Revista de Ingeniería, n. 30, 100-111. Recuperado el 10 de febrero de 2021 de <https://cutt.ly/IkUEXrM>
- Espejo Marín, C. (2010). *Los nuevos paisajes de la energía solar: las centrales termosolares*. Universidad de Murcia, Campus de La Merced. Murcia, España, 65-91. Recuperado el 10 de febrero de 2021 de <https://cutt.ly/xkUE8Cd>
- Farrerons Vidal, Ó., Olmedo Torre, N., Caldach Pros, E., & Martínez, J. (2013). *Prospecciones de futuro de la energía termosolar en España y en el mundo*. Escola Universitària d'Enginyeria

- Tècnica Industrial de Barcelona. Barcelona, España, 3-72. Recuperado el 10 de febrero de 2021 de <https://cutt.ly/OkURWI8>
- Fernández, J. (2003). Energía de la biomasa. *Energías renovables para el desarrollo*. Thomson-Paraninfo. Energías renovables, 2-20. Recuperado el 10 de febrero de 2021 de <https://cutt.ly/pkURCdu>
- Galvez, G. H., González, L. P., & Almenares, L. H. (2018). *Impactos ambientales de la energía eólica*. Kuxulkab, 24(50), 15-22. Recuperado el 10 de febrero de 2021 de <https://cutt.ly/UkUTFvU>
- Gil García, I. C., García-Cascales, M. S., & Molina García, Á. (2019). *Revisión del recurso eólico: impacto global, retos y barreras para su integración en los sistemas eléctricos*. Obtenido el 22 de diciembre de 2020 de <https://cutt.ly/whNLxEt>
- González, J. R. Q., & González, L. E. Q. (2015). Energía mareomotriz: potencial energético y medio ambiente. *Gestión y ambiente*, 18(2), 121-134. Recuperado el 10 de febrero de 2021 de <https://cutt.ly/skUTmoe>
- Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía (IDAE) & Castro, A. (2006, octubre). Minicentrales hidroeléctricas. Recuperado el 5 de diciembre de 2020 de <https://cutt.ly/bhnOsjX>
- Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía (IDAE) & López-Cózar, J. M. (2016, octubre). *Guía Solar Térmica*. Recuperado el 5 de diciembre de <https://cutt.ly/ThnOiNh>
- Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía (IDAE). The Boston Consulting Group (BCG), & Margarit i Roset, J. (2011). *Evolución tecnológica y prospectiva de costes de las energías renovables. Estudio técnico PER 2011-2020*. Recuperado el 5 de diciembre de 2020 de <https://cutt.ly/zhnI68x>
- Jahoda, M. (1987). *Empleo y desempleo: un análisis socio-psicológico*. Ediciones Morata. 139. Recuperado el 10 de febrero de 2021 de <https://cutt.ly/5kUTLVI>
- Jauregui, M., Haim, P. A., Liftschitz, A. J., & Pelissero, M. A. (2017). *Análisis de los efectos ambientales de la generación de energía undimotriz en el puerto Quequén, provincia de Buenos Aires, República Argentina*. Buenos Aires, Argentina, 1-28. Recuperado el 10 de febrero de 2021 de <https://cutt.ly/hkUYeIm>
- Khobai, H., Kolisi, N., Moyo, C., Anyikwa, I., & Dingela, S. (2020). *Renewable energy consumption and unemployment in South Africa*. *International Journal of Energy Economics and Policy*, 10(2), 170-178. Recuperado el 10 de febrero de 2021 de <https://cutt.ly/skUYjIS>

- Lamas, D. G. (2020). *Las sombras de la energía solar fotovoltaica. Análisis de los impactos negativos de su aprovechamiento en el medio ambiente*. Perspectivas Metodológicas. Universidad Nacional de Lanús. Argentina, 1-8. Recuperado el 10 de febrero de 2021 de <https://cutt.ly/mkUY2OY>
- Montero, P., & Vilar, J. A. (2014). *TSclust: An R package for time series clustering*. Journal of Statistical Software, 62(1), 1-43. Recuperado el 10 de febrero de 2021 de <https://cutt.ly/xkUYZbN>
- Moragues, J. A., & Rapallini, A. T. (2004). Aspectos ambientales de la energía eólica. *Documento del Instituto Argentino de la Energía*. Buenos Aires, Argentina, 1-10. Recuperado el 10 de febrero de 2021 de <https://cutt.ly/8kUUraM>
- Observatorio de la Organización Internacional del trabajo (OIT) (2020a, abril). *El COVID-19 y el mundo de trabajo*. (Segunda edición). Recuperado el 5 de diciembre de 2020 de <https://cutt.ly/FhnIK9e>
- Observatorio de la Organización Internacional del Trabajo (OIT) (2020b). *Crecimiento económico con alto coeficiente de empleo*. Recuperado el 5 de diciembre de 2020 de <https://cutt.ly/OhnOY1u>
- Organización Mundial de la Salud (OMS) (2015). *Libro verde sobre la salud mental*. Comisión de las Comunidades Europeas. Recuperado el 5 de diciembre de 2020 <https://cutt.ly/yhnIZwF>
- Prieto, A. G., & Gómez, M. J. (2020). *Estudio Ecológico sobre la relación entre desempleo y depresión en Europa en 2014*. Revista Enfermería CyL, 12(1), 43-51. Recuperado el 10 de febrero de 2021 de <https://cutt.ly/2kUUfkH>
- Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (2008). Informe sobre desarrollo humano 2007-2008. *La lucha contra el cambio climático: Solidaridad frente a un mundo dividido*. Mundi-Prensa Libros. Recuperado el 10 de febrero de 2021 de <https://cutt.ly/lkUUmqy>
- Santamarta, J. (2004). *Las energías renovables son el futuro*. World Watch, 1-7. Recuperado el 10 de febrero de 2021 de <https://cutt.ly/0kUUP1O>
- Servais, J. M. (2020). El COVID 19. *¿Qué nos dice la OIT?*. Noticias CIELO, 2. 1-5. Recuperado el 10 de febrero de 2021 de <https://cutt.ly/skUUKIy>
- Sierra, C. A. S., & Barrios, R. L. A. (2013). *Biogás a partir de residuos orgánicos y su apuesta como combustibles de segunda generación*. Ingenium Revista de la facultad de ingeniería, 14(28), 6-15. Recuperado el 10 de febrero de 2021 de <https://cutt.ly/QkUU1eO>
- Jarabo Friedrich F. (2020). *Energía Solar*. La Energía Solar (Resumen). Vol. 15, 1-33. Recuperado el 10 de febrero de 2021 de <https://cutt.ly/1kUU6Vg>

Tabachnick, B. G., & Fidell, L. S. (2007). *Experimental designs using ANOVA*. Belmont, CA: Thomson/Brooks/Cole. Recuperado el 10 de febrero de 2021 de <https://cutt.ly/4kUIiwW>

Terrádez, M., & Juan, A. A. (2003). *Análisis de la varianza (ANOVA)*. Universidad Oberta de Catalunya. Cataluña, España, 1-18. Recuperado el 10 de febrero de 2021 de <https://cutt.ly/JkUIhmc>