

upna

Universidad Pública de Navarra
Nafarroako Unibertsitate Publikoa

fec >>

school of economics
and business administration

facultad de ciencias
económicas y empresariales

ekonomia eta enpresa
zientzien fakultatea

Facultad de Ciencias Económicas y
Empresariales

TRABAJO FIN DE GRADO EN
ECONOMÍA

LA GENERACIÓN SOLAR Y SUS
DETERMINANTES

Laura Ciriza Vera

Pamplona-Iruña 5 de septiembre de 2023

Módulo:

Análisis económico

DIRECTOR:

EMILIO J. DOMÍNGUEZ

IRASTORZA

RESUMEN

Tanto el sector solar como el conjunto de todas las tecnologías de generación eléctrica renovable han tenido un crecimiento exponencial en las últimas décadas. Este trabajo aborda el análisis de esos factores de desarrollo y la dependencia que tiene la generación fotovoltaica con un conjunto de variables externas de interés. En la primera parte del estudio, se implementará un enfoque macroeconómico para entender las fluctuaciones y tendencias que están siguiendo los mercados en los últimos años. Más tarde, se expondrá un análisis econométrico mediante la confección de modelos VECM (Vector Error Correction Model) obtenidos mediante el software de libre distribución Gretl, con la finalidad de aportar un enfoque formal que permita explicar de las relaciones dinámicas que se observan. Finalmente, con los modelos construidos, se extraerán predicciones a futuro sobre las sendas que se prevé que tome la generación de energía eléctrica. De esta manera, teniendo una perspectiva de la totalidad del estudio, se podrá comprender de mejor manera tanto el sector como sus núcleos de crecimiento.

ABSTRACT

Both the solar sector and the entire array of renewable electricity generation technologies have experienced exponential growth in recent decades. This paper addresses the analysis of these developmental factors and the dependence that photovoltaic generation has on a set of relevant external variables. In the first part of the study, a macroeconomic approach will be implemented to understand the fluctuations and trends that markets have been following in recent years. Later on, an econometric analysis will be presented through the construction of Vector Error Correction Models (VECM), obtained using the open-source software Gretl. The goal is to provide a formal approach that allows for an explanation of the dynamic relationships being observed. Finally, with the constructed models, future predictions will be extracted regarding the paths that electric power generation in projected to take. In this way, by obtaining an overview of the entire study, a more comprehensive understanding can be achieved of both the sector itself and its growth nuclei.

PALABRAS CLAVE

Modelo VECM; Sector solar; Energía renovable; Predicciones; Generación eléctrica.

1. INTRODUCCIÓN	4
1.1. Antecedentes	4
1.2. Motivación del estudio	5
2. ANALIZANDO EL SECTOR SOLAR.....	5
2.1. Economía y generación de energía	5
2.2. Variables de estudio.....	8
2.2.1. Energía solar generada (ES).....	9
2.2.2. Energía renovable generada (ER)	11
2.2.3. Energía total generada (ET)	14
2.2.4. Precio del petróleo (PP).....	16
2.2.5. Índice de Producción Industrial (IPI)	18
2.3. Análisis y relaciones entre ellas	19
2.3.1. Anomalía COVID.....	19
2.3.2. La estacionariedad y sus diferencias.....	20
3. EVIDENCIAS EXTRAÍDAS	22
3.1. Eficiencia energética	23
3.2. Sustitución en la generación	23
4. MODELOS A UTILIZAR.....	24
4.1. Modelo Univariante sobre PP.....	25
4.2. Modelo Bivariante sobre IE, IPIt	27
4.3. Modelo Bivariante sobre ER/ET, ES/ER	31
5. RESULTADOS DEL ESTUDIO.....	33
5.1. Predicciones	34
5.2. Análisis dinámico de las relaciones entre variables.....	40
5.2.1. Respuestas al impulso.....	41
5.2.2. Descomposición de la varianza	44
6. CONCLUSIONES	47
7. BIBLIOGRAFÍA	50
8. ANEXO 1. EXTRACCIÓN DE DATOS (VARIABLES).....	52

1. INTRODUCCIÓN

1.1. Antecedentes

Son muchos los estudios que señalan la energía como uno de los principales conductores del crecimiento económico. Desde los hogares hasta la totalidad de los sectores industriales, requieren de energía para poder desarrollar su actividad. En los últimos años, la preocupación general por los ecosistemas y el medioambiente ha llevado a un trasvase de generación de energía desde combustibles fósiles hasta energías de carácter renovable. El crecimiento renovable ha sido prometedor, según la Agencia Internacional de la Energía (2023), el año 2022 fue un año récord para la creación de capacidad eléctrica renovable, además, el suministro de energía procedente de la energía solar, eólica, hidráulica, geotérmica y oceánica aumentó cerca del 8%. Este crecimiento que se ha observado en los últimos años se prevé que se expanda aún en mayor medida sobre cifras cercanas al 13%.

Han existido dos claros impulsores en el aceleramiento de la transición hacia un sistema de producción energética más sostenible. Por un lado, se observa el gran efecto de políticas impuestas por la Unión Europea tales como REPowerEU o la Directiva de Energías Renovables (RED) entre otras. Sin duda, la preocupación global por el medio ambiente y la cantidad de legislación favorable en materia de energía limpia, han crecido a lo largo del tiempo de manera proporcional. Esta circunstancia se relaciona con el segundo impulsor del crecimiento, los avances tecnológicos. Se han logrado grandes progresos en áreas como el almacenamiento de energía o el gradual aumento de eficiencia que han experimentado los paneles solares y las turbinas eólicas. Todo esto en conjunto, ha permitido que la energía renovable irrumpa en el mercado al ser ahora más costo-efectiva, tanto porque existen ayudas a la inversión y ventajas fiscales en su instalación por parte de los organismos legislativos, como porque ahora una misma tecnología es capaz de generar más producción que años atrás.

Teniendo en cuenta lo expuesto como el marco global de crecimiento de las energías renovables, podemos entender el contexto en el que empieza a brotar el interés en el sector solar fotovoltaico. Esta tecnología, si se mira en conjunto con el resto, ha sido prácticamente inexistente en cuanto a datos en referencia a capacidad de generación hasta el año 2010. Al tratarse de una tecnología relativamente reciente está, como cualquier sector incipiente, en su máxima capacidad de crecimiento en innovación y mejoras de eficiencia. Según IRENA (2019), el principal motor de expansión del sector solar es su vertiginosa bajada en costes de producción, en comparación con el resto de las

alternativas, impulsado por los grandes avances tecnológicos. Esto la acerca hacia la idea de que se convierta en una de las fuentes más rentables en los próximos años.

En resumen, todo lo expuesto induce a pensar que la generación solar tiene un futuro prometedor, pero para comprender sus motores de crecimiento y relaciones con la economía, se precisa un estudio analítico más profundo.

1.2. Motivación del estudio

El interés del análisis surge a raíz de la realización de prácticas extracurriculares durante la carrera universitaria. Parte de la estancia en la misma fue en un departamento de desarrollo de negocio, donde se entendió la vital importancia y el impacto de las previsiones en la toma de decisiones empresariales. Esta idea y la amplia formación y conocimientos técnicos adquiridos durante el grado fueron el principal detonante para realizar un estudio en profundidad de un sector de la economía, junto con la estimación de proyecciones a futuro para este. En conclusión, se realiza este análisis con la finalidad de poner en valor los conocimientos adquiridos durante el transcurso de la vida académica.

2. ANALIZANDO EL SECTOR SOLAR

Se comienza el estudio exponiendo las relaciones que mantiene el sector solar con el conjunto de tecnologías de generación existentes y con la economía en su totalidad. Analizar los principales determinantes y nexos que puede mantener la producción solar, permitirá adquirir información valiosa sobre qué relaciones se incorporarán al modelo de estudio para explicar sus posibles fluctuaciones.

2.1. Economía y generación de energía

La generación y el consumo de energía desprende grandes efectos en el mundo actual. Según la literatura preexistente, sabemos que se han encontrado grandes influencias en tres pilares principalmente: economía, medioambiente y sociedad.

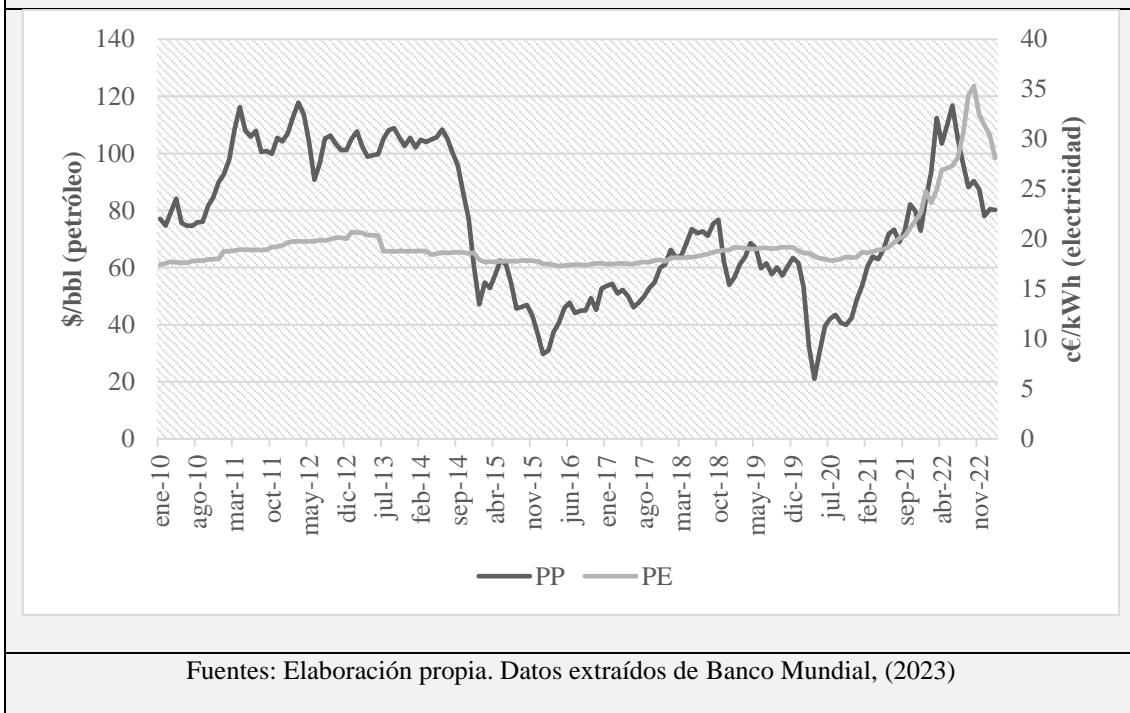
Vamos a tomar como referencia el pilar económico para entender de mejor manera las variables macroeconómicas que se van a tener en cuenta a la hora de realizar el estudio. La finalidad de incluir las mismas es poder desglosar y explicar de una manera más sólida el comportamiento de las distintas fuentes de generación en conjunto con la dinámica que ha mostrado la economía tanto en el presente como más tarde, mediante proyecciones, en el futuro.

La primera variable a considerar será una que refleje información sobre la producción en la economía. Para entender el interés en la misma y si tenemos en cuenta las leyes de la física tal y como hacen los economistas ambientales, se desglosa rápidamente la idea de que la producción requiere de energía, ya que es esta misma, la que permite transformar materiales en productos terminados a disposición del público. Si se piensa en cualquiera de los factores de producción que se mencionan habitualmente en literatura económica (trabajo, tierra, capital y tecnología), se llega a la conclusión de que la energía forma una parte esencial en cualquiera de ellos. El índice de carácter económico que inicialmente se deriva de la producción es el Producto Interior Bruto (PIB), sin embargo, ésta no será la elección final. Una de las particularidades del sector solar es su reciente incursión en la generación de energía renovable, sólo es a finales de los años dos mil cuando esta tecnología comienza a producir energía en porcentajes significativos o apreciables, concentrando en el año 2.010 en torno a un 1% de la generación total renovable. Por lo tanto, al no existir un horizonte temporal de estudio muy prolongado y para intentar extraer la máxima cantidad de datos posibles, no se utilizará el PIB como indicador de producción al sólo tener como máximo nivel de desglose datos trimestrales. El indicador que se utilizará como alternativa al PIB, será el Índice de Producción Industrial o IPI al proporcionar datos mensuales.

Siempre que se estudian cambios, efectos y tendencias en variables que generan un determinado bien o servicio, es apropiado tener en cuenta el posible efecto que tienen los precios en la misma. Dos tipos de precios pueden ser relevantes, los propios del producto o servicio y los de la alternativa si existe. En este caso, al centrarse el interés del estudio en el sector solar, toman relevancia tanto el precio de la electricidad, como medidor del precio que toman las energías renovables al producir siempre energía eléctrica, y el precio del petróleo en representación de los combustibles fósiles. Para determinar cuál de los dos se tomará para el estudio, se analizan ambos en conjunto. Inicialmente se muestra en la Figura 1 la totalidad de la muestra para ambos precios.

Tal y como se muestra en el gráfico, el precio de la electricidad se disparó aproximadamente a partir de mayo de 2021. Este fue uno de los ya conocidos efectos post pandémicos que repercutió y sigue repercutiendo a día de hoy en la economía mundial. Los países se adentraron en una problemática inflación que se vio agravada por el inicio del conflicto armado entre Rusia y Ucrania a finales de febrero de 2022. Este hecho causó perturbaciones especialmente reseñables en los precios de la electricidad en Europa por su alta dependencia con el gas ruso.

Figura 1: Comparativa temporal entre el precio del petróleo y la electricidad

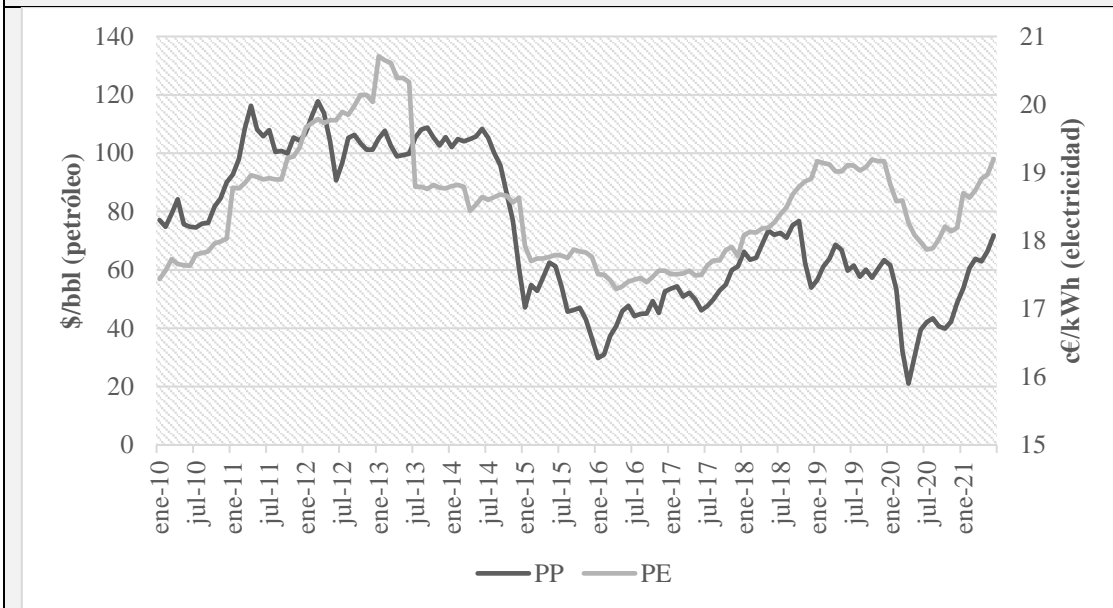


Fuentes: Elaboración propia. Datos extraídos de Banco Mundial, (2023)

Como resultado de estos dos sucesos, se ha producido una gran desviación en el precio del kilovatio-hora y esto llevará, al no tener una gran cantidad de observaciones, a la realización de unas predicciones menos alineadas con la realidad.

Los dos eventos expuestos parecen haber tenido un efecto mucho menos acusado en el precio del petróleo y a priori, podría parecer una mejor elección incluir éste en el modelo predictivo. Además, el precio del petróleo puede ofrecer otra variedad de incentivos en su incorporación. El siguiente problema es que el precio de la electricidad es inicialmente un indicador de mayor interés para el estudio en contraposición al precio del petróleo, pero si observamos sus sendas sin incorporar el espacio temporal de gran deformación en los datos, como se expone en la Figura 2, se desglosa una significativa tendencia compartida en la muestra entre ambos. Esta gran similitud entre las variables nos permitirá aumentar el interés en los precios del petróleo al tener sendas que permitan así, establecer comparaciones con las que podrían originarse en la variable referida a la electricidad. La similar tendencia observada en el gráfico se completa con la tan extensa literatura existente sobre la correlación entre ambos precios, las economistas Bencivenga, Sargenti y D'Ecclesia (2010) señalan que “desde hace años la electricidad, el gas natural y el petróleo han sido productos sustitutivos en la generación de energía y la industria. Como consecuencia, los movimientos en los precios del gas natural y la electricidad generalmente han seguido a los del petróleo” (p. 23–32).

Figura 2: Comparativa temporal entre el precio del petróleo y la electricidad excluyendo el periodo COVID



Fuentes: Elaboración propia. Datos extraídos de Banco Mundial, (2023)

El último punto de interés alrededor del precio del petróleo es su gran vínculo con los factores macroeconómicos. En concreto Bachmeier y Plante (2020) tratan de explorar mediante la construcción de modelos VAR (Vector Autoregressive o Autorregresivo Vectorial) y DSGE (Dynamic, Stochastic General Equilibrium o Equilibrio General Dinámico y Estocástico) los conectores existentes entre el precio del petróleo y la actividad económica o la política monetaria.

Teniendo en cuenta toda la información recopilada, la variable referente a los precios que finalmente se incorporará al modelo, con la idea de poder aportar al mismo mayor poder de explicación y predicción, será el precio del petróleo.

2.2. Variables de estudio

Antes de la constitución del modelo econométrico a realizar, para poder obtener las predicciones objeto de estudio de la manera más acertada según las particularidades de los datos, se exponen las variables que se pretende incorporar para analizar detalladamente las características muestrales y proceder con la etapa de identificación.

Los datos proporcionados para las variables se han extraído para todos los países en conjunto de la Unión Europea que también pertenecen a la OCDE. La finalidad de acotar la muestra dentro de ese espacio geográfico tan concreto surge de la intención de poder observar detalladamente y dar explicación a cambios significativos en las variables de

generación de energía a través de cambios legislativos. Como se ha mencionado anteriormente, la legislación ha jugado un importante papel en los cambios de tendencia de generación según tecnología al tratar de alcanzar la meta de ser neutrales en carbono. Finalmente, los datos se proporcionarán a partir de 2010 y en carácter mensual con la intención de poder obtener el máximo nivel de desglose.

Este primer acercamiento a los datos tiene como objetivo entender el tipo de variables que se están manejando para, más adelante, al observarlas en conjunto, poder realizar las modificaciones necesarias.

A continuación, se comienza enumerando las variables seleccionadas y se extrae, tanto información relevante que se pueda observar en la misma, como un breve análisis univariante.

2.2.1. Energía solar generada (ES)

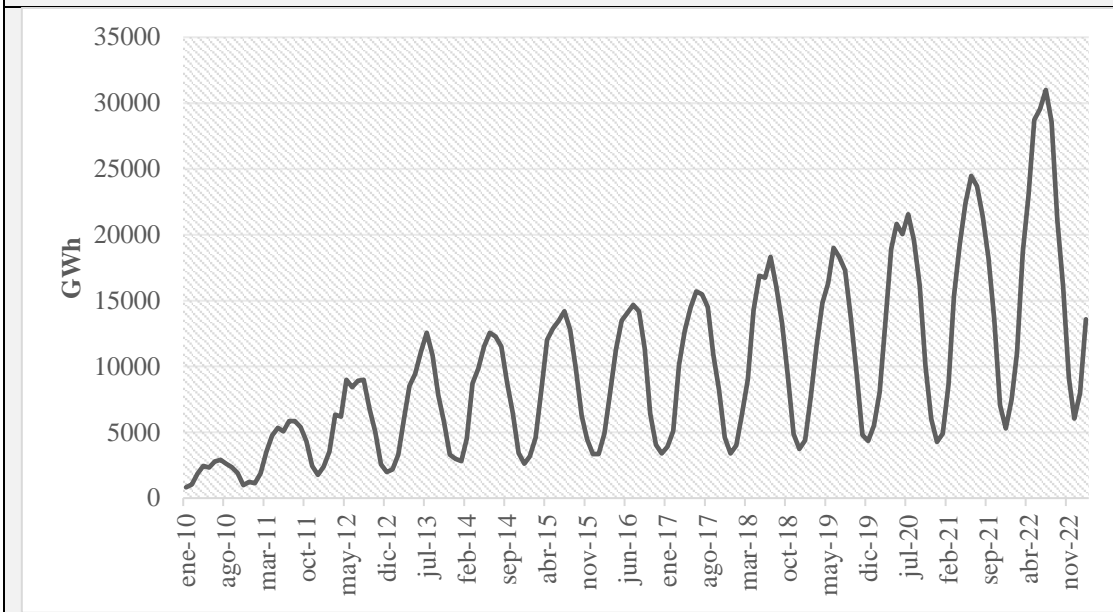
Esta variable mide la cantidad de energía que se genera en todos los países de la OCDE que pertenecen a la UE usando radiación solar. Se incluye tanto tecnología fotovoltaica como termal y está medida en GWh. Los datos han sido extraídos de la Agencia Internacional de la Energía (AIE) y conformará la variable de principal interés del estudio. Un primer análisis en las tendencias que proporciona la Figura 3 muestra tres crecimientos claramente diferenciados en bloques. El primero de ellos, que comienza en enero de 2010 y se mantiene hasta principios de 2014, muestra un crecimiento claramente más acusado que el periodo que le sucede.

Este primer impulso en el crecimiento se vincula en gran medida a la Directiva de Energías Renovables (RED) mencionada anteriormente. Gracias a las subvenciones y ventajas fiscales que se otorgaron a la constitución de placas solares, el sector aumentó su competitividad frente al resto de competidores.

El segundo bloque muestra un estancamiento del crecimiento que se venía experimentando y se prolongó hasta mediados del año 2019. La crisis financiera golpeó fuertemente a Europa durante esa etapa y muchos países europeos comenzaron a implementar recortes. Éstos afectaron en gran medida a los subsidios, beneficios fiscales y Tarifas de Alimentación implementados con anterioridad en referencia al sector solar, que estaba en pleno auge en esos momentos.

El tercer y último bloque parte desde el 2019 hasta la actualidad. Desde Europa se vuelven a retomar políticas en favor de las energías limpias como el Pacto Verde Europeo o REPowerEU, volviendo a aumentar la competitividad del sector.

Figura 3: Gráfico temporal sobre la generación de energía eléctrica solar



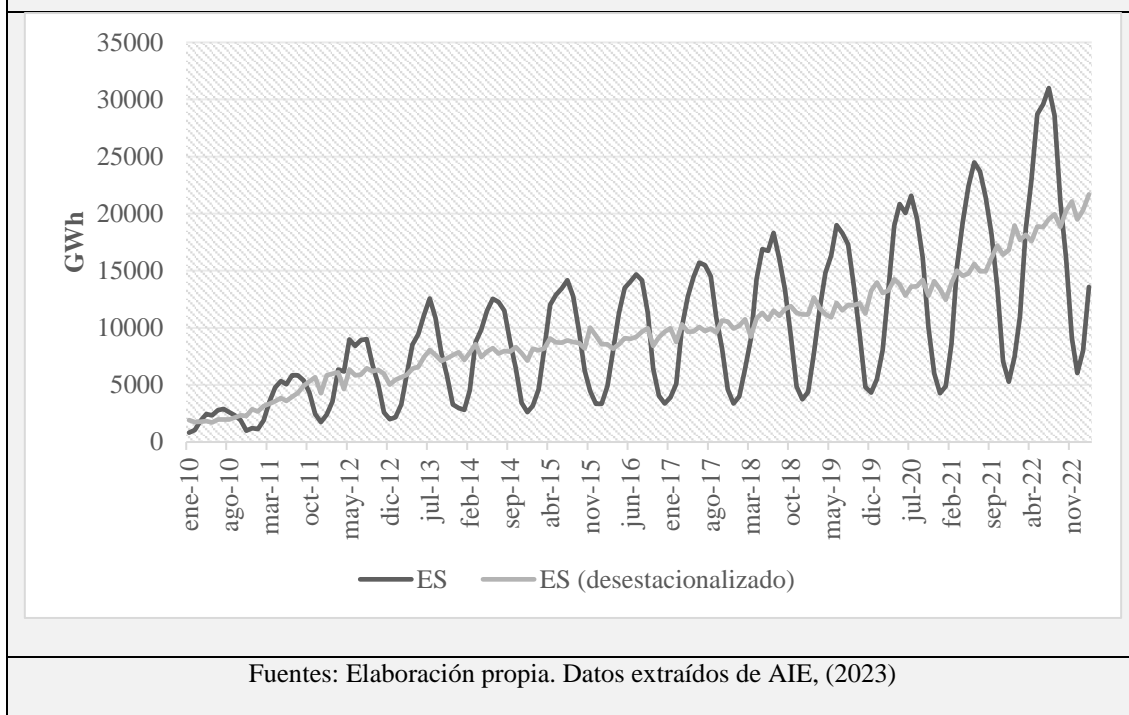
Fuentes: Elaboración propia. Datos extraídos de AIE, (2023)

Este último bloque es el que conforma el crecimiento más acusado de todos y su principal motivo de expansión, como ya se ha adelantado en el estudio, su bajada de costes de producción comenzando a ser una de las tecnologías más rentables en su instalación.

Por otra parte, se observa en el gráfico un alto componente estacional. Esto provoca que todos los meses de verano la generación eléctrica sea muy superior a la del resto del año y a la inversa en invierno. Este tipo de patrones repetitivos en intervalos regulares es lo que se conoce como estacionalidad. Que exista presencia de la misma en los datos puede inducir a una serie de problemas tales como sesgos en las predicciones (al subestimar o sobreestimar las posibles cifras futuras) o errores en las proyecciones (al poder reflejar como constantes los aumentos en determinadas fases del año) entre otros. Una de las herramientas que permite controlar la calidad en las estimaciones pertinentes es la inclusión de variables ficticias estacionales en su cálculo para poder capturar así los efectos en los diferentes meses del año sin tener que modificar la variable principal. Otra posible herramienta es el análisis TRAMO-SEATS. Consiste en un programa de modelización de series temporales (TRAMO) en conjunto con un ajuste estacional (SEATS). La realización del mismo viene dada por Agustín Maravall y Víctor Gómez (Banco de España) y es tanto utilizado por el INE, como recomendado por EUROSTAT entre otros organismos oficiales. Este análisis está integrado en muchos programas incluido Gretl (que es con el cual se procederá a la realización de las estimaciones), sin

embargo, utilizaremos el mismo para recalculamos la nueva variable desestacionalizada con una intención meramente comparativa. La razón de elegir finalmente la inclusión de variables ficticias estacionales en la constitución de los modelos se apoya en la idea de no perder la característica forma estacional de las variables en las proyecciones y poder así observar las oscilaciones reales en GWh generados a través de las observaciones. Teniendo en cuenta todo lo anterior, se recalcula la nueva variable desestacionalizada mediante TRAMO-SEATS y se desglosa en la Figura 4 para observar la desaparición del componente estacional:

Figura 4: Gráfico temporal para la variable ES, datos brutos y desestacionalizados



Teniendo en cuenta la senda de crecimiento que se observa en el gráfico (tanto con su corrección estacional como sin ella) se llega a la conclusión de que puede tratarse de una variable no estacionaria. Para confirmar esta condición, se realiza un contraste aumentado de Dickey-Fuller (ADF) incluyendo variables ficticias estacionales. Los resultados del contraste (valor $p = 0,4629$) nos ratifican la existencia de una tendencia estocástica en la misma.

2.2.2. Energía renovable generada (ER)

Muestra la cantidad de energía generada por parte de todas las tecnologías renovables,

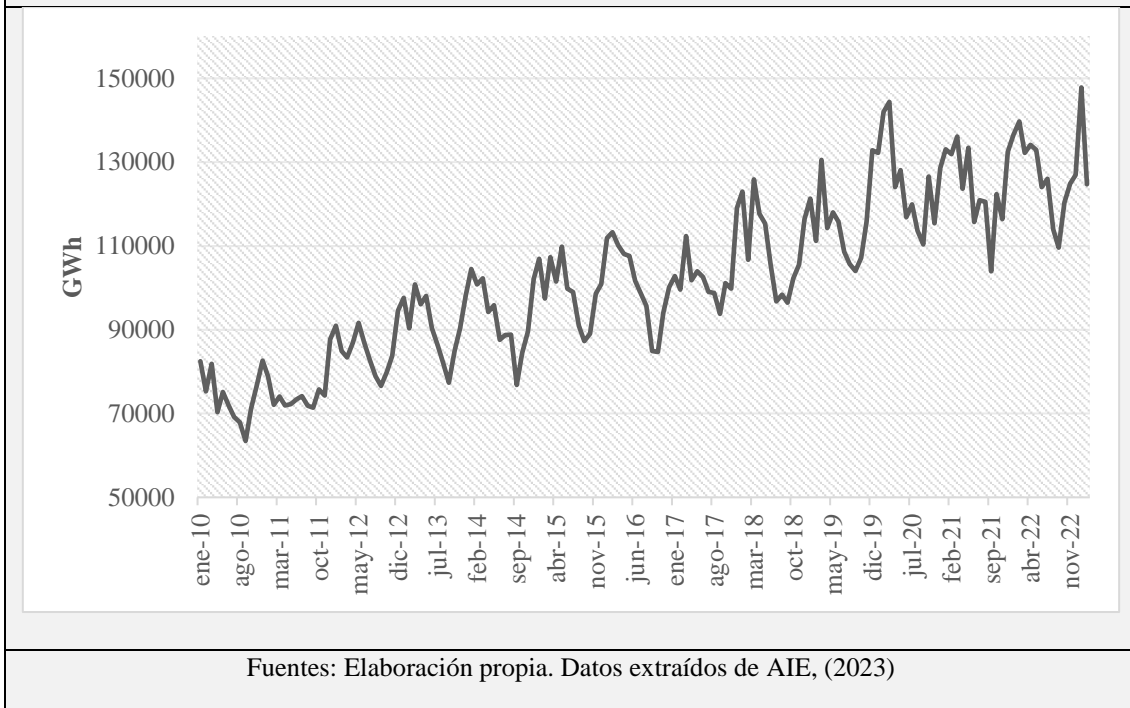
entre las que se incluyen hidrógeno, eólica, solar, geotermal y otras de menor tamaño, y combustibles renovables. El valor está dado en GWh y los datos vuelven a estar extraídos de la Agencia Internacional de la Energía (AIE).

La finalidad de incluir esta variable parte de la idea de poder entender, comparar y establecer dinámicas conjuntas entre el crecimiento del sector renovable respecto al solar. Un análisis que incorpore los sectores con los que mantiene relación directa, permitirá observar los efectos que tiene sobre la generación solar las tendencias o posibles cambios que surjan de los mismos. Es impensable no incorporar la tecnología renovable en su totalidad si se pretende llegar a comprender los factores de crecimiento en la generación solar. Esto nos permitirá analizar el mercado con una perspectiva relativa respecto a sus alternativas y enriquecerá el estudio al poder poner en óptica la verdadera relevancia que está tomando la expansión de la energía solar dentro de una tendencia compartida.

Al igual que en el recientemente analizado sector solar, la Figura 5 muestra que la tendencia general en el periodo de estudio ha sido creciente. Sus principales impulsos han sido, tanto la legislación favorable a raíz de la preocupación social por la implementación de políticas más limpias, como los avances tecnológicos que se han ido experimentando en las últimas décadas. En conjunto, según la Agencia Internacional de la Energía (2023), estos factores han desencadenado una reducción en los costes de instalación y por lo tanto en un creciente aumento del atractivo a la inversión en producción renovable. Como se puede observar en este caso, la generación renovable ha tenido un crecimiento sostenido a lo largo del tiempo sin haberse experimentado cambios de tendencia muy acusados.

Únicamente existen dos momentos en la muestra donde el crecimiento fluctúa con mayor intensidad y lo hace, además, en sentido negativo. En el primer semestre de 2010 se muestra una leve contracción en el crecimiento. Los principales detonantes que nos permiten entender este freno fueron los relacionados con la crisis financiera. Uno de los efectos provocados por la crisis, fue la dificultad para acceder al crédito. Esto tuvo un efecto directo en la ejecución de nuevos proyectos renovables al no poder disponer de financiación. Además, estos propios proyectos, se convirtieron en menos llamativos debido a los recortes en las subvenciones que existían para éstos con anterioridad. En resumen, esto supuso un freno al crecimiento tan consolidado que se ha ido observando hasta día de hoy. El segundo obstáculo se trata de la crisis COVID. Se paralizó la economía y con ella tanto la instalación de nueva capacidad productiva, como la necesidad de utilización de la ya existente, ya que la demanda energética sufrió una considerable disminución.

Figura 5: Gráfico temporal sobre la generación de energía eléctrica renovable

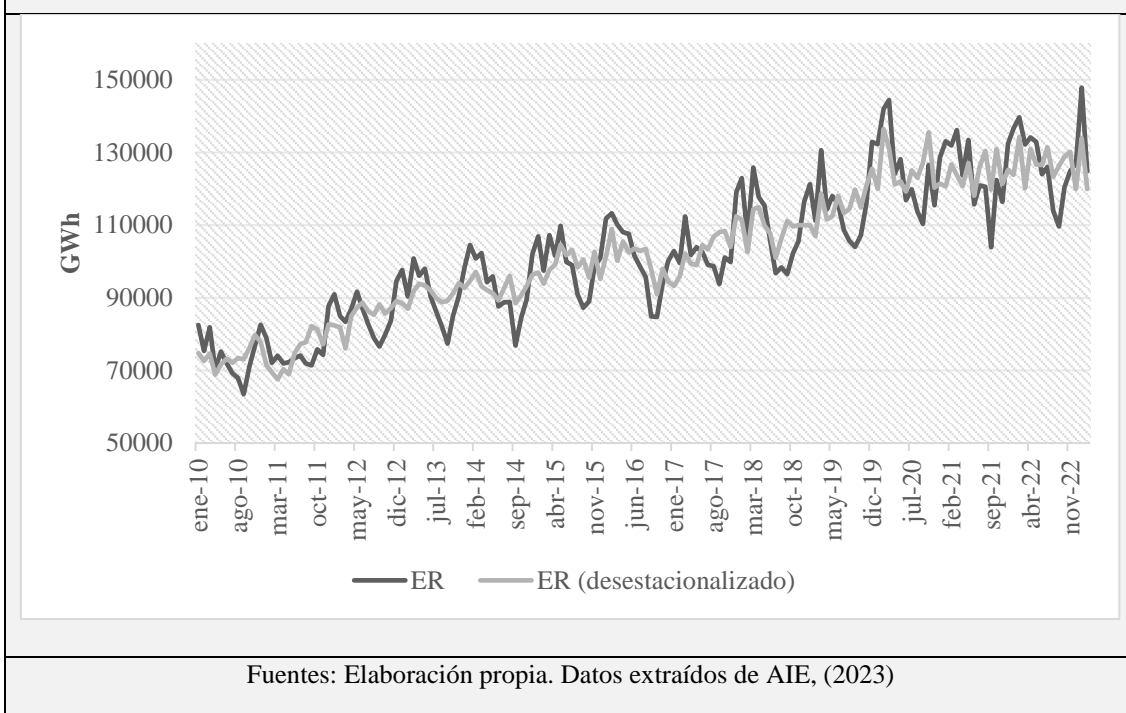


En resumen, la tendencia ha sido creciente y significativamente estable y sólo en dos ocasiones, ha sufrido ciertas variaciones.

De la misma manera, en la generación renovable se observa un gran componente estacional, tendiendo a ser la generación eléctrica claramente superior en los meses de marzo e inferior por media cada septiembre. Se volverá, de la misma manera, a corregir la estacionalidad con la inclusión de variables ficticias estacionales en las estimaciones. Además, se muestran en la Figura 6, de manera meramente informativa, las diferencias existentes entre la variable desestacionalizada mediante TRAMO-SEATS y la variable en nivel.

Si se tiene en cuenta las dos evidencias anteriormente expuestas, como son la tendencia creciente a lo largo de la muestra y la estacionalidad, se procede a detectar, mediante el contraste aumentado de Dickey-Fuller incluyendo variables ficticias, un comportamiento no estacionario. Los resultados (valor $p = 0,926$) nos permiten llegar a la conclusión de que se trata de nuevo, de una variable no estacionaria.

Figura 6: Gráfico temporal para la variable ER, datos brutos y desestacionalizados



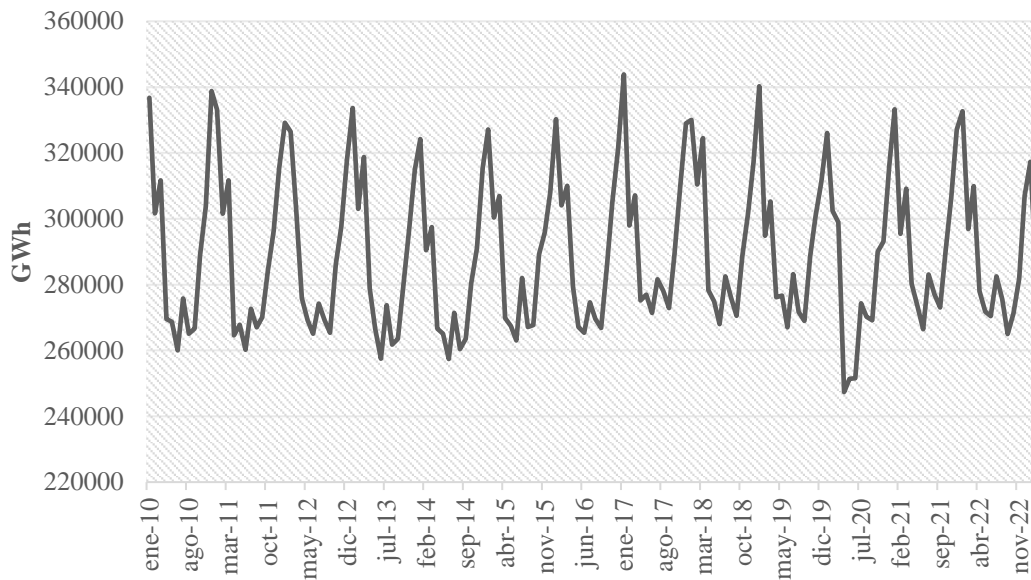
2.2.3. Energía total generada (ET)

Corresponde a la cantidad total de energía eléctrica generada en todos los países de la Unión Europea que pertenecen además a la OCDE. Se tiene en cuenta tanto producción renovable como no renovable y se medirá en cantidad de GWh generados.

Al igual que en el planteamiento sobre la inclusión de la cantidad de energía renovable, se introduce además la cantidad de energía generada total con la finalidad de observar los crecimientos relativos de las tecnologías en función de la dirección que toma la energía en su totalidad. Con este análisis más profundo se podrá determinar si se observan cambios de tendencia entre los sectores y, además, de qué manera se traspasan los efectos o shocks provocados en unos mercados hacia el resto. Como añadido, al incluir en el estudio proyecciones, se podrá anticipar las expectativas de que tipo de cambios son los que afrontará la generación energética los próximos años.

Si se centra la atención en la Figura 7 dispuesta, se observa que a lo largo del tiempo la tendencia ha sido sorprendentemente estática. Sólo es en los principales meses de la pandemia COVID donde se puede entrever un cambio más abrupto, aunque al igual que como se ha visto en los demás indicadores de generación, no demasiado intenso.

Figura 7: Gráfico temporal sobre la generación de energía eléctrica total



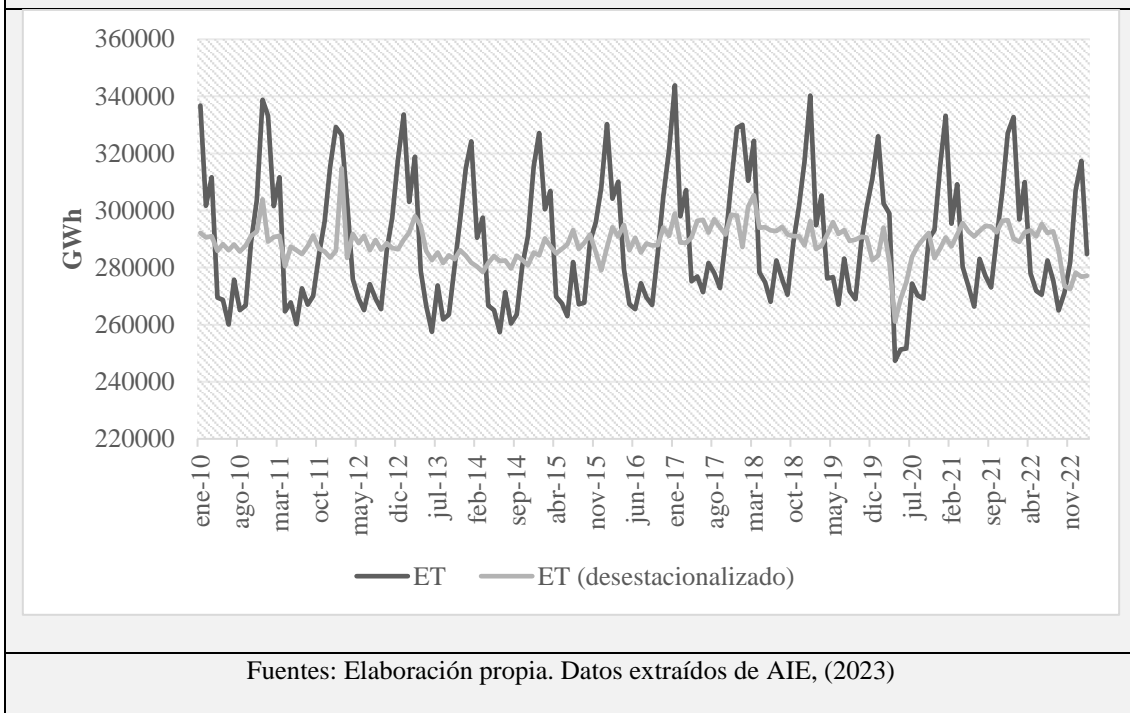
Fuentes: Elaboración propia. Datos extraídos de AIE, (2023)

Este descenso en la generación se achaca a la ya mencionada disminución en la demanda eléctrica al paralizarse la actividad económica. Al no necesitar tanto volumen energético, se pausó su respectiva generación.

La dispersión existente en los datos en secuencias mensuales vuelve a revelar la clara estacionalidad que contienen los mismos. Los meses de enero, tienen picos de generación muy superiores a los del resto del año mientras que, los meses de verano, la generación es a su vez sustancialmente inferior al resto de la temporada. Teniendo en cuenta esta situación, se incluirán de nuevo variables ficticias estacionales para la realización de las estimaciones pertinentes. También se refleja en la Figura 8, la variable con su correspondiente corrección de estacionalidad según en análisis TRAMO-SEATS para apreciar sus diferencias.

Se realiza en primer lugar el contraste aumentado de Dickey-Fuller (ADF) con la intención de poder determinar si se trata de un conjunto de observaciones de carácter estacionario o no. Las sospechas iniciales llevan a determinar que se trata de una variable estacionaria en contraposición de las anteriores. La realización del contraste (valor $p = 0,0001438$) no da señales de ninguna presencia de tendencias estocásticas.

Figura 8: Gráfico temporal para la variable ET, datos brutos y desestacionalizados



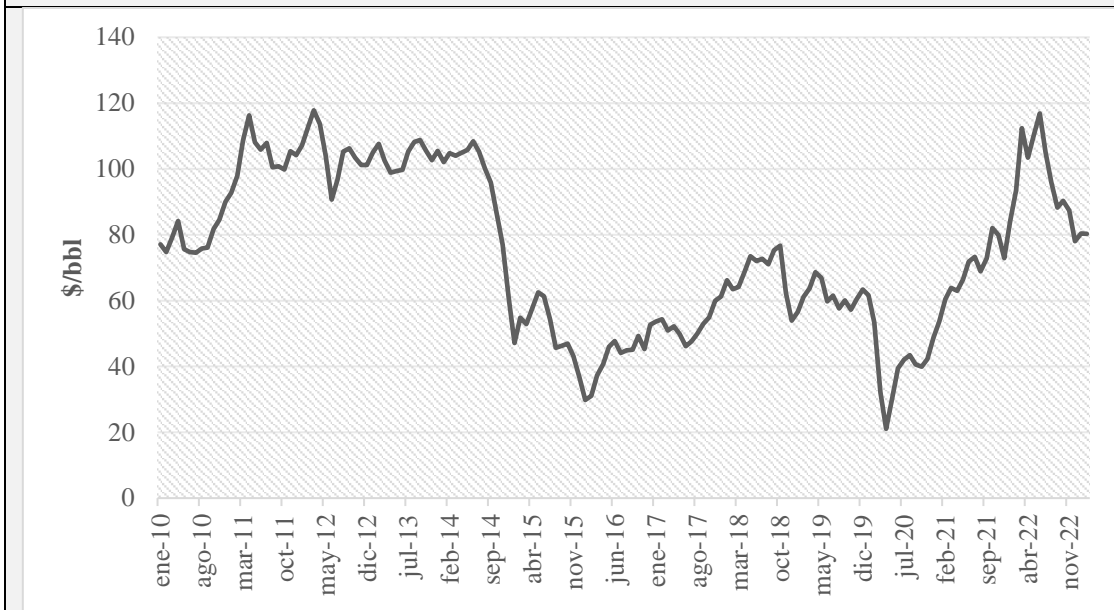
2.2.4. Precio del petróleo (PP)

Esta variable muestra la fluctuación del precio del petróleo a lo largo del periodo de estudio. La unidad de medida seleccionada es dólares por cada barril de petróleo. Se ha determinado el precio mediante la realización de una media del mercado petrolífero en Brent, Dubái y West Texas, que son los principales exportadores de petróleo, ponderados en la misma proporción. Los datos han sido extraídos de Banco Mundial.

Como se ha expuesto con anterioridad, se incluirá el precio del petróleo con la intención de poder observar, como parte del modelo de estudio, la relación que puede hallarse entre la generación energética y su posible vínculo con los precios existentes en la economía que, a su vez, representan las ya mencionadas relaciones con determinados factores macroeconómicos. De esta manera se podrá comprender mejor, tanto la relación entre la generación y el precio, como las proyecciones que se extraerán a futuro, e incluso, cómo se transmiten posibles shocks de una de las variables hacia la otra.

Si se centra la atención en las fluctuaciones que nos presenta la Figura 9, se denota rápidamente que uno de los cambios más notables fue la fuerte caída de los precios que se produjo a partir de mediados del 2014. Según Banco Mundial (2018) “el colapso de los precios del petróleo en el período de 2014-16 estuvo impulsado por un creciente exceso de oferta” (p. 18).

Figura 9: Gráfico temporal sobre el precio del petróleo



Fuentes: Elaboración propia. Datos extraídos de Banco Mundial, (2023)

Este incremento en la oferta vino producido por dos vertientes diferenciadas. Por un lado, Estados Unidos aumentó la producción debido a los avances tecnológicos que desarrollaron, permitiéndoles así, extraer crudo de lugares anteriormente inaccesibles. Por otra parte, la desaceleración económica principalmente en China y algunas partes de Europa redujo en mayor medida la demanda e incentivó aún más el exceso de oferta. Esta alteración en los equilibrios del mercado fue la causa de la gran caída en el precio. A esta etapa la sucede una de gran estabilización que abarca desde el año 2016 hasta el comienzo de la crisis COVID. El confinamiento permitió otra gran disminución en la demanda de petróleo y desembocó en una nueva caída, sin embargo y como es conocido, el precio del petróleo destaca por su gran volatilidad y la facilidad de respuesta ante cambios de tendencia. Los últimos años, ha vuelto a encarecerse en gran medida impulsado, según cuenta el Banco de España (2021), por las tensiones energéticas provocadas a raíz del conflicto con Rusia en conjunto con los recortes de producción que ha realizado la OPEP (Organización de Países Exportadores de Petróleo) en conjunto con sus socios.

Si se observa la tendencia en la totalidad de la muestra, vemos una clara fluctuación según el periodo de la muestra. Estas fluctuaciones pueden llevar a que la muestra no cumpla las propiedades necesarias para considerarse estacionaria ya que, características como su media o su varianza, pueden cambiar a lo largo del tiempo por la amplia variabilidad que experimenta el precio ante cambios en determinados factores económicos. Para

determinar finalmente si se trata de un comportamiento no estacionario, se realiza el contraste ADF sobre la variable en nivel. Los resultados del contraste (valor $p = 0,2674$) indican que la variable tiene un comportamiento no estacionario.

2.2.5. Índice de producción industrial (IPI)

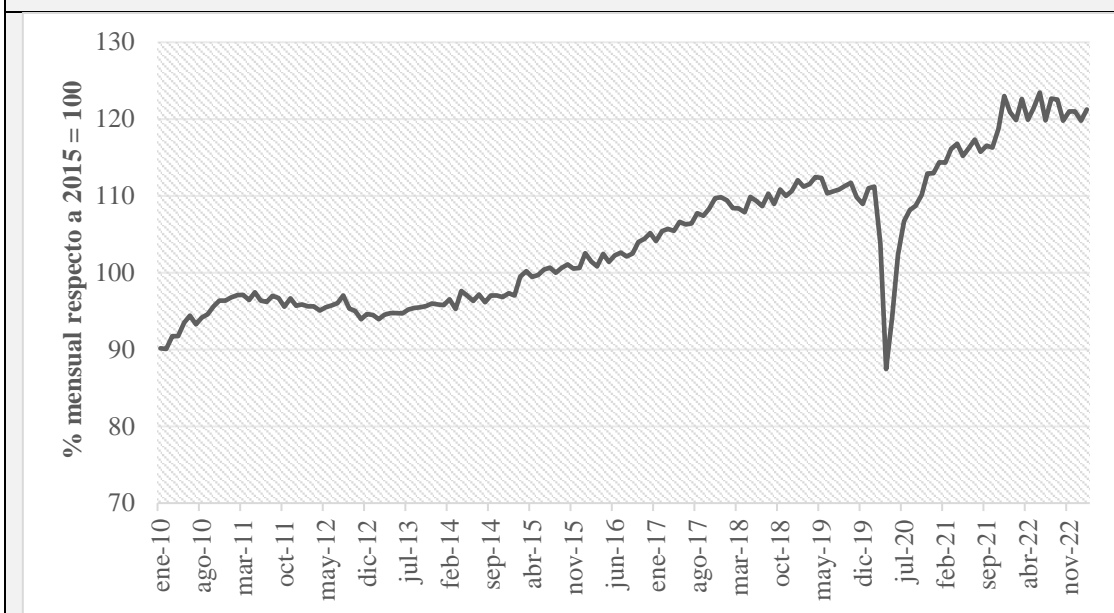
Este índice contiene la tasa (en porcentaje) de producción industrial desglosada mensualmente fijándose como 100% el promedio de producción industrial que se ha experimentado el 2015. El resto de las observaciones vienen dadas como las desviaciones porcentuales que se han tenido desde el año de referencia. Los datos han sido extraídos de Eurostat.

Con anterioridad se ha expuesto la importancia de la inclusión de una variable que refleje la producción en la economía por su gran vínculo con la generación energética. Además de esto, también puede aumentar la riqueza que puede aportar al estudio, observar cómo ciertos cambios o shocks en variables macroeconómicas, pueden afectar al sector solar como principal variable de interés.

Si se centra la atención en la tendencia que muestra la Figura 10, se observa una constante progresión en el crecimiento. En términos generales, se observan muy pocas oscilaciones en la totalidad de la muestra, sin embargo, hay dos momentos a destacar, el primero de ellos se sitúa a mediados de 2011. En este periodo se muestra cómo se frena el crecimiento que se estaba experimentando en los momentos iniciales. Incluso se aprecia un decrecimiento de la producción industrial que no empezará a recuperar los niveles anteriores hasta haber transcurrido 3 años situándose en 2014. La evidente motivación detrás de esta frenada productiva, es la ya mencionada crisis financiera que se produjo en el mundo.

El análisis de tendencia continúa hasta, con toda probabilidad, el momento más reseñable de la muestra, que se sitúa en marzo de 2020. La total paralización de la actividad productiva por el confinamiento y las restricciones de movilidad, desembocaron en una caída especialmente extraordinaria en la industria. Esta caída se prolongó hasta que finalizaron las medidas referentes al confinamiento general y, una vez reestablecida la actividad, la producción creció casi con la misma velocidad con la que se frenó, hasta llegar a una senda de producción muy similar a la que se esperaba antes de la crisis sanitaria.

Figura 10: Gráfico temporal sobre el Índice de Producción Industrial



Fuentes: Elaboración propia. Datos extraídos de EUROSTAT, (2023)

La tendencia general, como se ha expuesto con anterioridad, es claramente creciente a lo largo del tiempo. Esta condición nos puede indicar la posibilidad de que se esté ante una variable no estacionaria. Para poder contrastar esta sospecha se realiza, al igual que en los procedimientos anteriores, el contraste ADF. La realización del mismo (valor $p = 0,6665$) nos indica que el índice de producción industrial tiene un comportamiento no estacionario.

2.3. Análisis y relaciones entre ellas

En la realización del análisis univariante de las variables, se ha podido observar que existen determinadas características compartidas. Como se ha mencionado anteriormente, el siguiente paso consiste en la identificación, en base a las características que se han desglosado, del posible modelo econométrico y la determinación de la forma en la que se incluirá la información para poder obtener las estimaciones de la manera más completa posible. Para ello y, antes de proceder a la formalización del modelo, se van a revisar dos evidencias que hay que tratar con la finalidad de poder compensar ciertos comportamientos individuales que pueden afectar a las estimaciones pertinentes.

2.3.1. Anomalía COVID

En todas las variables analizadas, en mayor o menor medida se ha observado una

alteración de la muestra causada por el confinamiento. En el caso particular del Índice de Producción Industrial, se detecta que este evento realiza una clara brecha en la dinámica de las observaciones. Se debe tener en cuenta que las predicciones utilizan información sobre las relaciones dinámicas que existen entre las variables, estimadas tanto con datos presentes como pasados. La existencia de eventos extraordinarios, como es el caso de las anomalías generadas por la crisis sanitaria, puede distorsionar estas relaciones y, por consiguiente, las predicciones. Con esta información, queda patente la necesidad de eliminar el efecto de la pandemia sobre la especificación de los modelos.

El análisis de intervención a realizar consiste en la constitución de una nueva variable COVID que será ficticia o dummy de tipo impulso. Esto significa que tomará el valor 1 en marzo de 2020 y 0 para el resto de la muestra, además, será en todo caso una variable exógena al modelo. En su inclusión, se impondrán retardos a la variable con la finalidad de desglosar los efectos que se han producido diferenciadamente los primeros meses.

En resumen, al establecer una variable que extraiga los efectos extraordinarios que provocó el confinamiento, se podrán obtener unas predicciones con menor distorsión y, además de ello, se podría analizar de manera separada observando los efectos y su evolución siguiente según sus retardos.

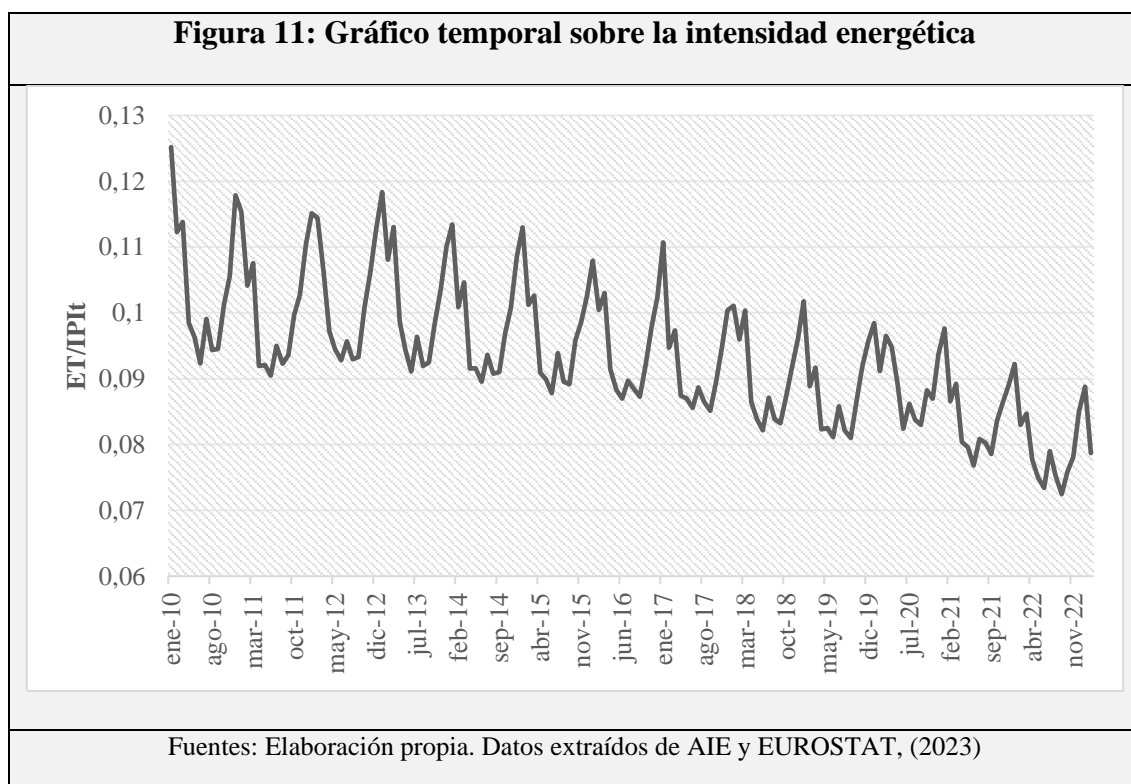
2.3.2. La estacionariedad y sus diferencias

El siguiente hecho que se extrae del análisis de las variables es sobre la estacionariedad de las variables. Si se centra la atención en los conjuntos de datos de generaciones energéticas según tecnología se obtiene que, mientras la generación solar y la renovable es no estacionaria, la generación total sí lo es. La idea que subyace a esta circunstancia es, que la generación solar y renovable como se analizado anteriormente, continúa creciendo a lo largo del tiempo mientras que la generación total de energía que se produce en todos los países europeos que pertenecen a la OCDE se mantiene estable. De igual manera, el IPI también continúa creciendo, por lo tanto, se llega a una situación en la cual las variables que se pretenden incorporar a un mismo modelo tienen diferentes comportamientos. Esta diferenciación dificulta considerablemente la ejecución de un modelo VAR además de no poder realizarse las modificaciones necesarias para realizarlo con el software que se pretende implementar. En definitiva, no puede existir una relación entre dos variables que se prolongue a lo largo del tiempo, si entre ellas mismas siguen sendas sin ningún tipo de nexo o correlación.

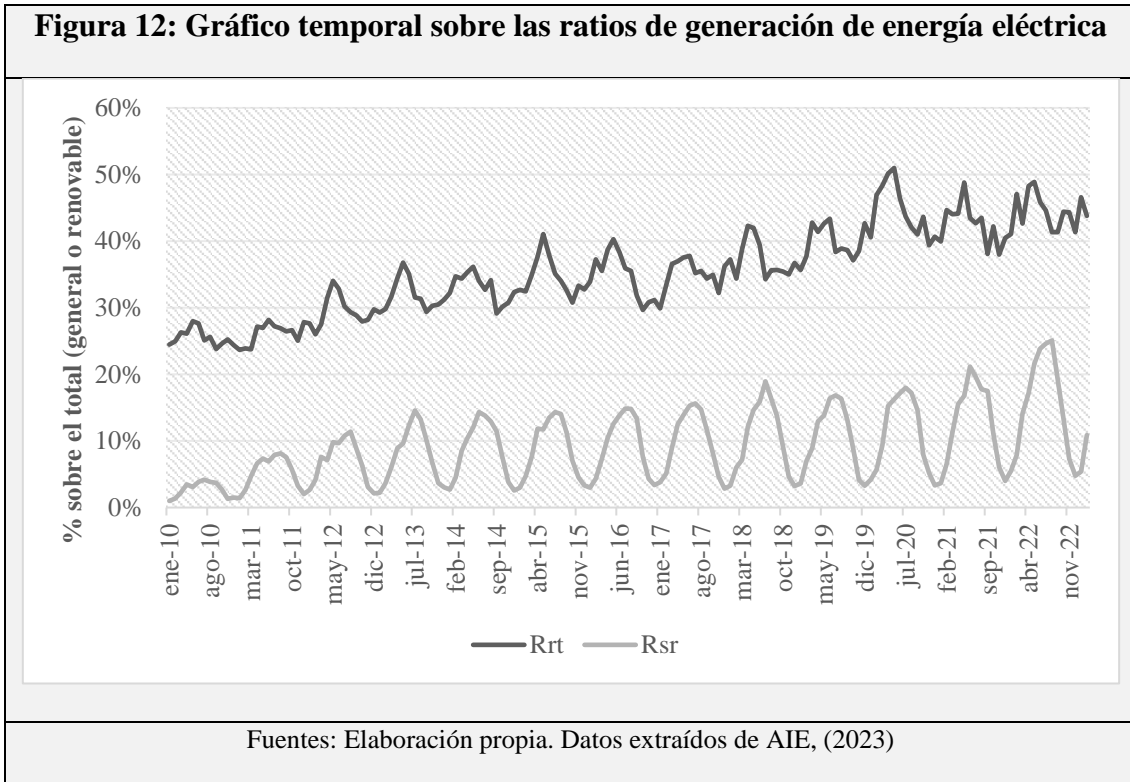
Para tratar de solucionar estas incompatibilidades, se propone una transformación de las

variables que vaya a permitir realizar esta relación sin perder de vista la intención principal del estudio. Esta modificación consiste en la obtención de ratios entre las variables del modelo. La decisión de las ratios que se van a incluir viene dada por una doble vertiente: la formación de ellos con la intención de facilitar el análisis econométrico al homogeneizar el orden de integración de las variables y, además de ello, por la posibilidad de formar algunos de gran interés para el análisis en conjunto con su extensa utilización en literatura económica sobre medio ambiente. Por último, se incluyen todas las variables del modelo de manera que se vaya a poder extraer, mediante un cálculo separado, las proyecciones de cada variable como se mostrará más adelante a través de las que se obtendrán directamente de cada ratio.

La primera que se creará refleja la intensidad energética en la economía (IE). Su composición será una tasa que reflejará ET/IPI, sin embargo, habrá que realizar una transformación para obtenerla ya que, la variable IPI está medida en índice con 2015 fijado al 100%. Sabiendo que el 100% lo conforma la media total del año 2015 con los datos extraídos mensualmente, se realiza dicha media para el PIB, ya que éste tiene como unidad de medida millones de €. Una vez obtenida la media de PIB, se vinculará al 100% representado y, el resto de las oscilaciones, serán a raíz de esa cifra. Una vez transformada la variable y renombrada a IPIt, se obtiene la ratio y se desglosa en la Figura 11:



Las siguientes ratios a incluir serán $R_{rt} = ER/ET$ y $R_{sr} = ES/ER$. Estas medidas nos informarán sobre el porcentaje que representa la energía renovable sobre la total, y el porcentaje que representa la solar sobre la renovable respectivamente. Para ver más detalladamente su senda se muestran ambas en la Figura 12 siguiente:



Vuelven ambas a incorporar cierto componente estacional que tendrá que ser corregido para simplificar el análisis y, además, se observa con facilidad que son no estacionarias al tener una tendencia creciente a lo largo de la muestra.

En conclusión, el modelo de construcción de ratios permitirá solventar las incompatibilidades entre las variables con el suplemento de habilitar un estudio más completo, al poder aportar no sólo datos individuales, sino relativos al establecerlos en relación al resto de variables.

3. EVIDENCIAS EXTRAÍDAS

A raíz de la constitución de ratios, se ha podido observar ciertas tendencias en los mismos. Éstas al prolongarse en el tiempo, nos muestran ciertos cambios que se están produciendo en los mercados energéticos al aumentar el peso de algunas variables en favor de otras. Se pueden extraer dos evidencias con relativa facilidad: la primera de ellas trata sobre los cambios que se están observando en materia de eficiencia energética, al modificarse la

intensidad energética necesaria en la producción. La segunda atañe a la sustitución en las tecnologías de generación existentes en el mercado. Se está llevando a cabo un claro cambio de tendencia en materia de métodos de generación energética. Ambas evidencias se exponen y detallan a continuación:

3.1. Eficiencia energética

La intensidad energética es un indicador de eficiencia y mide la cantidad de energía eléctrica que se utiliza por cada unidad monetaria de producción. La evolución en la cifra, tal y como se ha observado anteriormente, tiene una clara tendencia negativa además de heredar el componente estacional de la energía total. Esto implica que según avanza el tiempo, la producción se vuelve relativamente más sostenible al necesitar de menos energía incurriéndose así, en una mejora de eficiencia. Como hemos visto, la ratio se refleja de esta manera ya que, el Índice de Producción Industrial continuaba creciendo, mientras que no lo hacía la energía total que se genera. Según la Agencia Internacional de la Energía (2022) “las políticas obligatorias, como códigos y estándares, continúan siendo la base de la política de eficiencia energética. Sin embargo, estas políticas se complementan con incentivos fiscales, cambios tecnológicos y avances en la gestión de energía”.

Si atendemos a la literatura existente, la eficiencia energética históricamente se ha promovido como una manera coste-efectiva de reducir las emisiones de gases de efecto invernadero, sin embargo, son muchos los beneficios que supone un mejoramiento de la eficiencia energética. La AIE (2019) destaca que, estos efectos se trasladan además a factores como la seguridad energética, a la reducción de precios, a un mejor acceso a la energía por parte de países en situación de pobreza energética, entre otros. Si atendemos a esta batería de ventajas, parece entreverse que la eficiencia energética será una tarea que tenderá a seguir en crecimiento en los próximos años como así lo indica el plan europeo recientemente impuesto “Objetivo 55”, que sin duda prolongará la creciente mejora en eficiencia energética.

3.2. Sustitución en la generación

Si analizamos las diferentes tecnologías de generación eléctrica con detalle, en enero de 2010 la energía renovable suponía alrededor de un 25% de la energía total, en cambio si se toma ahora enero de 2022, la energía renovable ya representa un 41% del total. Si se realiza el mismo ejercicio con la energía solar, en agosto de 2010 el sector solar solo

representaba apenas un 4% de la energía renovable. Para entender la magnitud de crecimiento que se ha experimentado, nos situamos en el año 2022 en el cual se obtuvo, para el ya mencionado mes de agosto, que su representación en la energía renovable era ya del 25%. Estos datos muestran la patente sustitución existente entre los diferentes núcleos de generación energética. El sector refleja claros indicios de una transformación, primero hacia tecnologías renovables y, dentro de las mismas, una cada vez mayor presencia de la generación solar como principal instrumento de crecimiento.

Como consecuencia ante estas dos evidencias obtenemos que, si bien los crecimientos relativos que se observan son de una gran magnitud, se debe tener cierta precaución a la hora de entender la nueva capacidad de generación instalada. La producción total parece mantenerse estática incluso cuando el producto industrial continúa en aumento. Esto puede dar señales de que quizá el techo de crecimiento de las fuentes renovables esté fijado en la cantidad de porcentaje que pueda llegar a representar, de una cantidad de GWh generados que se establece como invariable. Podríamos estar ante un crecimiento de impresionante trascendencia, pero con un techo claramente preestablecido.

4. MODELOS A UTILIZAR

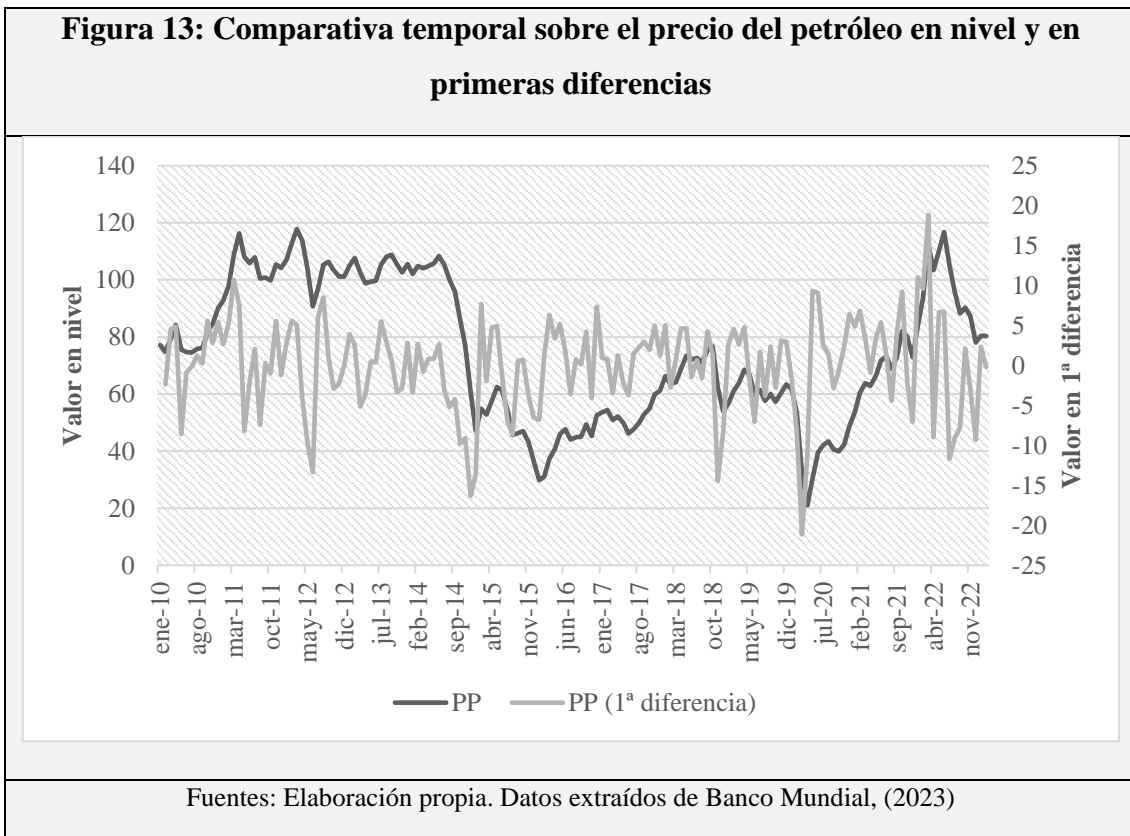
Para la realización de los modelos econométricos que servirán como base para la consecución de las predicciones y resultados a analizar, se comienza exponiendo cómo se van a estructurar las variables de estudio de manera que permita la realización de las estimaciones más precisas posible. La primera característica a tener en cuenta es que se asume exogeneidad en los precios del petróleo. Al no incorporarse de manera endógena en los modelos, no se calcularán predicciones de los mismos sin antes haberlas extraído para esa variable individualmente, por lo tanto, el primer modelo irá destinado a la realización de esta misma tarea, siendo éste, un modelo ARIMA. En el caso de la variable COVID, no se encontrará la misma problemática al poder incluir las futuras observaciones manualmente. Finalmente, se incluirán dos modelos más al estudio, el primero de ellos, un modelo bivariante sobre la intensidad energética y el índice de producción industrial y otro sobre las ratios de generación energética.

El razonamiento detrás de la separación de las variables en dos modelos radica en la intención de intentar extraer la máxima información de la estructura tan particular en la que están conformadas las ratios. Esta división va a permitir estudiar de manera individual dos efectos diferentes que guardan una relación entre sí. Por un lado, el modelo sobre IE e IPI, permite concentrarse en conocer y examinar la evolución temporal que tiene la

necesidad energética en función del nivel de producción. En cambio, el modelo sobre las ratios de generación eléctrica describe la evolución que toma el proceso de sustitución de energías. Si se sigue esta estructura, del primer modelo se podrá obtener información sobre la energía necesaria para poder llevar a cabo la producción que se refleja en la economía y, del segundo de ellos, cómo es la evolución en la composición de tecnologías que suministrarán esa determinada energía al proceso productivo.

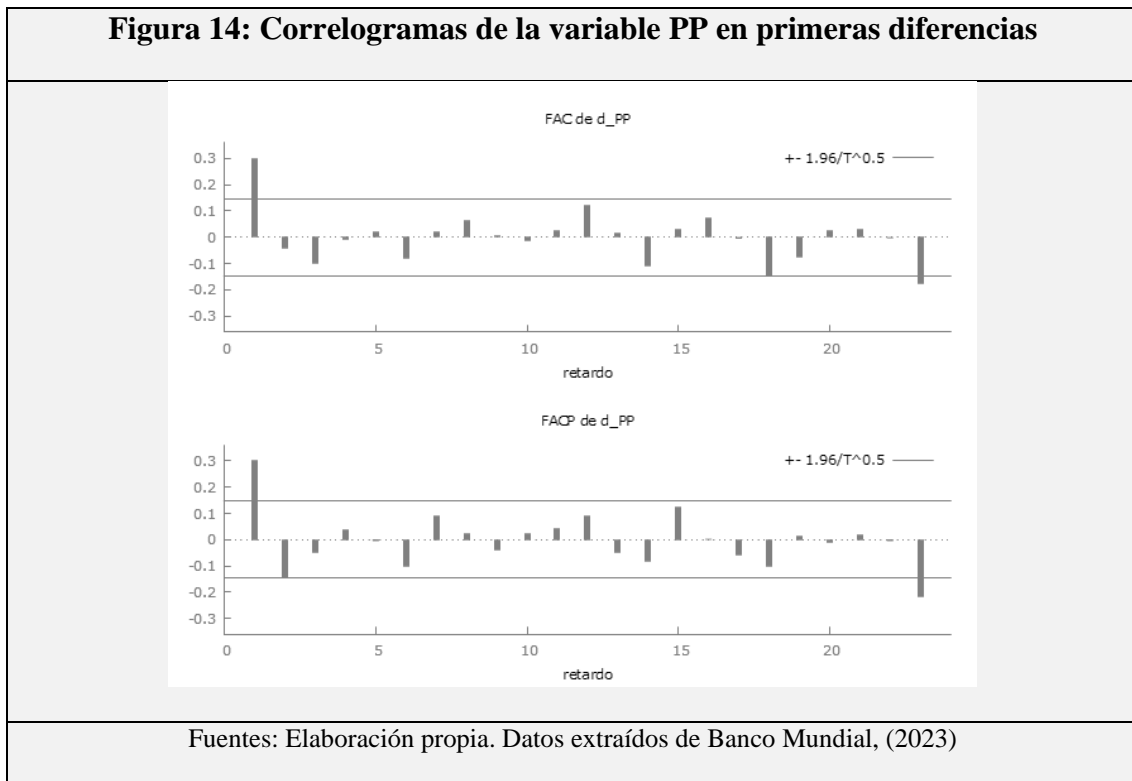
4.1. Modelo Univariante sobre el precio del petróleo

Como se ha expuesto con anterioridad, se va a realizar un modelo ARIMA para el precio del petróleo con la finalidad de poder obtener así sus predicciones. Para ello se lleva a cabo un análisis univariante de la variable para poder especificar el modelo con la mayor cantidad de información posible. Como se ha determinado previamente se trata de una variable no estacionaria, por lo tanto, se tomará la variable en primeras diferencias y se comparará con la misma en nivel para observar que hayan desaparecido las tendencias:



Tras la realización de la primera diferencia, se muestra en la Figura 13 un comportamiento estacional. Para continuar con el análisis se toma ahora la variable con su diferencia para

observar sus correlogramas en la Figura 14, con la finalidad de comprobar si se encuentra alguna estructura adicional:



Tras analizar los correlogramas de la variable en diferencias, se decide aplicar al modelo un AR (2) al 5% de significación (las franjas marcan dónde se sitúa el mencionado nivel de significación).

Teniendo en cuenta toda la información dispuesta, el modelo de máxima verosimilitud exacta con el cual se estimarán las proyecciones será un ARIMA (2,1,0) para los precios del petróleo sin incluir constante al no ser significativa. Además de ello, se incluirá un AR (2) estacional con la finalidad de dotar de mayor capacidad predictiva al modelo estadístico. A continuación, se muestra cierta información que nos proporciona el mismo en la Tabla 1.

Tal y como se observa, el modelo desglosa cuatro variables diferentes con su información específica para cada una. Las diferencias entre ellas son tanto el número, que refleja el orden del autorregresivo al que se refiere, y la mayúscula o minúscula en la primera letra. Esta diferenciación hace referencia a si el autorregresivo es estacional (comienza por mayúscula) o no (comienza por minúscula).

Tabla 1: ARIMA(2, 1, 0) x (2, 0, 0)₁₂. Var. Dependiente: (1-L) PP (T=157)				
(Con módulos de las raíces $\neq 1$), ($R^2 = 0,952387$)				
	Coef.	D. típica	Z	Valor p
phi_1	0,324278	0,0799715	4,055	5,02e-05 ***
phi_2	-0,140058	0,0795546	-1,761	0,0783 *
Phi_1	0,128241	0,0886638	1,446	0,1481
Phi_2	-0,150621	0,0927103	-1,625	0,1042

Una vez que se entiende a qué hace referencia cada fila de datos, lo siguiente que llama la atención es la no significatividad de los AR estacionales. Se decide mantener su inclusión en el modelo ya que, en primera instancia, su valor p no está muy alejado de los niveles de significación habituales y, además, este tipo de estructuras que implican ciclos no son extrañas en series económicas como esta. La motivación principal a su incorporación, con el hecho de que se cumpla lo anteriormente expuesto, es el aporte de una estructura más realista a las predicciones que se estiman a través del modelo, en contraposición al que no los incluye. Para concluir, los coeficientes asociados a los autorregresivos muestran la relación que mantiene con la variable del modelo de estudio y el peso de esa misma relación. En el caso de observarse un valor positivo, sugiere una correlación positiva entre los valores pasados y presentes de la serie y, en caso de ser negativa, la inversa. Según el número que se muestre en el coeficiente se vaya acercando a 1, indicará una influencia mayor.

Finalmente, con este modelo claramente especificado se procederá en las secciones siguientes del análisis a estimar las predicciones para la variable PP.

4.2. Modelo Bivariante sobre IE, IPIt

La peculiaridad de este modelo es la inclusión de la variable IPIt de manera separada. Esta implementación se realiza con la finalidad de poder obtener las proyecciones concretas de esa variable de manera que más tarde, se pueda despejar en la proyección obtenida en referencia a la intensidad energética, la generación de energía total. De este modo, se tendrán tanto las estimaciones futuras de las ratios, como las de las variables de manera independiente.

Para aportar más capacidad explicativa, se incluirán como variables exógenas al modelo,

tanto el precio del petróleo, como la variable COVID con 3 retardos que desglosen diferentes efectos en el tiempo. Las variables exógenas son aquellas que pueden influir en el comportamiento de las que están incluidas en el modelo, como es el caso de la pandemia COVID según se ha observado en el análisis temporal de las variables y el del precio del petróleo en base a la teoría económica anteriormente expuesta, pero que son determinadas por factores externos al modelo e independientes al mismo. En resumen, la existencia del COVID no puede ser explicada por la intensidad energética ni el producto industrial, pero su aparición ha tenido consecuencias en los mismos. De igual manera, los precios del petróleo afectan por su ya expuesta relación con los precios de la electricidad a estas variables, sin embargo, no son éstas las que explican los cambios en el precio ya que vienen determinados por, entre otras cosas, fluctuaciones en la exportación y la oferta y demanda mundial. Además de las variables exógenas, se incorporarán variables ficticias estacionales para corregir la estacionalidad de las observaciones de las variables en nivel, como se ha comentado anteriormente.

Para la posterior estimación del modelo VAR bivalente, se procede a determinar el número de retardos que se deberá incorporar al mismo mediante una comparativa entre los criterios de Akaike, Bayesiano y Hannan-Quinn. La información de cada uno hasta el retardo 5 se muestran en la Tabla 2 siguiente:

Tabla 2: Retardos del modelo 1 sobre IE, IPIt			
Retardos	Akaike (AIC)	Bayesiano (BIC)	Hannan-Quinn (HQC)
1	14,392754*	15,145412*	14,698496*
2	14,403838	15,235723	14,741764
3	14,442382	15,353494	14,812491
4	14,453818	15,444158	14,856111
5	14,418950	15,488517	14,853426

Los tres criterios reflejan por igual que el número de retardos más apropiado para incluir en el modelo es 1, por lo tanto, escogeremos el mencionado ante dicha unanimidad. También se tiene en cuenta que comparte lógica con el previo análisis ARIMA realizado a las variables de estudio.

Al tratarse ambos de conjuntos de observaciones no estacionarios, antes de proceder a la estimación del modelo VAR, se procede a comprobar si existe cointegración entre las variables. Esto puede darse en el caso en el que ambas sean no estacionarias por la misma razón y se encuentre una relación estacionaria a largo plazo entre ellas. Esta comprobación viene de la mano del contraste de Johansen y su realización nos muestra la siguiente Tabla 3 de resultados:

Tabla 3: Contraste de Johansen del modelo 1 sobre IE, IPIt		
Rango	Estad. Traza [Valor p]	Estad. Lmax [Valor p]
0	46,751 [0,0000]	46,385 [0,0000]
1	0,36653 [0,5449]	0,36653 [0,5449]

El contraste de Johansen muestra que, a cualquier nivel de significación, se rechaza que no exista ningún vector cointegrante en favor de que exista al menos uno de ellos. En este caso, al sólo existir dos variables, sólo será posible que exista un rango de cointegración, por lo tanto y al igual que nos muestra el contraste, las variables están cointegradas y debe tenerse en cuenta en la especificación del modelo de relación entre ellas.

El modelo VAR es útil para analizar la dinámica a corto plazo de las variables, pero no captura relaciones de cointegración directamente al ser éstas a largo plazo. Una extensión del modelo VAR que sí tiene en cuenta relaciones de equilibrio a largo plazo es el modelo vectorial de corrección del error (VECM) y, como tal, será el que se utilizará para las estimaciones oportunas.

En conclusión, las predicciones se estimarán con el modelo VECM con un orden de retardo y un rango de cointegración. En la Tabla 4 inferior, se muestra más información sobre el mismo una vez conformado.

La realización expuesta muestra dos matrices, la Beta y la Alpha. La primera de ellas muestra los coeficientes de las relaciones de cointegración y representa cómo un cambio en la variable asociada a ese coeficiente afecta en el largo plazo a la otra variable (en este caso, la normalizada). Por eso la matriz Beta, también es conocida como matriz de largo plazo, ya que es la encargada de presentar los efectos en ese periodo temporal. Si el coeficiente es positivo, un aumento en una variable estará asociado a otro incremento en ese valor de la variable que se observe en el largo plazo.

Tabla 4: Sistema VECM 1. Orden del retardo 1. Rango de cointegración 1. (Constante no restringida)		
Variables	Matriz Beta (Vectores cointegrantes, D. típicas entre paréntesis)	Matriz Alpha (Vectores de ajuste)
IE	1,0000 (0,00000)	-0,43189
IPIt	2,7958e-008 (1,2114e-009)	-2,7404e+006

Se ha de tener en cuenta que los valores reflejados en las variables no normalizadas de esta matriz habrá que cambiarlos de signo en su interpretación, por lo tanto, el signo en el coeficiente asociado a IPIt es negativo (tal y como muestra la lógica al ser parte del denominador de IE).

Por otra parte, tenemos la matriz Alpha o de corto plazo. En este caso, los valores que se muestran representan cómo se ajusta una variable en el corto plazo ante un desequilibrio en la otra. En esta representación, si el valor es negativo (como muestran ambos) indicará que, al aumentarse la variable asociada al coeficiente, el efecto será el contrario en la variable normalizada de referencia.

Por último, existen valores tanto muy altos como muy bajos. La razón que explica ese volumen de efecto es que las magnitudes entre las dos variables son muy diferentes. Si se centra la atención, se observa que ambos valores se representan en las relaciones entre la variable IPIt e IE. Los valores para el producto industrial son mucho más elevados que los de la intensidad energética. Cabe aclarar que no se han realizado modificaciones en los mismos ya que, se ha priorizado tener los valores en su escala real a la hora de observar las predicciones, que la consecución de unas relaciones internas en el modelo con mejores capacidades explicativas.

Una vez extraída la información que presenta el modelo, se profundizará en su análisis y causas en la sección siguiente. De esta manera y en conjunto con la información adicional que aportará el modelo, se podrá dar explicación a los efectos que se muestran entre las variables.

4.3. Modelo bivariante sobre Rrt, Rsr

Las variables a estudio del siguiente modelo serán las ratios conformadas por ER/ET y ES/ER. Se estructuran de manera que, al despejar la ET del modelo anterior, se puedan ir obteniendo los valores individuales por tecnología. Una vez finalizadas las correspondientes estimaciones, se dispondrá de proyecciones que informen sobre hacia dónde se dirige la sustitución en la generación, y sobre las tendencias que se esperan tanto en el sector solar como en el renovable.

Al igual que en el modelo anterior, se tratarán como variables exógenas de inclusión, tanto el precio del petróleo, como la dummy COVID con sus 3 retardos al seguir cumpliendo las condiciones necesarias para considerarse exógenas, en conjunto con variables ficticias estacionales.

Antes de estimar el modelo, se procede a determinar qué cantidad de retardos habrá que incluir. Esto se realiza mediante la comparación de tres criterios diferentes:

Retardos	Akaike (AIC)	Bayesiano (BIC)	Hannan-Quinn (HQC)
1	-11,091012	-10,321458	-10,778344
2	-11,282806	-10,432246	-10,937225
3	-11,466234	-10,534668*	-11,087741
4	-11,505125	-10,492553	-11,093720
5	-11,559637	-10,466059	-11,115319*
6	-11,549189	-10,374606	-11,071959
7	-11,604929	-10,349340	-11,094786
8	-11,604953	-10,268358	-11,061897
9	-11,646953	-10,229352	-11,070985
10	-11,720556*	-10,221950	-11,111676

Ante los datos representados en la Tabla 5, se opta por establecer el orden del VAR en el retardo 5, tal y como muestra el criterio de Hannan-Quinn. Ninguno de los retardos hace coincidir dos o más criterios a la vez, por lo tanto, se escoge el mencionado al considerarse

el retardo 3 excesivamente limitado según el previo análisis ARIMA de las variables. Por otra parte, tampoco consideramos el marcado por Akaike al ser, en este caso, excesivo al preferir siempre la opción más alta de retardo que se le proporcione.

Si continuamos con el análisis, el siguiente paso es comprobar si existe cointegración entre las variables. Se debe realizar esta verificación ya que, ambas variables son integradas del mismo orden y puede que lo sean por la misma razón, es decir, que exista una relación a largo plazo entre ambas que sí sea estacionaria. Para comprobar esta condición, se realiza el contraste de Johansen el cual nos servirá para determinar si existe cointegración entre ellas y de qué orden. Los resultados se desglosan en la Tabla 6 expuesta a continuación:

Tabla 6: Contraste de Johansen del modelo 2 sobre Rrt, Rsr		
Rango	Estad. Traza (Valor p)	Estad. Lmax (Valor p)
0	47,320 [0,0000]	46,426 [0,0000]
1	0,89420 [0,3443]	0,89420 [0,3443]

Tal y como se observa en la tabla dispuesta, a cualquier nivel de significación se rechaza la hipótesis de que no exista ningún rango de cointegración frente a que exista uno. Como solamente existen dos variables y teniendo en cuenta la información que se muestra, se vuelven a obtener variables cointegradas entre sí y tendrá que volver a tenerse en cuenta en la especificación del modelo.

Como el modelo VAR no captura relaciones cointegrantes, tal y como se ha explicado con anterioridad, se estimará con la extensión de este propio modelo que sí aborda cointegración. El modelo mencionado se denomina VECM y se construirá con un orden del retardo 5 y 1 rango de cointegración. Con la estimación del mismo, obtendremos las herramientas necesarias para poder extraer las predicciones. En la Tabla 7 inferior se muestra cierta información que proporciona el modelo.

Tal y como se procedió a explicar en el modelo VECM 1, se va a desglosar la principal información que muestra la estimación, sin embargo, la posible motivación, análisis y explicación de los efectos observados se realizará en posteriores secciones del estudio.

**Tabla 7: Sistema VECM 2. Orden del retardo 5. Rango de cointegración 1.
(Constante no restringida)**

Variables	Matriz beta (Vectores cointegrantes, D. típicas entre paréntesis)	Matriz Alpha (Vectores de ajuste)
Rrt	1,0000 (0,00000)	-0,088750
Rsr	-1,9366 (0,12297)	0,20469

Inicialmente, se muestran las matrices Beta (que representan los efectos en el largo plazo) y Alpha (que son los términos de corrección del error en el corto plazo). En este caso, no existen valores extremadamente altos o bajos porque ambas variables están en magnitudes similares al tratarse ambas de porcentajes que refleja una tecnología o sector sobre otro.

Si se centra la atención en la matriz de largo plazo y se invierte el signo del coeficiente, se resalta como principal información, el efecto positivo que tiene un aumento en la ratio Rsr sobre la ratio Rrt. En cambio, en la matriz de corto plazo, existen dos efectos diferentes. Por un lado, se muestra una corrección negativa en el corto plazo para la ratio Rrt, ante un aumento inicial en ésta misma. Sin embargo, el efecto es el contrario si se analiza una corrección instantánea en la misma ratio, pero para un aumento en Rsr, que en este caso será positivo.

Una vez extraída la información relevante que nos aportan las estimaciones de los tres modelos constituidos, se continúa el análisis con la explotación de los mismos.

5. RESULTADOS DEL ESTUDIO

Tras la realización de los tres modelos que van a servir de base para la consecución de las estimaciones que permitirá analizar de una manera profunda la generación de energía y, concretamente, del sector solar. Se extraen de los mismos sus predicciones en un horizonte temporal de 2 años desde la última observación y un análisis dinámico de las relaciones entre las variables que consistirá en la extracción de respuestas al impulso de unas variables ante otras y su descomposición de la varianza. Estos tres factores permitirán entender de una manera más profunda las relaciones existentes entre los datos

y de qué manera afectan al sector solar los posibles impactos que se produzcan en el resto de las tecnologías de generación. Los resultados extraídos habilitarán, junto al análisis temporal que se ha realizado previamente, obtener una batería de conclusiones de la realización del estudio.

5.1. Predicciones

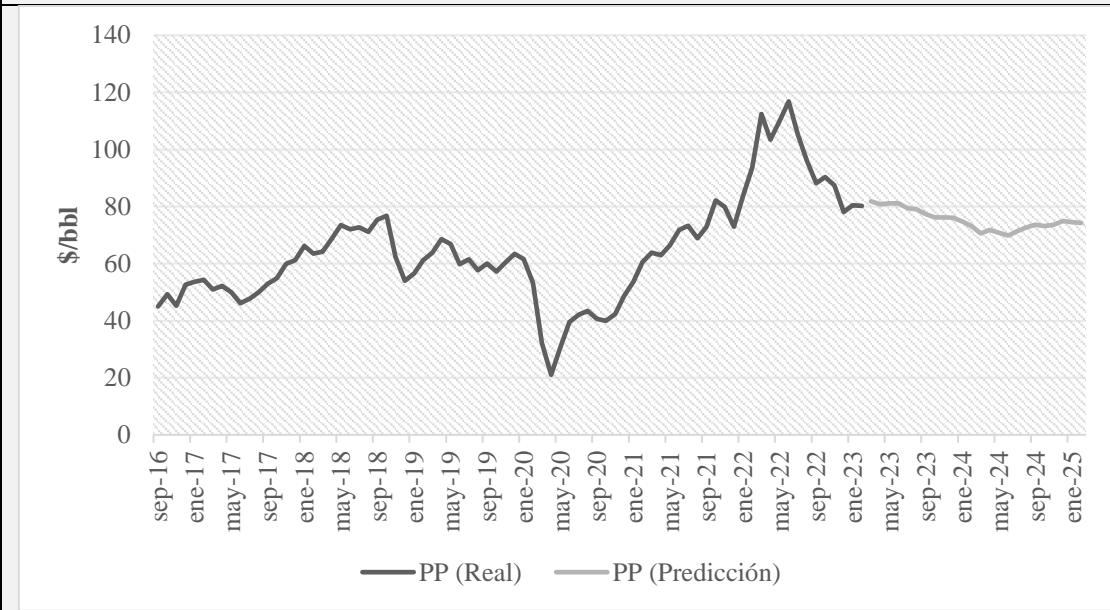
Las predicciones indican la senda estimada que tomará una variable para un periodo futuro previamente establecido. La muestra cuenta con 158 observaciones mensuales, además de ello, cierta parte de esas observaciones fueron distorsionadas al situarse éstas últimas entorno a una crisis sanitaria y su excepcional inflación posterior. Esto ha hecho establecer un horizonte temporal de proyección conservador de 2 años (24 meses), con la finalidad de poder estimar con la mayor calidad posible y mitigar las desviaciones que pueden producirse con la realidad. Se van a desglosar los principales resultados observados y más tarde, en las conclusiones del estudio, se desarrollará en mayor medida la información obtenida.

El proceso para la consecución de las estimaciones comienza mediante el aumento manual realizado para la variable exógena COVID de las 24 observaciones siguientes. Si recapitula la información desglosada hasta el momento, se menciona que los modelos expresados sólo realizan predicciones en las variables endógenas al entenderse que las exógenas, aunque afecten a las variables del modelo, por definición, sus valores se determinarán por factores externos al mismo. Ante esto, se debe extraer la proyección mensual de la siguiente variable exógena, los precios del petróleo. Para ello, se toma el modelo ARIMA estimado para la misma y, se procede a obtener tanto las nuevas observaciones que se incorporarán a la variable, como la Figura 15 inferior que desglosa la predicción.

La predicción muestra una clara estabilización de los precios del petróleo con una ligera tendencia decreciente a lo largo de los próximos meses. Las predicciones en las siguientes variables tomarán esta senda de valores para ser calculadas.

Una vez obtenidas las observaciones de ambas variables exógenas, se puede continuar con la estimación del resto de ellas incluidas en los principales modelos de estudio. El primer modelo se trata del VECM 1 (el correspondiente a las variables IE e IPIt).

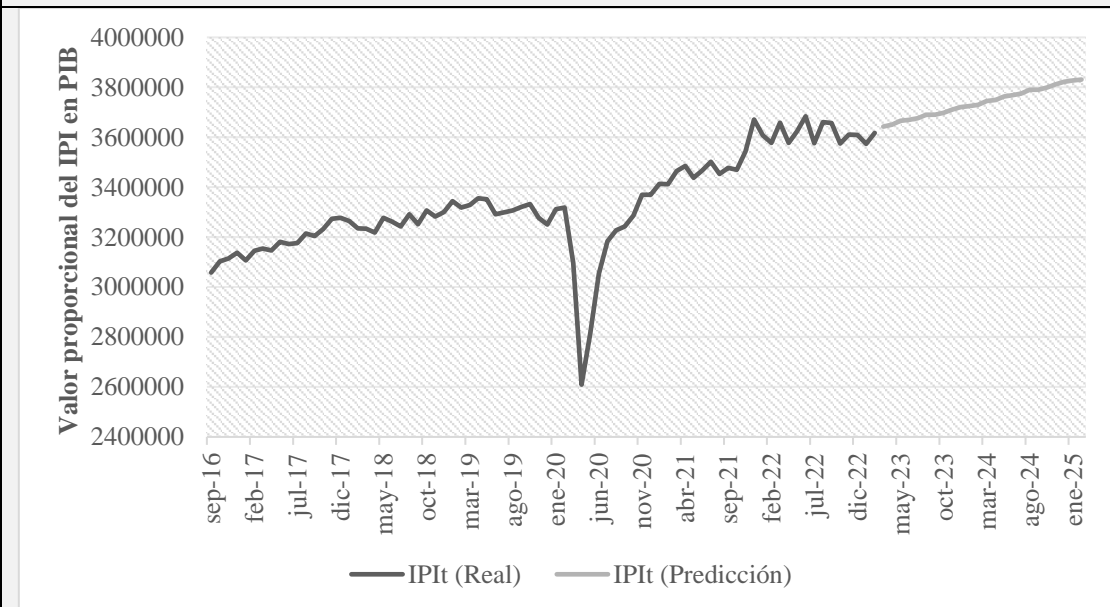
Figura 15: Gráfico temporal sobre el precio del petróleo y su predicción



Fuentes: Elaboración propia. Datos extraídos de Banco Mundial, (2023)

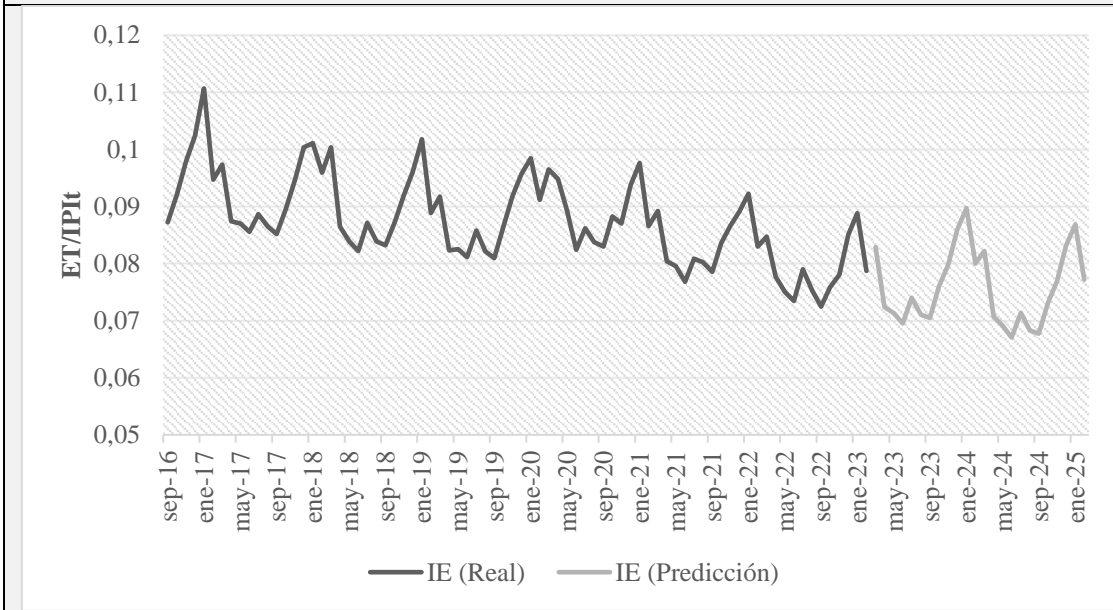
De la misma manera, se obtienen tanto las observaciones de la predicción para ambas variables, como las Figuras 16 y 17 inferiores que desglosan la información:

Figura 16: Gráfico temporal sobre el IPIt y su predicción



Fuentes: Elaboración propia. Datos extraídos de EUROSTAT, (2023)

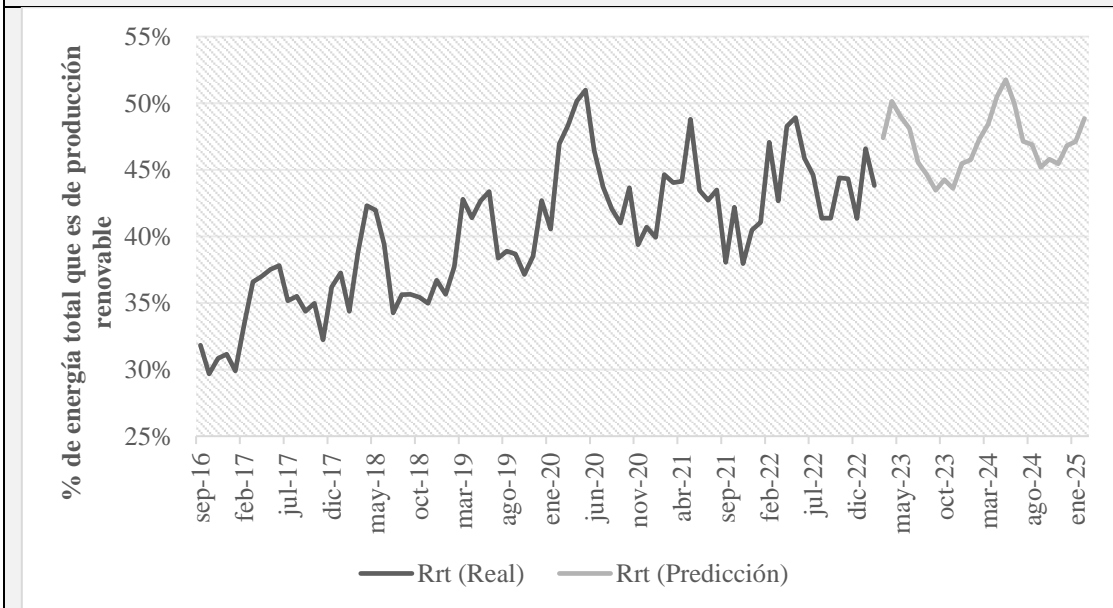
Figura 17: Gráfico temporal sobre la intensidad energética y su predicción



Fuentes: Elaboración propia. Datos extraídos de AIE y EUROSTAT, (2023)

La predicción sobre el IPIt muestra una clara recuperación de la tendencia creciente que venía experimentando antes de la crisis sanitaria, aportando velocidad de crecimiento al observado durante los últimos meses de la muestra.

Figura 18: Gráfico temporal sobre la ratio Rrt y su predicción



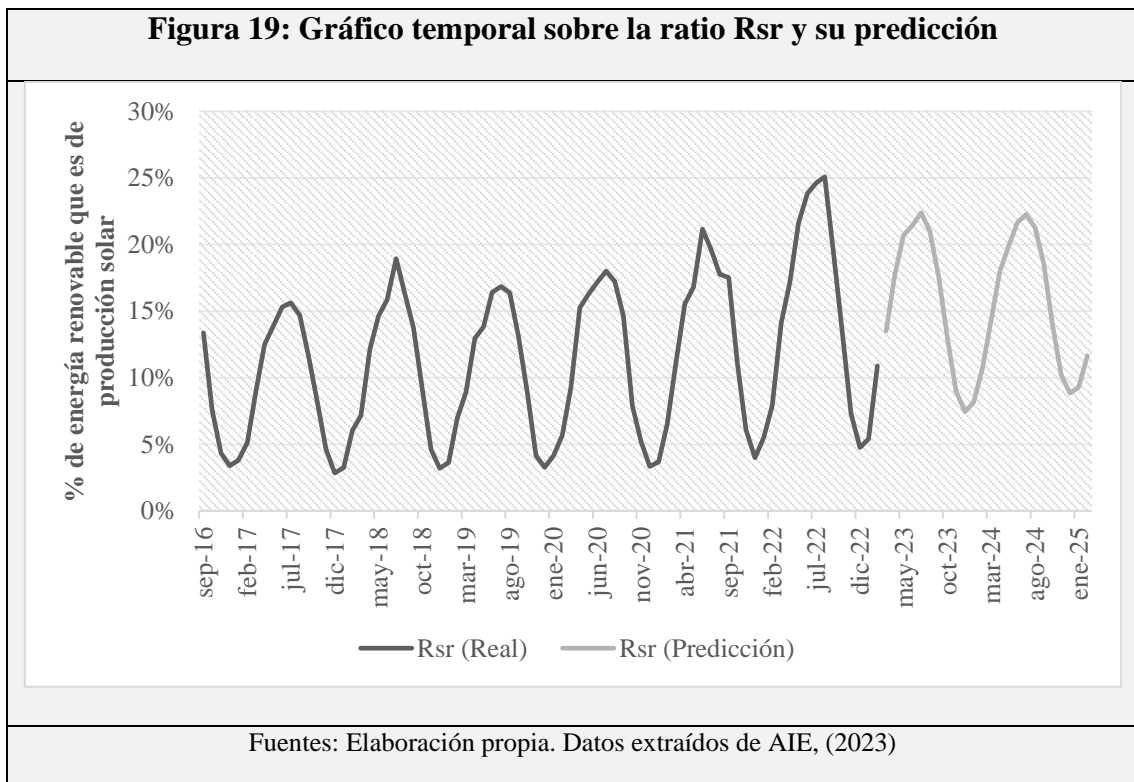
Fuentes: Elaboración propia. Datos extraídos de AIE, (2023)

Por otra parte, en el gráfico de intensidad energética vemos, en general, una inequívoca continuación del mejoramiento de la eficiencia energética en la economía en los próximos años.

En cuanto al modelo VECM 2, tras realizar las pertinentes estimaciones, se muestran en las Figuras 18 y 19 siguientes las estimaciones para las ratios de generación eléctrica.

En las predicciones que desglosa este modelo, se observan detalles sustancialmente interesantes. Si centra la atención en la ratio Rrt, que refleja el porcentaje de la generación total que es de origen renovable, se observa un claro freno en el crecimiento de la misma. Esto lleva a pensar que, según muestra la senda de la predicción, el sector renovable seguirá aumentando el porcentaje que supone de la generación total de energía, pero a un ritmo inferior, tanto al esperado, como al que se venía produciendo con anterioridad.

En el siguiente gráfico dispuesto, referente a la ratio que muestra el porcentaje de energía renovable perteneciente a la tecnología solar, la conclusión es parecida.

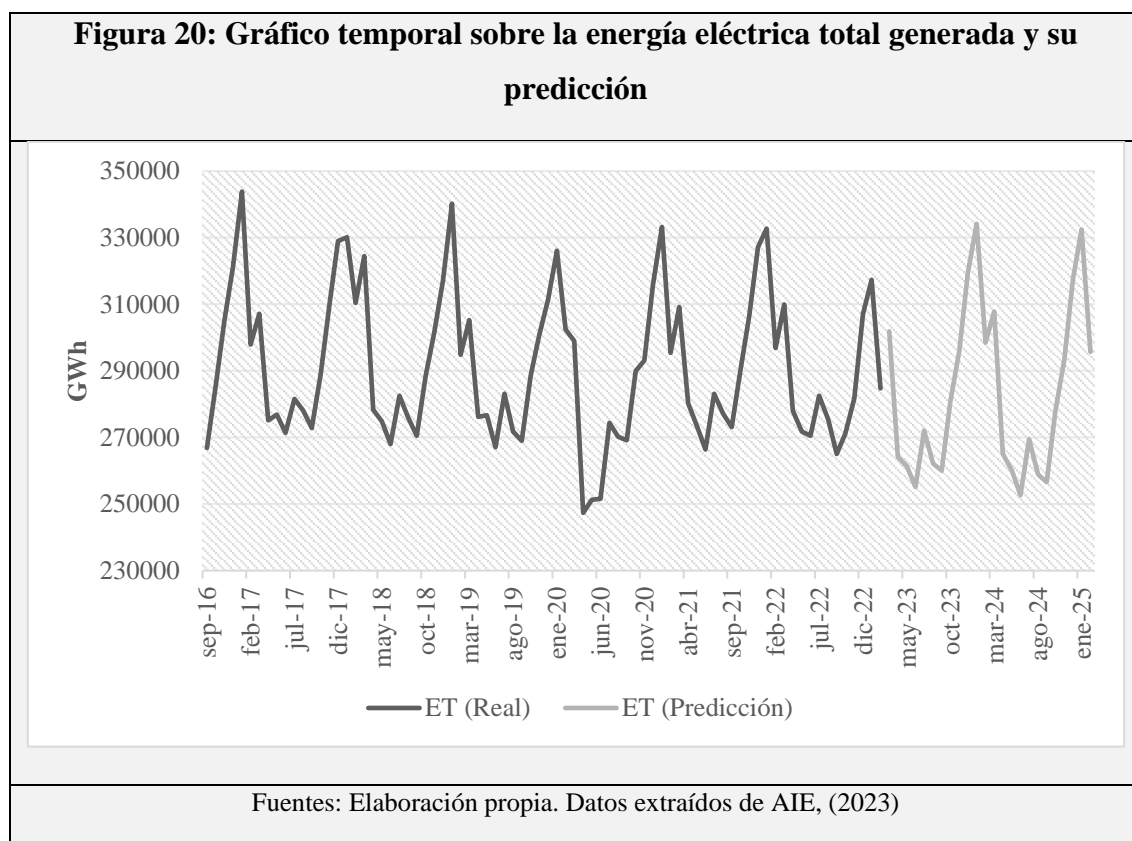


Se observa la presencia de un leve crecimiento, siendo éste mismo, de un carácter más sutil del que se podría pensar en base a las metas que se está imponiendo la Unión Europea en cuanto a la rapidez de la descarbonización de la economía.

Por último, mediante las predicciones ya analizadas, se recuperan los valores previstos para las series originales. Se comienza su confección a partir del modelo VECM 1, que

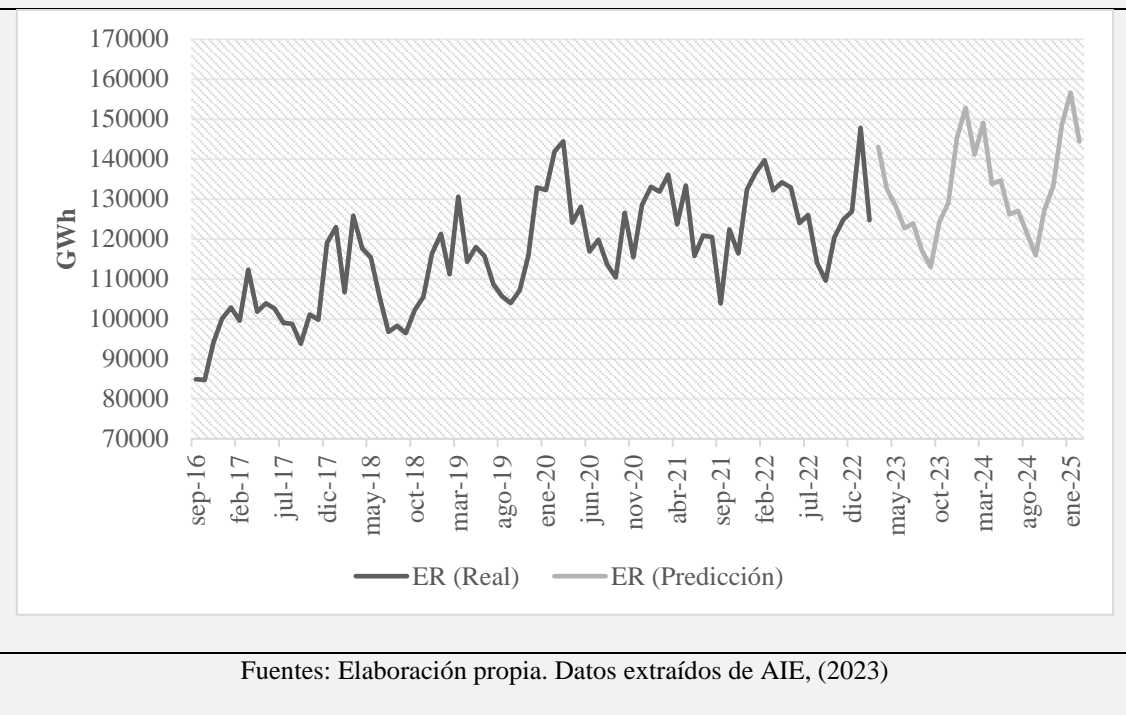
ofrecía información de IE e IPIt, para poder obtener la generación de energía total. Una vez despejada se muestra la Figura 20 correspondiente.

La predicción observada para la generación energética total muestra una gran estabilización como se venía observando en el resto de la muestra. El objeto más destacable de la misma es la leve tendencia a disminuir en los próximos años. Esta leve contracción se reflejó en los dos últimos años de la muestra, si continuara tal y como se prevé en este análisis, puede llevar a que ya no sólo se realice una producción creciente con el mismo nivel de energía, sino que, cada vez se necesite menos de la misma. Esto puede crear una distorsión a la hora de comprender los crecimientos en la generación solar, cuando se expresa su tendencia, como es común en muchos informes, en porcentaje sobre la renovable o la total.



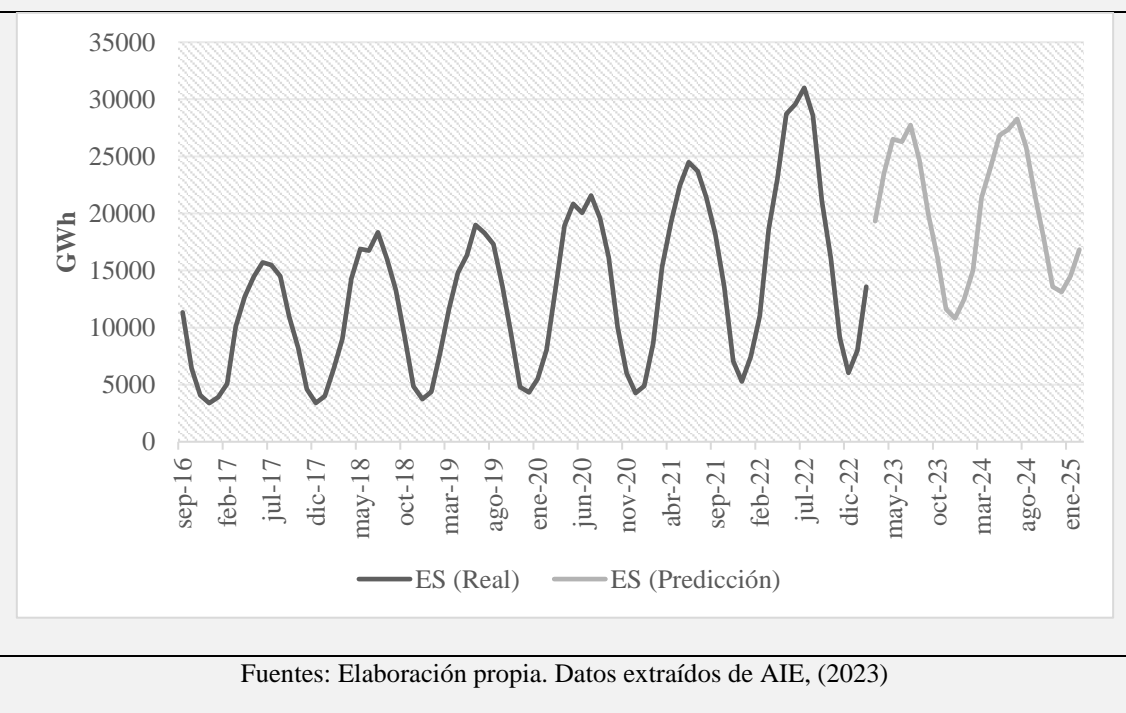
Por otra parte, si ahora se sitúa la atención en la Figura 21 que muestra la previsión de la generación renovable, no existen dudas de que muestra un crecimiento continuado y de un nivel similar a la tendencia que se venía experimentando durante el resto de la muestra.

Figura 21: Gráfico temporal sobre la energía renovable generada y su predicción



La leve estacionariedad observada después de la pandemia se corrige y vuelve a su senda de crecimiento habitual. La última predicción hace referencia al sector solar. Se observa en la Figura 22, otra vez, un crecimiento relativamente moderado en comparación con las aspiraciones que formula la política internacional.

Figura 22: Gráfico temporal sobre la energía solar generada y su predicción



Esto puede inducir a pensar que se necesitarán más esfuerzos futuros en la programación de proyectos europeos en materia de generación solar. Sin embargo, si nos concentramos en la información más destacable a observar, viene de la mano de los máximos y mínimos de generación. Los picos inferiores situados todos los inviernos se encuentran en una senda muy superior a los de la muestra, sin embargo, los superiores se sitúan levemente por encima de sus anteriores. La tendencia de la muestra antes de las proyecciones es justamente la contraria, más amplitud de onda según se avanza en el tiempo. Esto puede hacer pensar que quizá se está subestimando el crecimiento del sector solar debido a fallas en la estimación. Esta circunstancia se deberá tener en cuenta, tanto en la proyección del sector solar, como en la ratio Rsr.

En término, toda la información extraída de las predicciones hasta el momento será de gran relevancia a la hora de estructurar las conclusiones del estudio al aportar una gran cantidad de información a tener en cuenta sobre el futuro de la generación.

5.2. Análisis dinámico de las relaciones entre variables

Tras la extracción de las predicciones, el análisis se completará mediante la utilización de dos herramientas que permitirán ampliar la riqueza del estudio mediante la obtención de información dinámica sobre las relaciones que se han establecido en los modelos VECM. Estos modelos, como se ha expuesto anteriormente, se caracterizan por capturar las relaciones que mantienen las variables a lo largo del tiempo. A continuación, se va a desglosar cierta información sobre las relaciones que han detectado, tanto el modelo VECM 1, como el VECM 2.

Antes de reflejar la información que se ha obtenido, se introducen las dos herramientas sobre las que se va a apoyar este análisis. Por un lado, tenemos las respuestas al impulso que serán representadas de forma gráfica y se generarán para todas las relaciones entre las variables de cada modelo (cuatro relaciones por modelo). Los gráficos proporcionarán información sobre los ajustes inmediatos y a largo plazo de cada variable ante shocks que se produzcan en las mismas mediante la utilización de los coeficientes estimados de las matrices Beta y Alpha de los modelos. Por otro lado, la siguiente herramienta que se utilizará serán las descomposiciones de la varianza del error de predicción. Estas descomposiciones permiten entender cómo se distribuye la incertidumbre o la variabilidad en las predicciones entre las diferentes variables a lo largo del tiempo. La información se representará mediante gráficos y su construcción se realiza mediante la utilización de estimaciones que provienen de los modelos VECM. En concreto, emplean

los coeficientes de las relaciones de cointegración que se han detectado y las matrices de varianzas-covarianzas asociadas a los errores.

Teniendo en cuenta la información desglosada sobre cómo estas herramientas utilizan la información y la forma en la que la muestran, se procede a analizar en profundidad cada una de ellas:

5.2.1. Respuestas al impulso

Las respuestas al impulso son herramientas que permiten analizar cómo una variable reacciona a cambios instantáneos en otra que se incorpora en el modelo, manteniendo constantes el resto. Este análisis va a permitir entender cómo las posibles perturbaciones que experimente alguna de ellas afectará a la propia de estudio al tener relaciones entre las mismas. Este tipo de resultados cobra especial importancia en estudios sobre sectores económicos que experimentan ciertas tendencias como es el caso de las energías renovables. Es interesante conocer qué factores afectan al sector solar y cómo se traspasan esos impactos a través del tiempo, para poder entender de mejor manera las posibles fluctuaciones que se producen en la generación fotovoltaica.

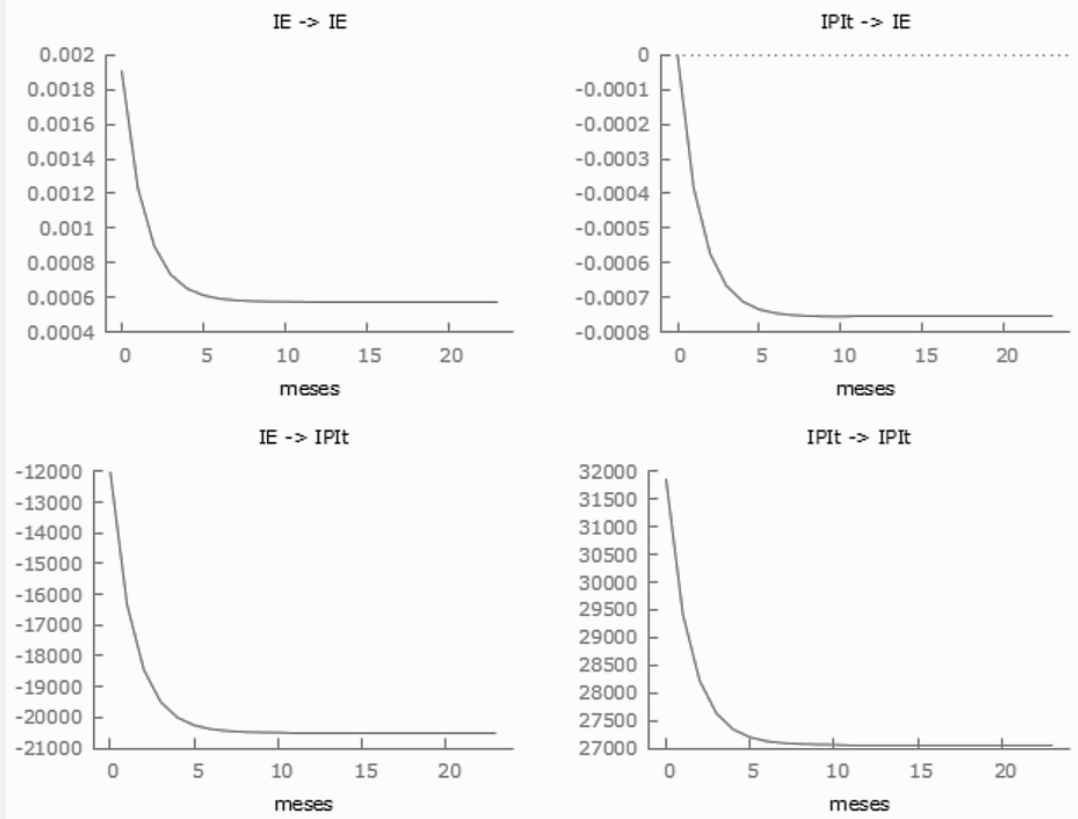
El análisis comienza con las todas las respuestas al impulso que nos ofrece el modelo VECM 1. En la Figura 23 siguiente se desglosa la información.

Se comienza analizando las respuestas ante un impulso en la intensidad energética (gráficos situados en la parte izquierda). Si observamos el gráfico superior, como es lógico, un cambio instantáneo en la intensidad energética crea un aumento en esa misma variable a corto plazo. Sin embargo, la parte relevante es que según se avanza en el tiempo, ese cambio no se desvanece por completo. Se trata de un impacto positivo que se sostiene en el largo plazo, aunque con evidente menor intensidad. Lo mismo sucede si se observa como un impulso en esta misma variable, afecta al índice de producción industrial. Al ser ésta misma parte del denominador de la variable IE, el efecto será negativo, pero con el paso del tiempo, ese impacto inicial se traspasa de manera que nunca se llega a igualar a la situación de antes del cambio.

Si se centra la atención en las gráficas izquierdas, que son las que reflejan impulsos en IPIt, en la parte superior tenemos información de qué pasa con la intensidad energética.

El efecto se traslada equivalentemente igual al anteriormente analizado, por lo tanto, ese cambio no termina de neutralizarse con el avance del tiempo.

**Figura 23: Gráficos temporales de respuestas de las variables ante un impulso
(Modelo VECM 1)**



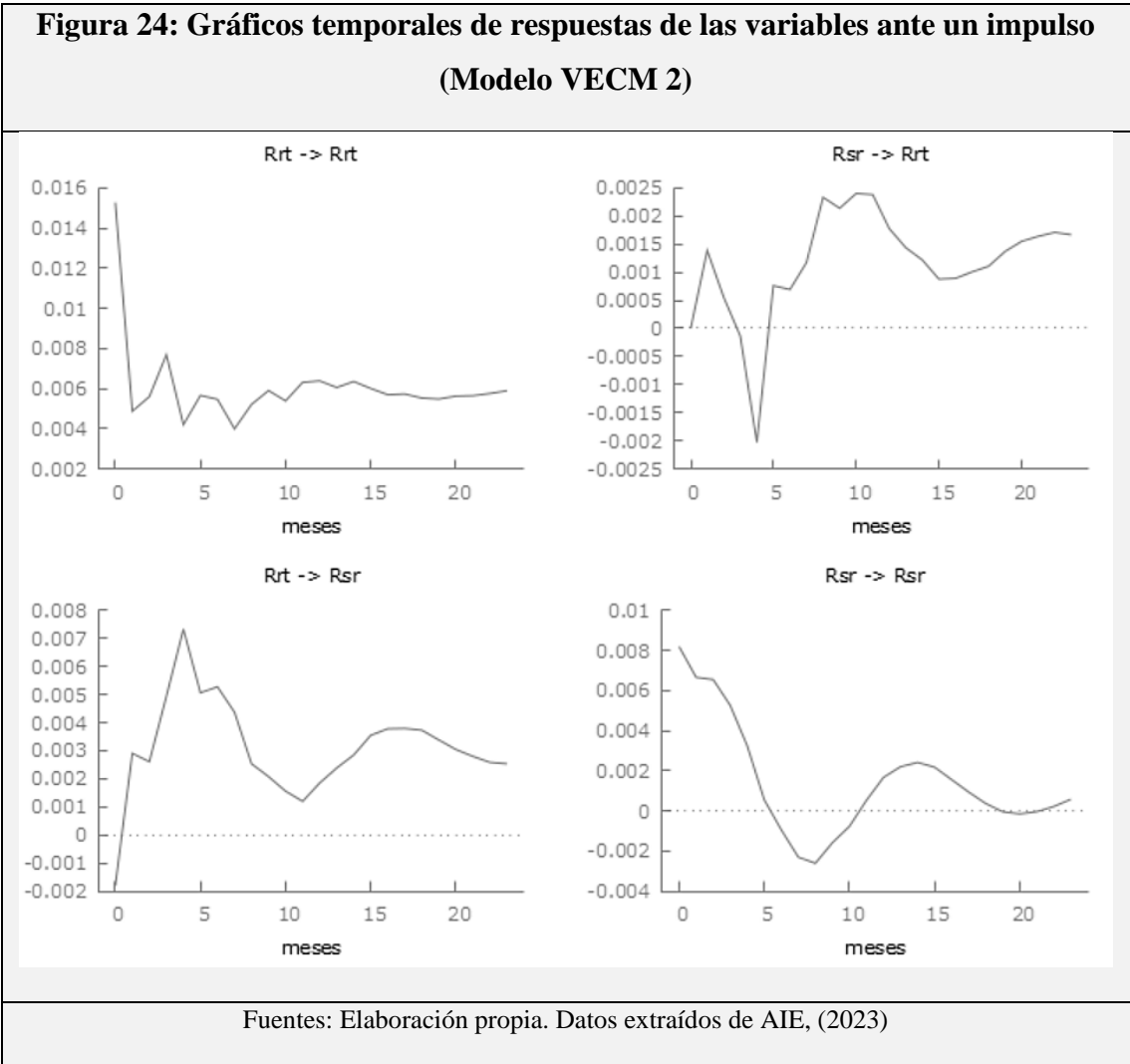
Fuentes: Elaboración propia. Datos extraídos de AIE y EUROSTAT, (2023)

El último impulso, muestra unas características diferentes. En contraposición con el resto, en este caso, el efecto inicial acaba desapareciendo según se avanza al largo plazo. Estos cambios parecen tener cierta lógica subyacente. Si bien un aumento puntual en la producción no tiene por qué hacer que la producción del futuro sea mayor, si hablamos de generación el planteamiento es diferente. Si se aumenta la energía en producción es normal pensar que puede deberse a, entre otras opciones, más capacidad de generación instalada que puede hacer que ese cambio se mantenga relativamente en el tiempo.

Ahora se procede a exponer las respuestas al impulso obtenidas del modelo VECM 2. Si se recapitula, este modelo hacía referencia a las relaciones entre las ratios de energía. Los gráficos obtenidos se representan a continuación en la Figura 24.

Primero se centra el análisis en los cambios que producirá un impulso en la ratio R_{rt} (porcentaje sobre la generación total que pertenece a tecnologías renovables). En el gráfico superior, se muestra cómo se traslada un impulso en un momento localizado a esa

misma variable a lo largo del tiempo. Representativamente, ese impacto inicial conserva aproximadamente un tercio de su poder en el largo plazo. Se vuelve a incidir en la posible explicación subyacente a ese hecho, en referencia al posible cambio en la capacidad instalada. Si ahora se tiene en cuenta cómo un cambio en esa variable afecta a la ratio que representa el porcentaje de generación renovable que es de producción solar, existen efectos en las dos direcciones. En el corto plazo, como es evidente, el impacto es negativo al crecer el denominador de la ratio. Sin embargo, según avanza el tiempo hacia el largo plazo, el efecto repunta al alza con gran intensidad hasta que finalmente el efecto acaba siendo un aumento del 0,25% en el peso de la generación solar en el conjunto de las renovables. Esto puede deberse a que, la tecnología solar, es la que mayor capacidad de crecimiento está experimentando.



Por lo tanto, si repunta el sector renovable en su totalidad, lo hará con una intensidad aún mayor en potencia solar. Se encuentra un efecto similar si se observa ahora los impactos en Rsr sobre Rrt. En este caso, este cambio es más fácil de comprender, al ser la generación solar, una parte de la renovable. Por último, se observa el cambio que se produce en Rsr ante un impulso en la misma. El efecto es predominantemente positivo, aunque atraviesa fluctuaciones que pueden deberse a la estacionalidad que posee la variable. Como se ha visto, es muy susceptible a la estación en la que se encuentre la muestra al depender directamente de las horas de sol. El cambio producido en ella parece disiparse en su práctica totalidad en el largo plazo.

5.2.2. Descomposición de la varianza

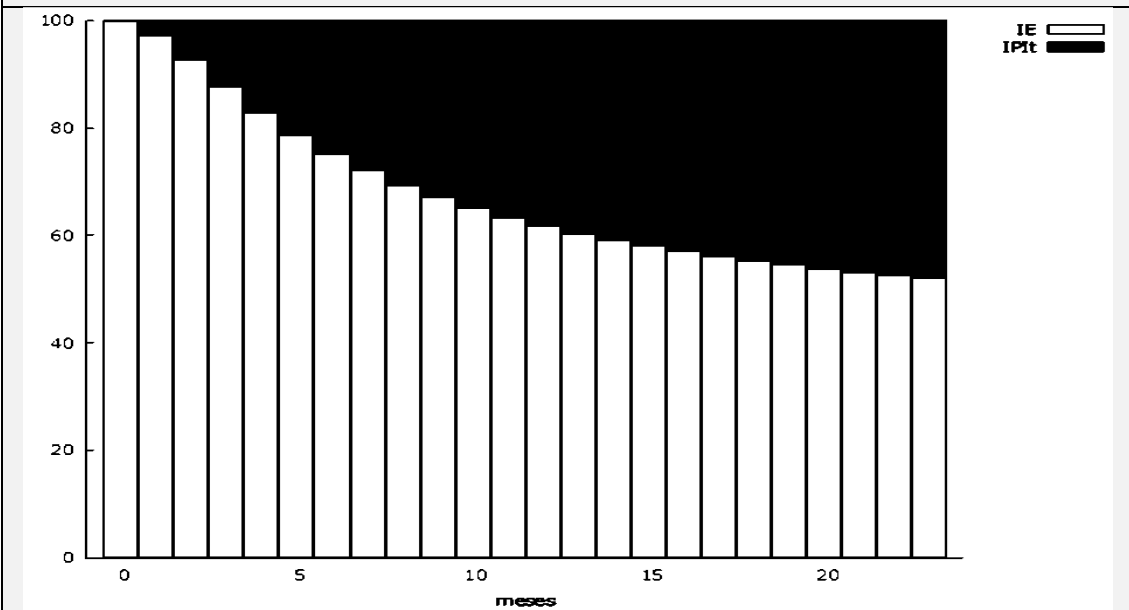
La descomposición de la varianza del error de predicción se utiliza en los análisis con la finalidad de poder comprender de qué fuentes provienen la posible variabilidad en los datos previstos. Consiste en desglosar a través de los meses, cuáles pueden ser las causas de que una predicción sufra diferencias con los datos reales que se produzcan en el futuro. Como se ha mencionado en la introducción de la sección, los resultados se mostrarán mediante un gráfico que representará, periodo a periodo, la proporción de la varianza del error de predicción, que se debe a la varianza de las innovaciones de cada variable. En resumen, es una herramienta útil para comprender la estructura de la que se compone una predicción y puede ayudar a explicar la variabilidad que se obtenga.

Se comienza en análisis con las predicciones que se realizan para el modelo VECM 1 (IE, IPIt). La Figura 25 inferior muestra la descomposición de la varianza para las predicciones realizadas para IE.

Para las primeras observaciones de la predicción, la variabilidad que puede observarse es prácticamente atribuible a la propia variable. Según avanzan temporalmente las estimaciones, el índice de producción industrial cobra protagonismo siendo, en el último periodo temporal, prácticamente igual de decisivo en las desviaciones que se puedan encontrar. Esto muestra como información relevante que, si han existido variaciones iniciales en los datos, ha sido prácticamente en exclusiva por fallos de estimación en IE.

Figura 25: Gráfico temporal de descomposición de la varianza de predicción para

IE

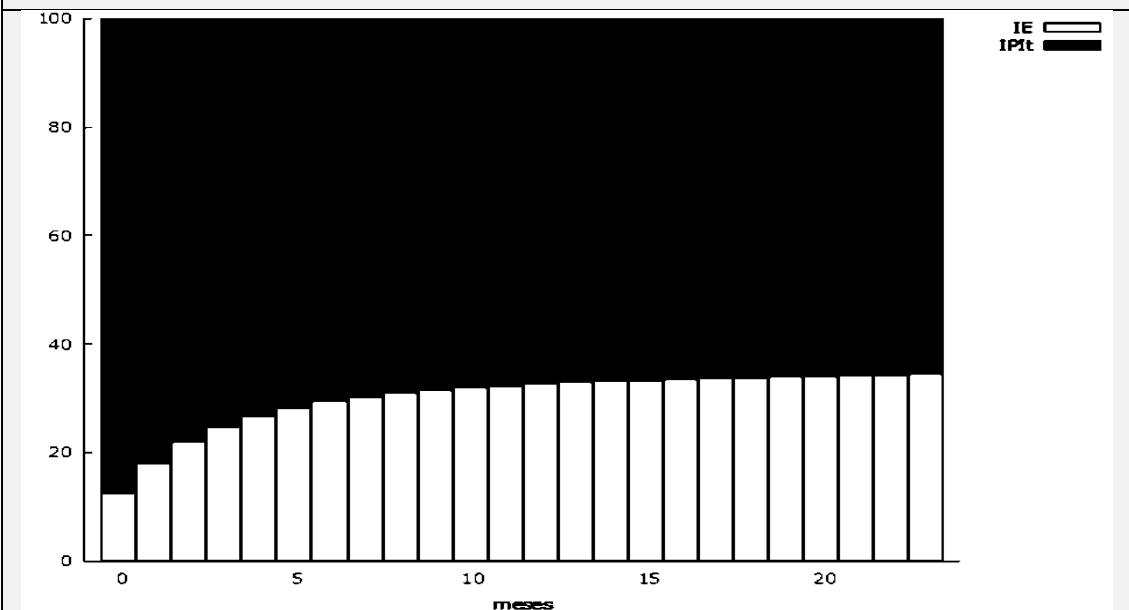


Fuentes: Elaboración propia. Datos extraídos de AIE y EUROSTAT, (2023)

Si se observa el mismo gráfico en la Figura 26 para la variable IPIt:

Figura 26: Gráfico temporal de descomposición de la varianza de predicción para

IPIt

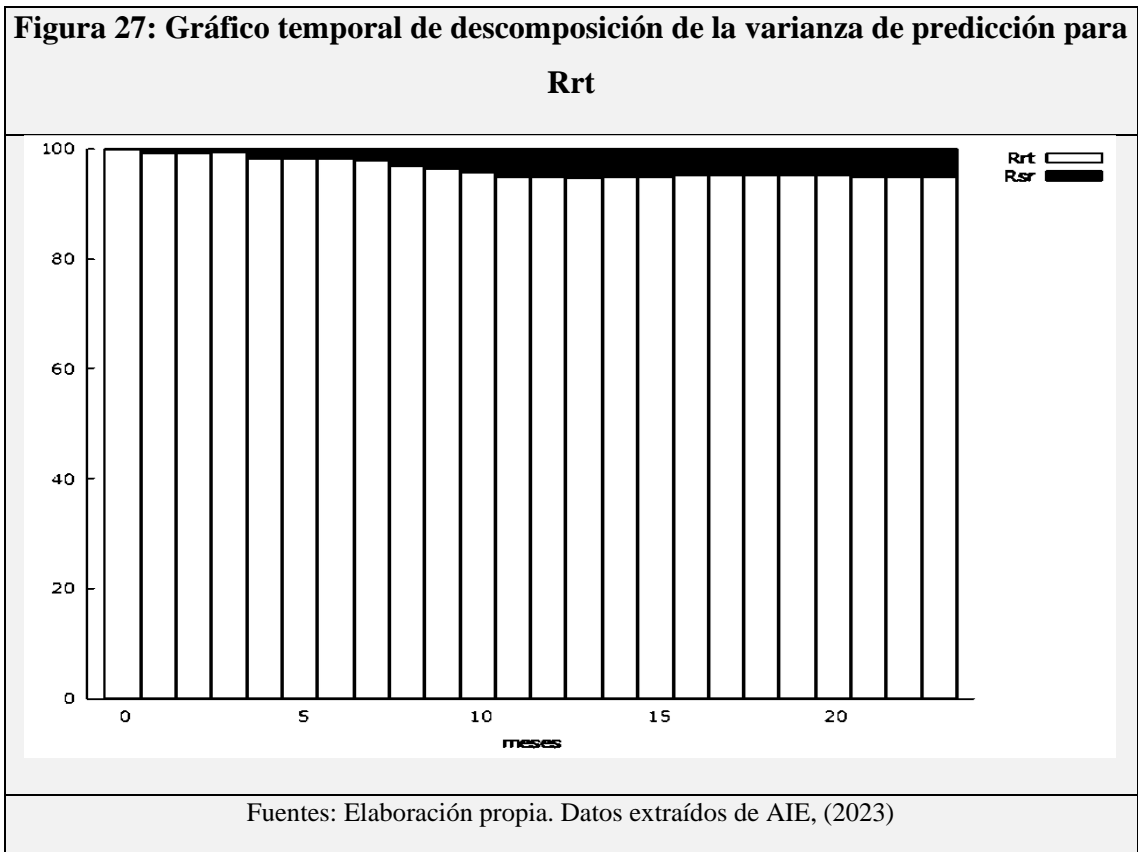


Fuentes: Elaboración propia. Datos extraídos de AIE y EUROSTAT, (2023)

En este caso, las diferencias que se pueden observar con el gráfico anterior es que, ya desde los periodos iniciales la variable IE tiene efectos, aunque leves, en las posibles desviaciones. En cambio, según avanza el tiempo, aunque aumente su capacidad de afectar a las estimaciones, lo hará en menor medida que en el caso explicado anteriormente no llegando a representar ni el 40% de las variaciones.

Por último, se procede a desglosar la misma información para el modelo VECM 2. Se comienza con la Figura 27 de descomposición de la varianza para la ratio Rrt.

En la práctica totalidad de las observaciones, el componente que afectará a la precisión de las mismas vendrá determinado por la propia variable de estudio, Rrt. En ningún caso la ratio solar llegará a representar ni el 10% en la variabilidad observada.

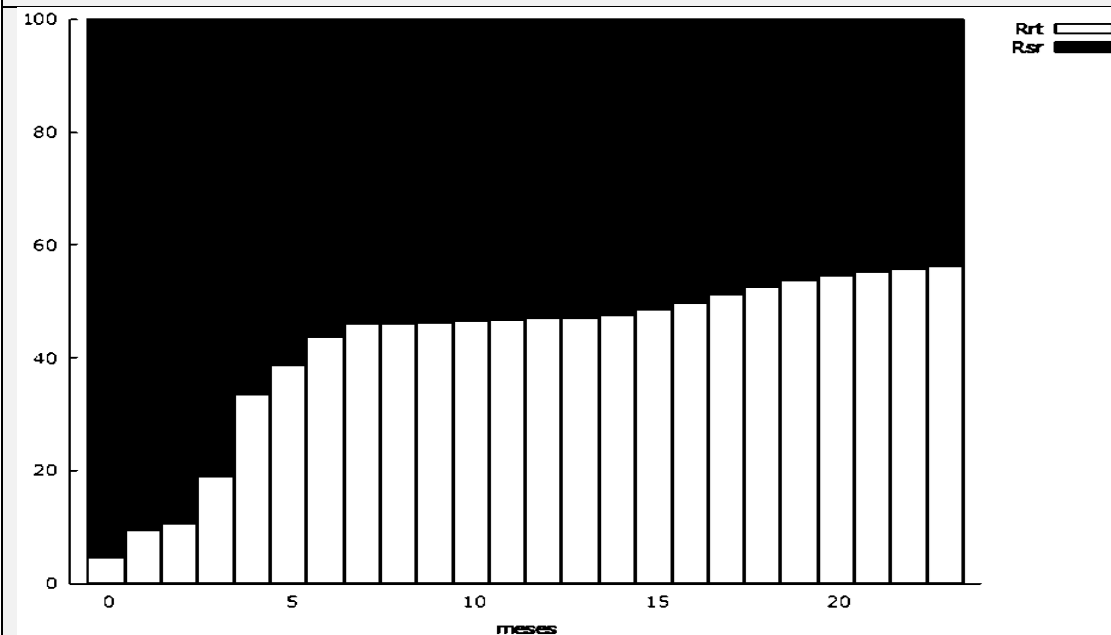


La última descomposición a analizar se trata la de Rsr. A continuación, se muestra la Figura 28 correspondiente.

Al igual que en el resto de las predicciones de variables, en las observaciones iniciales el mayor peso en la variación forma parte de la propia variable desglosada. Por otra parte, en un horizonte temporal cercano, como puede ser el séptimo mes de predicción, ya forma parte de la variabilidad en el casi 50% la ratio renovable-total.

Figura 28: Gráfico temporal de descomposición de la varianza de predicción para

Rsr



Fuentes: Elaboración propia. Datos extraídos de AIE, (2023)

La conclusión es bastante desfavorable para la variable Rrt en este modelo, ya que es en conjunto, la cual podría ser la mayor responsable en las variaciones que se observen en las estimaciones futuras.

Tras la consecución de todas las herramientas de análisis de los modelos y sus pertinentes resultados. Se procede a reflejar en la siguiente sección del estudio las principales conclusiones que se han desarrollado a lo largo del estudio realizado.

6. CONCLUSIONES

La trayectoria de crecimiento que ha seguido el sector solar en conjunto con el resto de las energías renovables a lo largo de los últimos años ha sido vertiginosa. A día de hoy, las perspectivas de crecimiento que se tienen sobre el sector indican que todavía está en plena rampa de salida y que cuenta con un futuro muy prometedor. El principal motor del crecimiento en la energía renovable y concretamente en la solar, han sido los impulsos en materia legislativa. Mediante el análisis en profundidad de las tendencias que ha seguido la senda de generación eléctrica solar, se muestra una clara dependencia al respaldo legislativo ya que, ha sido en gran medida, una de las principales ayudas en la consecución de un mejor posicionamiento costo-efectivo en relación a las alternativas. Esta legislación

favorable, ha permitido ser aprovechada en mayor medida por el sector solar al tratarse de una tecnología reciente con gran potencial de expansión en avances tecnológicos. Por otro lado, se observa que a pesar de continuar creciendo sigue teniendo una sustancial baja productividad en invierno. Esto puede llevar a pensar que será uno de sus posibles frenos en el crecimiento futuro del sector al necesitar participar en la generación de manera complementaria a otras tecnologías diferentes que permitan mantener una mayor estabilidad con el paso de los meses. La creación de ratios ha permitido observar los crecimientos relativos en las tecnologías. Los ratios muestran que las renovables cada vez tienen más peso en la generación total de energía y que, a su vez, el sector solar está aumentando el porcentaje que representa dentro de las energías renovables, sin embargo, estas ratios pueden ser engañosas. La energía total que se genera en la economía permanece estable desde que comienza la muestra, por lo tanto, este puede ser otro factor que pueda ser relevante a la hora de poder contemplar un futuro techo al crecimiento de la generación de energía solar. Una vez realizados los modelos econométricos para las variables de estudio, de uno de ellos se extrae tanto la relación que mantiene la producción en la economía con la energía necesaria para su ejecución, como la proyección que tendrá esa relación en el futuro. Se muestra como información relevante que, un shock que impulse la actividad productiva repercutirá de forma, aunque leve, permanente, en la intensidad energética necesaria en la producción. Sus proyecciones muestran también que, en los próximos años, la intensidad energética en la producción decrecerá. Incluso, tras extraer la predicción evaluada para la generación total de energía se muestra una leve caída. Sin embargo, del modelo que presenta proyecciones para la generación de energías se desglosa un continuado crecimiento de la generación solar y renovable en un horizonte temporal de 2 años. Por lo tanto, en el futuro la producción será cada vez menos demandante de energía, pero la sustitución energética muestra que según pase el tiempo, esa energía que demanda vendrá producida en mayor medida por estos sectores. También se resalta que, un posible impulso en el crecimiento del porcentaje de energía total que es de producción renovable resultará en un aumento en un porcentaje aún mayor para el sector solar. Si se observa la proyección a futuro de la generación exclusivamente solar se muestra que, a pesar de continuar creciendo en los próximos años, no lo hace con la intensidad esperada. Dados los objetivos de la Unión Europea en capacidad renovable instalada, el análisis no se centrará tanto en que el sector solar en conjunto con el renovable no crezca lo esperado, sino que, para conseguir ese probable crecimiento, la UE tendrá que presentar una nueva batería de legislación favorable para el sector

encontrándose así nuevas oportunidades de inversión por parte de las empresas que trabajen en él.

En definitiva, más allá de la confirmación en el crecimiento del sector solar, se ha podido desglosar información valiosa sobre los factores de los que éste depende y de qué manera lo hace y, además, sobre posibles frenos que se podrá encontrar en el futuro.

7. BIBLIOGRAFÍA

- Bachmeier, L. & Plante, M., (2018). *Oil Prices and the Macroeconomy*. Routledge.
- Banco de España (2019). *Recuadro 1. Los factores explicativos de la evolución reciente del mercado del petróleo*. repositorio.bde.es.
<https://repositorio.bde.es/handle/123456789/8468>
- Cerniglia, F., & Saraceno, F. (Eds.). (2022). *Greening Europe: 2022 European public investment outlook*. Open Book Publishers.
- Cevik, S., & Ninomiya, K. (2022). *Chasing the sun and catching the wind: Energy transition and electricity prices in Europe*. International Monetary Fund.
- Contreras, J., Espinola, R., Nogales, F.J., Conejo, A.J. (2003), *ARIMA models to predict next-day electricity prices*. IEEE Transactions on Power Systems, 18(3), 1014-1020
- Corazza, M., & Pizzi, C. (2010). *Mathematical and statistical methods for actuarial sciences and finance*. Springer.
- Grand View Research (2020), *Solar Energy Systems Market Size, Share & Trends Analysis Report by product (Solar panels, batteries, inverters), by source (New Installation, MRO), by end-use (Residential, commercial), by region, and segment Forecasts, 2022 - 2030*. (s. f.). <https://www.grandviewresearch.com/industry-analysis/solar-energy-system-market-report>
- Group, T. & F. (2021). *Routledge Handbook of Energy Economics*. Routledge.
- IEA (2019), *Múltiples beneficios de la eficiencia energética*, IEA, París
<https://www.iea.org/reports/multiple-benefits-of-energy-efficiency>,
- IEA (2022), *Renewables 2022*, IEA, París <https://www.iea.org/reports/renewables-2022>,
- IEA (2022), *SDG7: Data and Projections*, IEA, París <https://www.iea.org/reports/sdg7-data-and-projections>,
- IRENA (2019), *Panorama de la innovación para un futuro impulsado por las energías*

renovables: soluciones para integrar las energías renovables variables. Resumen para responsables políticos. Agencia Internacional de Energías Renovables, Abu Dhabi.

Perez-Mora, N., Alomar, M. L., & Moll, V. M. (2018). *Spanish Energy Market: Overview towards price forecast.* ResearchGate.

https://www.researchgate.net/publication/325173309_Spanish_Energy_Market_Overview_Towards_Price_Forecast

Sheridan, J. (2021, 11 agosto). *Infographic – Solar PV trackers: market overview.* S&P Global. <https://www.spglobal.com/commodityinsights/en/ci/research-analysis/infographic-solar-pv-trackers-market-overview.html>

Soytas, U., & Sari, R. (2003). *Energy consumption and GDP: causality relationship in G-7 countries and emerging markets.* Energy Economics, 25(1), 33-37.

[https://doi.org/10.1016/s0140-9883\(02\)00009-9](https://doi.org/10.1016/s0140-9883(02)00009-9)

Stern, David & Cleveland, Cutler. (2004). *Energy and Economic Growth.* Routledge.

Vorisek, M. S. J. B. D., Vorisek, M. S. J. B. D., & Vorisek, M. S. J. B. D. (2023, 4 septiembre). *What triggered the oil price plunge of 2014-2016 and why it failed to deliver an economic impetus in eight charts.* World Bank Blogs.

<https://blogs.worldbank.org/developmenttalk/what-triggered-oil-price-plunge-2014-2016-and-why-it-failed-deliver-economic-impetus-eight-charts>

Zhao, Z., Zhang, S., Hubbard, B., & Xue, Y. (2013). *The emergence of the solar photovoltaic power industry in China.* Renewable & Sustainable Energy Reviews, 21, 229-236. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2012.12.066>

8. ANEXO 1: EXTRACCIÓN DE DATOS (VARIABLES)

VARIABLES UTILIZADAS EN EL ESTUDIO	
Nombre de la variable:	Ruta de los datos extraídos y fecha de consulta:
ES: Energía Solar	Extraídos en abril de 2023 en AIE: https://www.iea.org/data-and-statistics/data-tools/monthly-electricity-statistics
ER: Energía Renovable	Extraídos en abril de 2023 en AIE: https://www.iea.org/data-and-statistics/data-tools/monthly-electricity-statistics
ET: Energía Total	Extraídos en abril de 2023 en AIE: https://www.iea.org/data-and-statistics/data-tools/monthly-electricity-statistics
IPI: Índice de Producción Industrial	Extraídos el 5 de junio de 2023 en EUROSTAT: https://ec.europa.eu/eurostat/databrowser/view/STS_INPR_M_custom_6455027/default/table
IPIt: Índice de Producción Industrial Transformado	Datos obtenidos de la variable IPI en conjunto con los datos sobre PIB extraídos el 31 de julio de 2023 en EUROSTAT: https://ec.europa.eu/eurostat/databrowser/view/SDG_08_10_custom_7065179/default/table
PP: Precio del Petróleo	Banco Mundial: World Bank Commodity Price Data (The Pink Sheet). Actualizada el 2 de junio de 2023. https://www.worldbank.org/en/research/commodity-markets#1