



*Universitat
Abat Oliba CEU*

Análisis del consumo energético en el siglo XXI a través de la elaboración de un indicador sintético.

TRABAJO FIN DE GRADO

Autor: Alberto Moscardó Forga

Tutora: Dra. Paula Bel Piñana

Grado en: Administración y Gestión de Empresas

Año: 2022

DECLARACIÓN

El que suscribe declara que el material de este documento, que ahora presento, es fruto de mi propio trabajo. Cualquier ayuda recibida de otros ha sido citada y reconocida dentro de este documento. Hago esta declaración en el conocimiento de que un incumplimiento de las normas relativas a la presentación de trabajos puede llevar a graves consecuencias. Soy consciente de que el documento no será aceptado a menos que esta declaración haya sido entregada junto al mismo.

Firma:

A handwritten signature in black ink, appearing to be 'AMF', enclosed within a hand-drawn oval.

Alberto Moscardó Forga

El progreso consiste en renovarse

MIGUEL DE UNAMUNO

Resumen

Desde el siglo XXI, el sector energético está en plena transición: ha visto la aparición de nuevas tecnologías renovables y nuevos objetivos a largo plazo que han hecho reconsiderar los patrones de consumo de energía en los diferentes países. Pero ¿existe alguna tendencia general en la evolución del consumo de energía, o cada país es un caso diferente? Este trabajo trata de dar respuesta a esta pregunta a partir de la creación de un indicador sintético que agrega el consumo de varias variables energéticas de 26 países desde el año 2000 hasta el 2020; analizando las variaciones de este indicador respecto al año base; y agrupando a los países analizados en cuatro categorías en función de qué trayectoria han descrito las variaciones de su indicador sintético.

Resum

Des del segle XXI, el sector energètic està en plena transició: ha vist l'aparició de noves tecnologies renovables i nous objectius a llarg termini que han fet reconsiderar els patrons de consum d'energia als diferents països. Però hi ha alguna tendència general a l'evolució del consum d'energia, o cada país és un cas diferent? Aquest treball intenta donar resposta a aquesta pregunta a partir de la creació d'un indicador sintètic que afegeix el consum de diverses variables energètiques de 26 països des de l'any 2000 fins al 2020; analitzant les variacions d'aquest indicador respecte a l' any base; i agrupant els països analitzats en quatre categories en funció de quina trajectòria han descrit les variacions del seu indicador sintètic.

Abstract

Since the 21st century, the energy sector has been in full transition: it has seen the appearance of new renewable technologies and new long-term goals that have led to a reconsideration of energy consumption patterns in different countries. But is there any general trend in the evolution of energy consumption, or is each country a different case? This work attempts to answer this question by creating a synthetic indicator that aggregates the consumption of various energy variables in 26 countries from 2000 to 2020; analyzing the variations of this indicator with respect to the base year; and grouping the countries analyzed into four categories based on the trajectory they have described the variations of their synthetic indicator.

Palabras claves / Keywords

Consumo energético – Indicador sintético — Análisis histórico – Matriz energética

Sumario

Introducción	8
1. Marco teórico	9
1.1 Consumo de carbón.....	10
1.2 Consumo de gas natural.....	12
1.3 Consumo de petróleo.....	14
1.4 Consumo de energía nuclear.....	16
1.5 Consumo de energía renovable.....	18
2. Datos y metodología	21
2.1 Datos.....	21
2.2 Metodología.....	22
3. Resultados	24
3.1 Crecimiento constante en las variaciones del IF.....	25
3.2 Decrecimiento inicial y posterior crecimiento en las variaciones del IF.....	31
3.3 Decrecimiento constante en las variaciones del IF.....	35
3.4 Crecimiento inicial y posterior decrecimiento en las variaciones del IF.....	49
4. Conclusiones	68
5. Bibliografía	73

Introducción

El sector de la energía lleva viviendo desde comienzos del siglo XXI una situación transitoria, donde las fuentes de energía más tradicionales como el carbón y el petróleo se han ido reemplazando por otro tipo de energías más recientes, como el gas natural, la energía nuclear y las energías renovables. Este cambio de paradigma histórico, resultado de que las nuevas políticas energéticas aboguen por un consumo de energía más limpio, ha planteado un desafío a la gran mayoría de países que buscan lograr este objetivo a largo plazo. Mientras que la seguridad energética de algunos países fue comprometida por la incorporación de las nuevas fuentes renovables, otras lo hicieron por tener arraigada su estructura de crecimiento al consumo de recursos fósiles. No obstante, es evidente que, a raíz del cambio de tendencia en el sector energético, los países han tenido que reconsiderar sus patrones de consumo de energía, lo cual ha generado modificaciones en los pesos de los diferentes tipos de energía que conforman su matriz energética¹. Es en este contexto que nace el propósito de este trabajo, analizar el consumo de energía a través de la creación de un indicador sintético que agregue el consumo de los diferentes tipos de fuentes energéticas que más se emplean, y poder observar la evolución del consumo de energía de los diferentes países con las variaciones de este indicador respecto a su año base.

Para ello, se han recopilado los datos del consumo de energía de 26 países, desglosado en el consumo de carbón, consumo de petróleo, consumo de gas natural, consumo de energía nuclear, consumo de energía hidráulica, consumo de energía solar y consumo de energía eólica, para los años comprendidos entre el 2000 y 2020. Para evaluar la evolución del consumo de energía a lo largo de estos años, se ha construido un indicador sintético que recoge el consumo de las diferentes variables energéticas resumidas en una sola cifra. Para mostrar la evolución del consumo de energía, se han calculado las variaciones del indicador respecto a su año base para los años 2000-2020. Adicionalmente, con el fin de observar de qué forma se han ido modificando la proporción de las fuentes energéticas y ver si guarda relación con la trayectoria descrita por las variaciones del indicador sintético, el trabajo se complementa con el análisis de las matrices energéticas de los diferentes países para los distintos años estudiados. La motivación principal de realizar este trabajo de investigación es poder analizar si las tendencias de consumo de energía han variado en los distintos países y si se pueden observar tendencias o patrones comunes. La contribución principal de este trabajo recae

¹ La matriz energética de un país es la distribución del consumo total de energía respecto a qué fuentes energéticas emplea y en qué proporción.

En la elaboración de un indicador sintético aplicado al análisis energético que incorpora numerosos países de estudio. Con la realización de este trabajo la finalidad es doble. Por una parte, se pretende ayudar a mejorar la comprensión de los diferentes tipos de fuentes energéticas y cómo interactúan con la seguridad energética mediante la revisión de la literatura existente. Por otra parte, se pretende evaluar la evolución del consumo de energía en diferentes países del mundo mediante la elaboración de un indicador sintético, así como la identificación de diferentes patrones de consumo energético en base al análisis de la trayectoria del indicador

A continuación, en el primer apartado se realiza un análisis de la literatura sobre la seguridad energética y el consumo de los diferentes tipos de energía. En el apartado dos se explica la procedencia de los datos utilizados en el trabajo, así como la metodología empleada. En el tercer apartado se presentan los principales resultados de los 26 países analizados en función de la trayectoria que describe su gráfica de variaciones del indicador sintético. Finalmente, el trabajo concluye con el apartado cuatro donde se presentan.

1. Marco teórico

Los bienes y servicios comúnmente poseen una demanda elástica y condicionada por los movimientos del mercado. Sin embargo, la energía, al ser un bien de primera necesidad, su demanda es mucho más inelástica e independientemente de cómo esté operando en el mercado internacional, un país no puede permitirse cesar en la compra y consumo de energía, puesto que, sin energía, no puede haber crecimiento. A raíz de esta necesidad básica, nace la seguridad energética, que se define como el conjunto de medidas que toma el gobierno de un país con el fin de que su abastecimiento a la energía sea constante, a precios competitivos y permisivos para sus ciudadanos y medioambientalmente aceptable. Además, en palabras de la International Energy Agency (a partir de ahora IEA) (2022), la seguridad energética puede definirse a largo plazo con proyectos de inversión de infraestructura energética, o bien, a corto plazo, enfocado a cómo los países reaccionan a disrupciones que alteran la demanda y oferta de diferentes recursos energéticos.

Yergin (2006) explica que el sistema de seguridad energética actual se crea en respuesta a la crisis del petróleo de 1973, con el fin de que los países industrializados estuviesen mejor preparados para eventos disruptivos y menos sujetos a chantajes donde el suministro de recursos naturales se usa como un arma. Los elementos clave que han logrado definir la seguridad energética fueron la creación de la IEA y la continua monitorización y análisis de los mercados energéticos y sus políticas.

Según Yergin (2006), los países deben acatar cuatro principios si quieren preservar su seguridad energética. En primer lugar, la diversificación a la hora de obtener recursos energéticos; si se aumentan el número de clientes productores de energía, se reduce el riesgo de verse afectado negativamente por un evento disruptivo. En segundo lugar, la resiliencia, que se consigue a través de reservas estratégicas para atenuar un periodo de crisis en caso de que sea inevitable. El tercer principio es reconocer que posturas secesionistas o autárquicas en materia de obtención de energía ya no son plausibles, sólo hay un mercado energético y es el mercado global de energía; la seguridad energética reside en la estabilidad de este mercado. Por último, está el principio de la información; sólo con un flujo de información de calidad pueden conseguirse compradores y vendedores que garanticen el buen funcionamiento del mercado energético. Este flujo informativo se consigue gracias a los gobiernos cooperantes y sobre todo a entidades regulatorias como la IEA.

Enlazando con el mercado global energético, Moran y Rusell (2009), definen que en el mercado energético, al igual que el resto de mercados, se pueden observar tres tendencias claras. Las dos primeras son la volatilidad en el corto plazo y el momentum del medio plazo, de éstas se benefician los agentes que buscan explotar las tendencias del mercado y sacar un beneficio. Por otra parte, la tercera tendencia, la reversión a la media en el largo plazo, es la que más interesa a los agentes estratégicos, debido a que este mecanismo de largo plazo otorga más estabilidad y seguridad en periodos donde el momentum y la volatilidad llevan el nivel de precios a fuertes bajadas o subidas. Por último, los autores recalcan la gran importancia que tienen las fuerzas armadas de las grandes potencias en el mercado energético. El motivo de este despliegue militar no es para poder adquirir recursos energéticos de una zona conflictiva, o mantener el precio de la energía a un nivel determinado, sino para mantener el mecanismo del mercado global por el cual los precios de diferentes recursos energéticos son fijados.

Además, la seguridad energética va ligada a la distribución del consumo de los diferentes tipos de fuentes energéticas, es decir, la matriz energética. Esta matriz varía en función del país y de su política energética, por lo que la proporción de cada tipo de energía consumida es distinta, sin embargo, el consumo de estas fuentes energéticas que conforman la matriz es común en todos los países; estas fuentes son las energías fósiles, con carbón, el gas natural y el petróleo; la energía nuclear; y las energías renovables, que pese a que hay una gran cantidad de tipos, las principales son la hidráulica, la solar y la eólica. A continuación, vemos en más detalle el consumo de estas fuentes y que relación guardan con la seguridad energética.

1.1 Consumo de carbón

El carbón es una de las tres fuentes energéticas que, junto al gas natural y el petróleo, representan a las energías no renovables. Según Our World in Data (2022), en 2020, el consumo de carbón conformaba un 32% en las energías no renovables a nivel global; y un 27% en la matriz energética mundial, siendo el segundo tipo de energía más popular por detrás del petróleo. Sin embargo, pese a no ser la primera fuente energética global, el consumo de carbón no ha parado de crecer en los últimos 40 años. Según la IEA (2021), el consumo de carbón mundial entre 1978 y 2020 ha aumentado en un 123,8%.

Griffiths (2002) reafirma que el carbón, pese a no estar en su mejor etapa respecto a épocas pasadas, sigue siendo una de las fuentes energéticas más importantes, ya que pese a haber sido la primera fuente de energía en explotarse en comparación al resto de fuentes, sigue siendo actualmente el recurso energético más abundante y el más ampliamente distribuido a nivel mundial. Además, Tillman (2000) menciona que, pese a que en las últimas décadas se está dando una transición de este recurso a otros menos contaminantes en países de la OCDE, en países asiáticos el consumo de carbón no ha cesado en aumentar. El motivo principal de esta transición en el consumo de carbón, especialmente en países occidentales, la explica Balat (2007), y es que las ventajas que ofrece el carbón de ser un recurso energético barato y fácilmente accesible, mejorando así su seguridad energética respecto a otros tipos de energía, son eclipsadas por la necesidad de satisfacer unos estándares ambientales en el que el carbón apenas puede competir. Siendo la contaminación la desventaja más importante en el consumo del carbón.

Balat (2007) y Sribna et al (2019) explican que el carbón es la fuente de energía que más contribuye a la emisión de gases de efecto invernadero (a partir de ahora, GHG, por sus siglas en inglés), siendo también la base del problema de la lluvia ácida; en su combustión también se emiten gases tóxicos y perjudiciales como el óxido nitroso (N₂O) y grandes cantidades de dióxido de carbono (CO₂), además de partículas en suspensión como el hollín. En menor proporción se emite mercurio (Hg), arsénico (As) y plomo (Pb); además de que los residuos de carbón contienen algunas sustancias radioactivas. Sribna et al (2019) prosiguen que la contaminación va más allá de los gases GHG; la minería de carbón requiere de grandes superficies y produce efectos adversos, como la erosión del suelo, contaminación acústica y acuífera, polvo e impactos negativos en la fauna y flora de la zona explotada.

Es por estas razones por las cuales los países desarrollados en Europa, América y Asia están impulsando políticas de transición de esta energía. Best y J. Burke (2020) y Aldy y Stavins (2012) lo ejemplifican con el precio de las emisiones, una herramienta similar a

una tasa, cuyo objetivo es reducir emisiones de gases GHG fijando un precio específico por una cantidad determinada de gases GHG emitido.

Otra consecuencia de que la extracción de carbón sea dañina para el entorno es que los países que consumen este recurso suelen optar por importarlo antes que extraerlo de sus propias reservas naturales. Sribna et al (2019) lo ejemplifican con el funcionamiento del mercado internacional de carbón; donde grandes consumidores de carbón como Japón, India y China son líderes en la importación de este recurso debido a que no extraen carbón por razones medioambientales. Esto resulta en un mercado de exportación de carbón con dos líderes indiscutibles, Australia e Indonesia, con un 36,9% y un 16,2% del total de exportaciones a nivel global respectivamente.

La conclusión a la que llegan Balat (2007), Sribna et al (2019) es que el carbón seguirá viendo un aumento del consumo en el corto y medio plazo, principalmente por el aumento de la demanda en países en vías de desarrollo, ya que es una fuente de energía barata y accesible. Sin embargo, se darán reducciones en la demanda de países desarrollados por sus políticas de transición a energías renovables y otras menos contaminantes como la nuclear o el gas, fuentes contra las que el carbón apenas puede competir. Esto también causará una reducción en la extracción y exportaciones de carbón. Sin embargo, la conclusión a la que llegan algunas agencias internacionales como la Energy Information Association (a partir de ahora EIA) (2019), es que no ven potencial a largo plazo en el carbón, alegando que para el 2050 el consumo de carbón se estancará. Además, prevén que la generación eléctrica por parte del carbón se habrá reducido un 60% en 2030 y un 95% en 2050, siendo el gas natural y las energías renovables las fuentes sustitutivas.

1.2 Consumo de gas natural

El gas natural, como indica la EIA (2022), es una fuente energética no renovable gaseosa, siendo su principal componente el metano (CH_4). También en menor proporción se encuentran los líquidos de gas natural, que son hidrocarburos como el etano (C_2H_6), propano (C_3H_8) y butano (C_4H_{10}), y gases no hidrocarburos, como el dióxido de carbono (CO_2) y vapor de agua. Al igual que el petróleo, el gas natural es un recurso que se encuentra bajo la superficie, y también se trata previamente para su consumo. Su distribución se realiza por gaseoductos, o pasando el gas natural de estado gaseoso a líquido y transportarlo en depósitos a muy bajas temperaturas con enorme presión; esto último se conoce como gas natural licuado (a partir de ahora, GNL).

Respecto al consumo global de gas natural, según BP Statistical Review of Global Energy (2020), éste ha ido creciendo de forma gradual y continuada desde los años 60, sólo en dos ocasiones, 2009 y 2020, ha decrecido. Concretamente, el consumo de gas natural

en el 2020 es un 59% mayor respecto al nivel de consumo del año 2000. Su representación en la matriz energética global actualmente conforma un 24%, siendo un 22% en el año 2000, por lo que apenas ha variado.

A diferencia del carbón, el consumo de gas natural es más popular en países desarrollados que en vías de desarrollo. Egging y A. Gabriel (2006) explican que este incremento en el consumo es explicado por dos factores; el primero resultado de las políticas de transición energéticas y sus estándares medioambientales, puesto que la combustión de gas natural tiene en contenido de carbono un 50% menos que el carbón y un 25% que el petróleo. El segundo factor que dan Egging y A. Gabriel (2006), va relacionado con la situación de abastecimiento a largo plazo que tiene el gas natural en comparación al petróleo; donde el actual nivel de producción en comparación al ratio de reservas/producción resultan en una oferta energética mayor para el gas natural, pudiendo abastecer los próximos 51 años, mientras que el petróleo sólo los próximos 25. Es por esta razón por la que es preferible el gas natural frente al petróleo, por la seguridad energética a largo plazo.

Sesini et al (2020) matizan que el incremento de consumo de gas en tanto por gaseoducto como en forma de GNL, siendo esta última opción la más demandada y la recomendada por el autor, ya que es un producto energético flexible y favorece al mercado del gas, aumentando su liquidez. Profundizando en el tema del GNL, Sesini et al (2020) y Litvinienko (2020) resaltan la importancia que tendrá este tipo de gas en el futuro a corto y largo plazo, teniendo muchas más opciones de crecimiento potencial que en los mercados internacionales en comparación a otras fuentes energéticas. Como indica Litvinienko (2020), si la industria del gas ha logrado un crecimiento sin precedentes, es gracias al GNL, cuya producción se ha duplicado cada década desde 1998. Los dos factores clave que ambos autores mencionan son sus propiedades medioambientales y económicas y la flexibilidad de las cadenas de suministro, que, en comparación a las infraestructuras requeridas para los gaseoductos, hacen del GNL un producto mucho más flexible y práctico, maximizando la seguridad energética de sus consumidores.

Por otra parte, el GNL actualmente también posee algunos inconvenientes, Animah y Shafiee (2019) y Litvinienko (2020) mencionan que para su transporte y almacenamiento se requieren de compartimientos especiales que aplican gran presión y temperaturas muy bajas. Esto resulta en un líquido criogénico y con dispersión de vapores, convirtiéndolo en un líquido altamente inflamable con más riesgos para la salud y seguridad en su tratado. El segundo inconveniente se refiere al mercado de gas internacional, puesto que el mercado de exportaciones de GNL está monopolizado por Australia, con un 22%, Catar con un 22% y EE.UU, con un 13%, acumulando un 57%

sólo 3 países. Litvinienko (2020) resalta que la situación monopolística del mercado de GNL actualmente no trae inconvenientes, pero a largo plazo sería recomendable una transición hacia un mercado con prácticas más liberalizadoras, ya que el intervencionismo de los estados y gobiernos no ha afectado positivamente el desarrollo del mercado de GNL. Por último, el GNL también muestra una desventaja a nivel de precios en el mercado, dado que es muy sensible y sufre fluctuaciones drásticas a eventos inesperados, por lo que depender en gran parte de este recurso puede suponer un gran riesgo en periodos inestables.

La conclusión a la que llegan Egging (2006), Sesini et al (2020) y Litvinienko (2020), es que el aumento del consumo de gas natural viene motivado por una transición a políticas energéticas menos contaminantes, un pronóstico de abastecimiento a largo plazo mayor y la creciente importancia que está teniendo el GNL, siendo un recurso clave al ser flexible. Sin embargo, para que la seguridad energética del gas natural no se vea afectada, es necesario que la creciente demanda de GNL se vea acompañada por el respaldo de los gaseoductos con el fin de diversificar y reducir riesgos.

1.3 Consumo de petróleo

El petróleo, al igual que el resto de los combustibles fósiles, requiere de procesos de tratado para conseguir el combustible apto para el consumo. El estado primario en el que se encuentra el petróleo se define como petróleo crudo, comúnmente conocido como *crudo*. Como indica la EIA (2021), el crudo es una mezcla de hidrocarburos volátiles en estado líquido bajo la corteza terrestre. La composición del crudo es principalmente carbono (C) e hidrógeno (H) que corresponden a los hidrocarburos; en menor proporción se encuentran elementos como el nitrógeno (N), oxígeno (O) y azufre (S). Prosiguiendo con la EIA (2021), el crudo, pese a no utilizarse como combustible en su estado primario, se utiliza como unidad de medida estándar a través del barril de crudo, El barril de crudo más popular es el barril americano, cuya capacidad es de 42 galones o el equivalente a 159 litros. En el año 2020, la EIA mostró que, del barril estándar americano de 159 litros, 73,43 litros iban destinados a la producción de gasolina; 47,31 litros a productos destilados con más proceso de refinado como el diésel o el fuelóleo; 16 litros a combustible de aviación, principalmente queroseno; y 6,5 litros en otros combustibles; los 15,76 litros restantes fueron compuestos residuales.

Respecto a la seguridad energética, el petróleo es un componente vital, siendo actualmente el recurso energético más demandado a nivel global. Como indica el BP Statistical Review of World Energy (2020), el petróleo lleva siendo la fuente energética más consumida mundialmente desde 1965, teniendo en 2020 un consumo de 48.259

TWh y una representación en la matriz energética global del 31,42%. El crecimiento en el consumo del petróleo es el más gradual en comparación al resto de fuentes energéticas, aunque también el menos volátil, habiendo crecido su consumo desde el año 2000 hasta el 2020 un 12,5%.

Respecto a la relevancia histórica que ha tenido el petróleo, Noguera-Santaella (2016) identifica desde 1860 un total de 32 conflictos armados y eventos geopolíticos que han sido motivados o han tenido consecuencias en el consumo de petróleo. Algunos conflictos relevantes son, en Europa, las dos guerras mundiales, y, en Oriente Medio, la guerra árabe-israelí de 1948, la de los Seis Días en 1967, Yom Kippur en 1973, la invasión de Kuwait y la guerra del Golfo en 1990, la guerra de Iraq en 2003 y las Primaveras Árabes en 2011-2012. Respecto a eventos sin conflicto directo, los más relevantes fueron el embargo de petróleo en 1973 de países árabes productores de petróleo a raíz de la guerra de Yom Kippur, y la revolución iraní en 1979. La conclusión a la que llegan Noguera-Santaella (2016) es que, de los 32 eventos y conflictos analizados, sólo los que sucedieron previamente al año 2000 tuvieron un impacto significativo en el precio del petróleo; mientras que los que han sucedido tras el año 2000, han tenido relevancia en el ámbito geopolítico pero no en el mercado y precio del petróleo.

Sin embargo, el petróleo ha demostrado ser una fuente energética que tiene grandes disparidades respecto a su demanda y oferta; según British Petroleum (2005) las regiones de Norteamérica, Asia-Pacífico y Europa acumularon en 2005 un 78,8% de la demanda de petróleo mundial, mientras que sus reservas sólo representaban un 10% global. Por otra parte, en el lado de la oferta, los países de Oriente Medio, exrepúblicas soviéticas y África poseían en 2005 el 81,3% de la oferta internacional de petróleo, pero sólo un 15,5% del consumo global. Además, la distribución de las reservas de petróleo no está distribuida equitativamente, puesto que un 60% de estas reservas internacionales están localizadas en Oriente Medio.

Bentley (2002), Gupta (2006) y Kilian (2014) explican otros dos grandes problemas inherentes al mercado internacional de petróleo. El primero, el pico de petróleo, teoría elaborada por M. King Hubbert (1956), que explica que, por la naturaleza limitada del petróleo, todos los pozos que extraen este recurso describen una función con un máximo de producción en el centro, similar a la campana de Gauss. La teoría explica que la rentabilidad de la extracción de petróleo se da en el periodo previo al máximo de producción; tras haber pasado ese punto, el costo de extracción se va incrementando hasta llegar a ser más caro el proceso de producción de crudo que el propio barril de crudo, lo que hace inviable el proceso productivo a nivel económico. Gupta (2006),

apoyándose en esta teoría, explica que la mayoría de los países productores de petróleo ya han atravesado su máximo productivo, por lo que el precio de crudo sólo puede aumentar. Bentley (2002) añade que los países productores de petróleo no han invertido lo suficiente en su infraestructura, por lo que no pueden paliar el incremento de la demanda de petróleo y su capacidad de reserva cae continuamente. Esto resulta en que el mercado de petróleo sea cada vez más volátil y sensible a eventos disruptivos; la prueba más reciente se vio el 20 de abril de 2020 con la pandemia del COVID-19, donde los futuros del petróleo llegaron a un mínimo histórico de -37,63 USD. El último inconveniente lo explica Kilian (2014), que son las subidas repentinas del precio en el petróleo, conocidas comúnmente como *oil shocks* por su término anglosajón. Según el autor, estos *shocks* pueden causarse desde el lado de la demanda como en el de la oferta de petróleo; sin embargo, la mayoría de los incrementos de precio de petróleo se dan por interrupciones en el lado de la demanda, no de la oferta. El autor menciona que la volatilidad en el mercado de petróleo también ha aumentado debido a la creación del mercado de futuros del petróleo² en 1980. Este nuevo mercado propició un aumento de agentes que entraron al mercado de petróleo con fines especulativos, incrementando la sensibilidad del precio del petróleo y llevando las consecuencias al mercado físico del petróleo.

Según Gupta (2008) y Erdogan et al (2020) se dará una reducción del consumo futuro de petróleo y una transición a energías renovables con el fin de reducir emisiones de CO₂ a través de políticas que incentiven la limitación del consumo de petróleo, o bien, motiven el desarrollo de renovables. Bentley (2002) también apoya esta conclusión, debido a que el pico de petróleo global ya se ha alcanzado, y el declive de la extracción de crudo no puede paliarse con petróleo no convencional³; son necesarias políticas energéticas de transición.

1.4 Consumo de energía nuclear

La energía nuclear, es junto a las fuentes renovables, el tipo de energía que se ha desarrollado más recientemente. Mientras que el primer reactor nuclear apareció en 1942 en Chicago, EE.UU a manos de Enrico Fermi, la primera central nuclear lo hizo en 1954 en Obninsk, URSS, convirtiéndose en la primera ciudad soviética y del mundo en poseer electricidad proveniente de energía nuclear. Desde entonces, la energía nuclear se

² Los contratos de futuros permiten a los inversores acordar por adelantado el precio al que intercambiarán una cantidad determinada de petróleo crudo en una fecha futura.

³ El petróleo no convencional hace referencia al que se extrae utilizando técnicas no convencionales (mediante perforación de un pozo de petróleo, y salida por presión propia o mediante bombeo del petróleo del subsuelo). Ejemplos de petróleo no convencional son: petróleo crudo pesado, lutita bituminosa y petróleo de esquisto.

expandió a más países, proliferando especialmente tras los embargos de petróleo de 1970 y 1973, con el fin de diversificar sus fuentes energéticas y reducir su dependencia del petróleo; Francia y Japón son ejemplo de ello. Como indica Our World in Data (2022), el consumo mundial de energía nuclear en el año 2000 tuvo una representación del 6,5% en la matriz energética global y en el 2020 una del 4,3%, reduciendo su cuota en un 2,2%.

Respecto al funcionamiento de la energía nuclear, la EIA (2022) explica que existen dos procesos por los cuales se obtiene energía a través de los núcleos atómicos. En primer lugar, está la fusión, que consiste en juntar dos átomos de un mismo elemento químico y crear un nuevo elemento químico, liberando enormes cantidades de energía. Este proceso es el que siguen estrellas como el Sol, que fusiona átomos de hidrógeno (H) y termina con átomos de Helio (He) tras fusionar sus núcleos. El otro proceso es la fisión, que consiste en disparar un neutrón al núcleo de un átomo y desestabilizarlo, con esto se consigue que los neutrones de ese átomo desestabilizado también disparen a núcleos de nuevos átomos, creando una reacción en cadena y liberando energía. De estos dos procesos, sólo la fisión nuclear es la que se ha empleado hasta ahora, ya que aún no se ha conseguido manipular la fusión nuclear sin que resulte deficitaria.

Lenzen (2008), nos detalla que la obtención de energía nuclear en las centrales nucleares se consigue a través de la fisión nuclear, teniendo como energía primaria la gran mayoría de reactores el uranio (U), concretamente el isótopo⁴ U-235. El U-235 es el único isótopo que se puede encontrar de forma natural que sea fisil, es decir, es el único isótopo capaz de provocar una reacción en cadena que libere grandes cantidades de energía a través de la fisión nuclear. En los reactores nucleares se fisionan los isótopos U-235, provocando la reacción en cadena nuclear que resulta en un gran número de partículas viajando a gran velocidad dentro del núcleo del reactor. Estas partículas rebotan contra las paredes del reactor, disminuyendo su velocidad; la disminución de energía cinética se transforma en un aumento de energía calorífica, y es este aumento de calor el que se transfiere a la unidad de generación de electricidad del reactor, completando así el proceso de transformar la energía primaria en electricidad.

La World Nuclear Association (2022) (a partir de ahora, WNA) profundiza en el uranio como elemento natural y fuente de energía primaria. A diferencia de las fuentes fósiles de energía primaria como el crudo y el gas natural, el uranio es aún muy abundante y no se prevé un agotamiento de las reservas globales en un largo plazo. Además, las reservas naturales de uranio están más distribuidas que las reservas fósiles; estos

⁴ Un isótopo es un átomo cuyo número de neutrones no coincide con el de protones, resultando en un número másico diferente.

factores combinados causan que el mercado internacional de uranio sea mucho más estable y menos propenso a interrupciones. Según la WNA (2022), en el mercado internacional, en 2019, Australia acumulaba el 29% de las reservas totales de uranio, seguido por Kazajstán, con un 15%; Canadá con un 9% y Rusia con un 8%.

Sin embargo, la energía nuclear presenta algunos inconvenientes en su aplicación, siendo la tasa de aceptación pública⁵ el mayor determinante. Los accidentes en centrales nucleares son el factor que más influye negativamente en la tasa de aceptación; por ejemplo, el accidente de Fukushima en 2011 causó que varios países en el mundo adoptaran políticas energéticas que rehuyesen de la energía nuclear a largo plazo.

En la cuestión del CO₂, los autores Lenzen (2008) e Ishida (2018) explican que la energía nuclear sí emite CO₂ a lo largo de su vida útil, si bien es cierto que la proporción de gases emitidos es mucho menor en comparación a las contrapartes fósiles. Lenzen (2008) aclara que esta emisión de gases GHG no se hace en su etapa de generación eléctrica ni generación de calor, sino de forma indirecta en su cadena logística de transformar la energía primaria en electricidad. Ishida (2018) prosigue comparando el crecimiento del sector nuclear en Japón con la emisión de gases CO₂ entre 1970 y 2010, y llega a la conclusión de que no hay evidencia que demuestre que, en Japón, el aumento del consumo nuclear a largo plazo haya contribuido a una reducción de emisiones de CO₂. Sin embargo, Ishida (2018), tras analizar los resultados de Apregis et al. (2010) y Destek (2015), donde la energía nuclear sí reduce las emisiones de CO₂, llega a la conclusión de que la relación a largo plazo entre el consumo de energía nuclear y las emisiones de CO₂ varía en función de cada país.

Respecto al papel de la energía nuclear en la futura matriz energética, para Gokmengulu (2007) y Brook et al. (2014), sería lógico un incremento de esta fuente de energía en las próximas décadas, puesto que el gran uso de las fuentes fósiles acarrea consecuencias negativas en el medio ambiente y en la salud de las personas. La extracción de estos recursos será cada vez más costoso y menos accesible, lo que hará menos rentable esta energía a medida que pase el tiempo y afectando negativamente a la seguridad energética futura, por lo que se requerirá de una fuente de energía que no posea estos inconvenientes, la energía nuclear.

1.5 Consumo de energía renovable

⁵ El nivel de aceptación se define como el grado de tolerancia que presenta una población de un país a favor de que éste use energía nuclear

La energía renovable, como definen la EIA (2022) y la IEA (2022), tiene su origen en fuentes que se reponen de forma natural, es decir, inagotables. Sin embargo, la cantidad de energía producida por unidad de tiempo es limitada, en otras palabras, el flujo de transformar la energía primaria en electricidad no es constante. Pese a esta limitación, en los últimos años se ha dado un aumento exponencial en inversión y consumo de energías renovables, puesto que su principal ventaja es que no emiten gases GHG, al menos directamente, en su proceso de transformación energética. Como indica Our World in Data (2022), el consumo de energía renovable en el año 2000 era de 2870 TWh, y representando un 7,1% de la matriz energética global. Del total de energía renovable en el año 2000, la hidráulica representó un 92%, la eólica un 1%, la solar un 0,001%, y el resto de las tecnologías renovables un 6,4%. En el año 2020, el consumo de energías renovables representó un 12% de la matriz energética global. De ésta, la hidráulica representó un 57,7%, la eólica un 21,4%, la solar un 11% y el resto de tecnologías renovables un 9,4%, la solar un 11% y el resto de tecnologías renovables un 9,4%.

Profundizando en los diferentes tipos de energía renovable, Panwar et al. (2011) las citan y clasifican por el tipo de energía primaria que transforma, en primer lugar, están las que transforman energía cinética, como la hidroeléctrica y la eólica, donde la energía cinética del viento y de la caída del agua mueven las palas de turbinas, generando así electricidad. En segundo lugar, están las que aprovechan la energía calorífica, como la solar térmica, la solar fotovoltaica y la geotérmica, en el caso de la fotovoltaica se aprovecha la radiación solar, que se lleva a células solares y se produce electricidad, mientras que la geotérmica y la solar térmica hacen un uso directo de la energía calorífica. Por último, están las que aprovechan energía química, entrando aquí la biomasa y todos sus derivados como biodiésel, biogases, madera y productos agrícolas; la energía química de los recursos de biomasa se aprovecha a través de un proceso de combustión, y aprovechando el calor para generar electricidad.

Como menciona Sadorsky (2009), el principal atractivo y ventaja de las energías renovables es que la mayoría de las tecnologías que aprovechan estas fuentes de energía no emiten gases GHG en sus procesos de transformación energética. Es por estas razones que el consumo de energía renovable se ha vuelto crucial en los últimos años, siendo un componente clave en la seguridad energética actual y en la futura; ejemplo de ellos son los planes estratégicos de energía de países y zonas económicas como el plan energético de la Comisión Europea (2020) en la Unión Europea, que tiene como objetivo que la energía renovable represente, como mínimo, un 32% de la matriz energética europea del 2030. Según el Center for Strategic and International Studies (2016), China, en su decimotercer plan quinquenal, también prevé un aumento de esta

energía, llegando a acumular un 20% en su matriz energética del 2030; los EE.UU por otra parte, como explica la International Renewable Energy Agency (2015), prevén sólo un 10% de energías renovables en 2030.

Enlazando con la popularidad de las energías renovables, es interesante el estudio realizado por Inglesi-Lotz (2015), puesto que analiza cuantitativamente el impacto macroeconómico en los países de la OECD que tiene el aumento en inversión y consumo de energías renovables en sus matrices. La conclusión a la que llega es que existe un equilibrio a largo plazo y una relación causal positiva entre el PIB real, PIB per cápita y gasto en investigación y desarrollo, y el consumo de energía renovable; de forma cuantitativa se explica que un aumento del 1% en el consumo de energía renovable se ve reflejado en un aumento del 0,105% en el PIB y un 0,1% en el PIB per cápita. Stigka et al (2014) estudian la popularidad de esta energía en términos sociales, analizando la aceptación social de las energías renovables. Según los autores, la variable que más peso tiene es la conciencia medioambiental que tiene un individuo; a medida que esta variable aumente, más determinados estarán a consumir electricidad de fuentes renovables, incluso aunque ésta sea más cara que la electricidad proveniente de fuentes fósiles. Sin embargo, la mayoría de las personas no suelen estar tan comprometidas con la causa medioambiental, no desde el punto de vista moral, sino del económico. Los autores citan que una de las limitaciones que tiene la energía renovable es que es más cara que las contrapartes fósiles, por lo que, en tiempos de crisis económica, debido al desempleo y empobrecimiento de la población, ésta se vea obligada a consumir energía de fuentes fósiles, que es más barata. Stigka et al (2014) finalmente concluyen que la conciencia medioambiental de las personas lleva creciendo desde hace años, por lo que la tasa de aceptación de fuentes renovables es cada vez mayor; sólo queda aumentar la inversión en tecnologías renovables con el fin de que el proceso de producción eléctrica se abarate y se rompa la barrera del precio.

Otra limitación que tienen las energías renovables la explican Amponsah et al (2014) ya que en el ciclo de vida útil de las tecnologías renovables sí que se emiten GHG. Además, debido a su naturaleza de abastecimiento intermitente, la demanda energética que las renovables no pueden cubrir, en la práctica, se abastece esa demanda energética con fuentes fósiles, por lo que las emisiones de GHG no se evitan por completo.

La conclusión a la que llegan los autores Koroneos et al (2003) es que la energía renovable, pese a tener limitaciones en desarrollo tecnológico y un precio de producción de energía más caro que las energías fósiles, es un componente clave en la seguridad energética futura. No sólo porque las fuentes de energía primaria se reponen de forma natural, sino porque también es el tipo de energía que menos emisiones causa en su fase

de producción y consumo; siendo las emisiones de GHG un tema crucial por el calentamiento global, hacen de la energía renovable una de las fuentes que más promete en el futuro a corto, medio y largo plazo.

2. Datos y metodología

En esta sección del trabajo se muestran, en un primer apartado, los datos utilizados para la elaboración del indicador sintético y, posteriormente, la metodología que se ha empleado. No obstante, antes de entrar en detalle es importante mencionar que para la elaboración del indicador sintético las investigaciones de Crawford et al (2004), Li y Xiao (2013) y Zhao et al (2019), han servido como referencia para estudiar y comprender la metodología aplicada. Concretamente en el sector energético, a destacar los trabajos de García-Álvarez et al (2016) y Cirstea et al (2018), donde en ambos se desarrolla un indicador aplicado a la sostenibilidad de la energía renovable.

2.1 Datos

El primer paso para la construcción del indicador sintético ha sido crear una base de datos que incorpora el consumo de carbón, consumo de petróleo, consumo de gas natural, consumo nuclear, consumo hidráulico, consumo solar y consumo eólico. Los datos han sido extraídos de Our World in Data (2022), usando los datos de *coal consumption*, *natural gas consumption*, *oil consumption*, *nuclear energy generation*, *hydropower generation*, *solar power generation* y *wind power generation*, desde el año 2000 hasta el 2020 de 26 países diferentes. La elección de estas fuentes de energía se debe a que sólo con estas siete ya se cubre casi el 100%⁶ del consumo de energía, además de que tanto las grandes instituciones como la IEA o EIA, como los diferentes cuerpos gubernamentales realizan sus reportes energéticos utilizando las fuentes de energía ya mencionadas. Por estas dos razones, se puede confiar en que el consumo de las siete variables energéticas que se analizan en este trabajo representan fielmente al consumo total de energía de cada país.

En total, se han recopilado datos de las siete variables de consumo energético en TWh de 26 países del mundo desde el año 2000 hasta el 2020. La serie temporal se ha especificado entre estos años ya que todos los países a analizar han presentado datos de su consumo de energía hasta el año 2020.

⁶ En el año 2020, el consumo de carbón, petróleo, gas natural, energía nuclear, energía hidráulica, energía solar y energía eólica acumuló un 99,9% del consumo global de energía. El 0,1% restante lo representan otras fuentes de energía renovables, como la biomasa, y otras tecnologías renovables recientes.

2.2 Metodología

Para la elaboración de cualquier indicador, se requiere de una cantidad y un peso. Por ejemplo, el Índice de Precios usa como valor cuantitativo los diferentes bienes del mercado, y su peso es el precio de esos bienes. En la construcción de este indicador sintético hemos hecho servir la cifra de consumo total de energía en TWh de cada fuente energética como valor cuantitativo. Para el peso de cada variable, sin embargo, sí hemos tenido que calcularlo, y es el resultado de los cálculos que se muestran a continuación.

En primer lugar, se ha procedido a calcular el consumo relativo de cada variable respecto al consumo total. El consumo relativo se ha calculado con la fórmula que prosigue, donde el subíndice “x” en “Consumo variable energética_x” hace referencia a cada una de las siete variables energéticas analizadas; y el “Consumo total de energía (en TWh)” es el resultado de sumar el consumo de las siete fuentes energéticas analizadas.

$$\text{Consumo relativo (en \%)} = \left(\frac{\text{Consumo variable energética}_x \text{ (en TWh)}}{\text{Consumo total de energía (en TWh)}} \right) \times 100$$

Este procedimiento se ha repetido para los 26 países y para cada año, con el fin de recoger todas las cifras del consumo relativo en porcentaje de cada fuente de energía de todos los países para cada año y realizar la media aritmética, obteniendo el consumo relativo medio de cada año para cada fuente de energía. La fórmula se detalla a continuación, donde “n” hace referencia al número de países analizados, y “X_i” es cada uno de los consumos relativos de cada país de cada tipo de variable energética.

$$\text{Consumo relativo medio (en \%)} = \frac{\sum_{i=1}^n X_i}{n}$$

El promedio obtenido del consumo relativo medio de todos los países para cada variable es el que se usará como el peso (p) que tendrán cada una de las variables en el indicador sintético. Este procedimiento se ha aplicado para todos los años, del 2000 hasta el 2020, por lo que el peso de las variables ha ido evolucionando con el transcurso de los años. Una vez obtenidos todos los promedios del consumo relativo medio, se multiplica este promedio de cada variable de cada año a las cifras de consumo absoluto (en TWh) de cada país, obteniendo así el valor ponderado del consumo absoluto dentro del indicador sintético. La fórmula se describe a continuación.

Valor ponderado del consumo energético

$$\begin{aligned} &= \text{Consumo absoluto de la variable energética}_x \text{ (en TWh)} \\ &\times \text{Consumo relativo medio de la variable energética}_x \text{ (en \%)} \end{aligned}$$

Una vez obtenidas las cifras ponderadas para todos los países, el último paso restante a construir el indicador sintético es seleccionar un año base que se tendrá como referencia. En este trabajo, será el año 2017 el que servirá como base. La elección de este año está motivada por 3 argumentos. En primer lugar, el año base no puede ser uno que esté muy alejado del último dato disponible de la base de datos seleccionada; en nuestro caso, al ser el dato más reciente del año 2020, el año 2017 es uno cercano a éste, y, por lo tanto, el indicador no se ve afectado negativamente. En segundo lugar, el año base que se toma como referencia no puede ser atípico o con eventos disruptivos; por ejemplo, en la franja temporal del 2000-2020, años que quedan invalidados por este principio son el año 2000 y 2001 por la Burbuja de las puntocom, el 2003 y 2004 por el comienzo de la Guerra de Irak, del 2008 al 2014 por la crisis económica internacional, además de que el 2011 tuvo lugar el accidente nuclear de Fukushima, y por último, el 2020, con la crisis del COVID-19.

Esto nos deja con un periodo estable que va desde el 2015 al 2019; la selección del 2017 dentro de este rango nos lleva al tercer y último motivo de su selección como base, y es que es el año menos volátil económicamente hablando, teniendo el valor del índice VIX⁷ más bajo de esos años; como ya hemos mencionado anteriormente, existe una relación causal positiva entre el crecimiento económico y la demanda energética.

En resumen, el año 2017 cumple los requisitos de ser reciente, no sufrir interrupciones y de ser el más estable dentro de nuestra franja temporal.

Con todos los pasos previos concluidos, ya se puede construir el indicador sintético. En este trabajo el modelo de indicador que se va a utilizar es el Índice de Fisher (a partir de ahora IF), que es la media geométrica de los índices de Laspeyres y de Paasche. Por ello, primero se han calculado los índices de Laspeyres y de Paasche con el fin de calcular el de Fisher finalmente. La razón por la que se ha terminado utilizando el índice de Fisher es que, debido a que el índice de Laspeyres usa cantidades de período base, tiende a sobreestimar el peso de las variables energéticas al asumir que las éstas siguen distribuidas de la misma manera. Y viceversa con el índice de Paasche, al usar cantidades de período actual, subestima el peso de las variables energéticas. A continuación pueden verse las fórmulas, que se han aplicado para el consumo de cada variable energética de cada país; el "año x " hace referencia a cualquiera de los años

7 El Índice VIX es un indicador que mide la volatilidad del índice estadounidense S&P 500, y alude a la rapidez con que cambia el sentimiento del mercado. Cuanto mayor es el valor del índice de VIX, mayor es la volatilidad hay en el mercado y menor es la seguridad y confianza de los inversores.

entre el 2000 y 2020; y “año base” al año que se ha tomado como base del indicador, en nuestro caso, 2017.

Índice de Laspeyres (IL)

$$= \frac{\sum (\text{Consumo energético ponderado}_{\text{año } x} \times \text{Consumo energético}_{\text{año base}}(\text{TWh}))}{\sum (\text{Consumo energético ponderado}_{\text{año base}} \times \text{Consumo energético}_{\text{año base}}(\text{TWh}))}$$

Índice de Paasche (IP)

$$= \frac{\sum (\text{Consumo energético ponderado}_{\text{año } x} \times \text{Consumo energético}_{\text{año } x}(\text{TWh}))}{\sum (\text{Consumo energético ponderado}_{\text{año base}} \times \text{Consumo energético}_{\text{año } x})}$$

$$\text{Índice de Fisher (IF)} = \sqrt{\text{Índice de Laspeyres (IL)} * \text{Índice de Paasche (IP)}}$$

También, se han ilustrado mediante un gráfico de barras la evolución de los valores de la variación del IF a lo largo de los años 2000-2020 para facilitar la comprensión cuando se analice cada país caso a caso. La fórmula de la variación del IF se puede observar a continuación, donde el subíndice “año X” hace referencia a cualquiera de los años entre el 2000 y 2020.

$$\text{Variación del Índice de Fisher (IF)} = \text{Valor IF}_{\text{año } X} - \text{Valor IF}_{\text{año } 2017}$$

3. Resultados

En esta sección del trabajo se presentan los resultados de los 26 países analizados, agrupados según las diferentes trayectorias de las variaciones del IF que se han podido determinar. Así pues, contamos con una clasificación total de cuatro trayectorias: los países que presentan un crecimiento constante en la trayectoria de las variaciones del IF, los países que muestran un decrecimiento inicial pero con un crecimiento posterior en la trayectoria de las variaciones del IF, los países que presentan un decrecimiento constante en las variaciones del IF y los países que presentan un crecimiento inicial y un posterior decrecimiento de las variaciones del IF.

El análisis también se apoya en la matriz energética de cada país, para observar qué ha podido motivar esas variaciones.

Respecto a la interpretación de la variación del IF es importante mencionar que, si la variación del IF es positiva, se pueden dar dos situaciones:

- En primer lugar, si las variaciones son positivas en los años previos al año base (2017), significa que, o bien el nivel de consumo energético en TWh era mayor

en antaño que en 2017; que el consumo de energía en antaño era más intenso en las variables de mayor peso en el indicador (consumo de petróleo, gas natural o carbón); o una combinación de ambas.

- Si las variaciones son negativas para los años previos a 2017, significa que el consumo energético en TWh era menor en años previos a 2017; que el consumo energético era más intensivo en fuentes energéticas de menor peso en el indicador (renovables o nuclear); o una combinación de ambas.

Por otra parte, están las variaciones del IF para años posteriores al año base de 2017, y se vuelven a dar dos situaciones:

- Si las variaciones son positivas, éstas significan que el consumo de energía total en TWh ha sido mayor en comparación al del 2017; que el consumo de recursos fósiles como el petróleo, gas natural o carbón, ha aumentado; o una combinación de ambas.
- Si en cambio, las variaciones del IF son negativas, esto significa que el consumo anual de energía en TWh ha disminuido respecto al nivel del 2017; que el consumo de energía se ha incrementado en energías renovables o nuclear; o una combinación de ambos factores.

Por tanto, para poder determinar los motivos implícitos que han generado dichas variaciones, nos hemos apoyado del análisis de la matriz energética para cada país y año

También es importante mencionar que para la agrupación de los países según su trayectoria de las variaciones del IF, no se ha tenido en consideración el valor de la variación del año 2020, debido a que la anomalía de la crisis del COVID-19 ha causado caídas en todos los países analizados. Dado que hay países que mostraban una tendencia de crecimiento los años previos al 2020, y que tras la crisis del COVID-19 han recuperado ese ritmo de crecimiento energético, se ha omitido el año 2020 para la agrupación⁸.

3.1 Crecimiento constante en la trayectoria de las variaciones del IF

a) Canadá

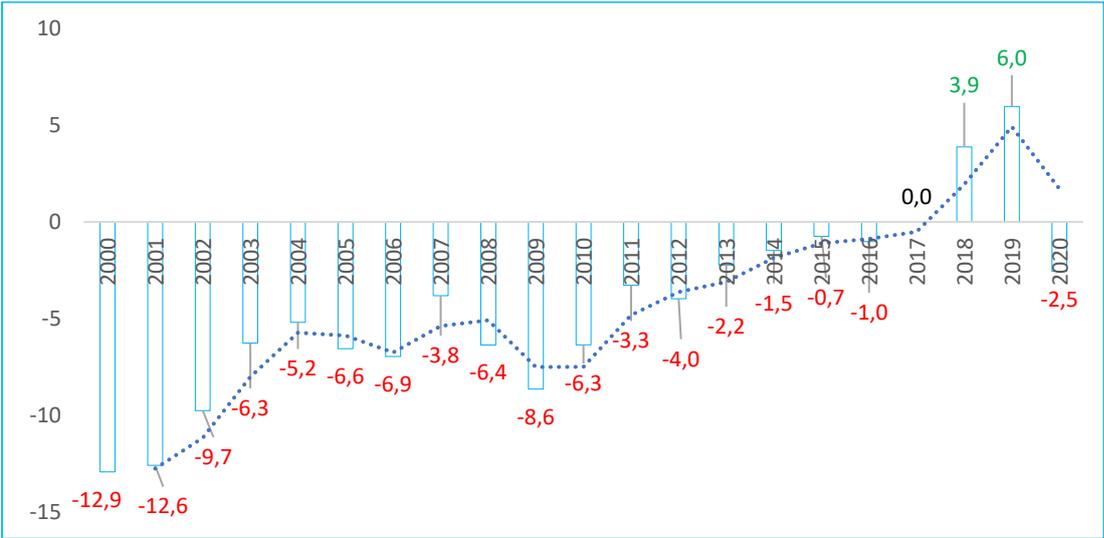
Como citan la IEA (2022) y la EIA (2020), Canadá, a diferencia de EE.UU, posee una infraestructura energética mucho más limpia, con un consumo energético enfocado en

⁸ Sin embargo, sí que se tiene en cuenta el 2020 para realizar los comentarios de los países de forma individual.

petróleo, gas natural, además de energía hidráulica y nuclear . Pese a no situarse como una economía líder a nivel mundial en términos del PIB, sí que figura en las diez primeras potencias. Con una política energética basada en energía renovable y nuclear principalmente, Canadá es uno de los países como ejemplo a seguir si se persigue un modelo energético que promueva la reducción de emisiones de CO2 y las fuentes renovables⁹.

A nivel de consumo energético internacional, la EIA (2022) muestra que Canadá es actualmente el sexto consumidor de gas natural, el noveno de consumo de petróleo, el sexto en consumo de energía nuclear, el tercero en consumo hidráulico y el sexto en energía eólica. Además, también es exportador neto de energía, siendo su mayor comprador EE.UU. Prosiguiendo con el consumo energético de Canadá, a continuación, se muestra su evolución mediante el indicador sintético.

Figura - 1: Variaciones del índice de Fisher (IF) respecto al consumo energético de 2017 en Canadá (en porcentaje).



Fuente: Elaboración propia a partir de la base de datos de Our World in Data

Observando la figura 1, se puede observar que el crecimiento energético de Canadá no ha cesado en estos últimos 20 años a excepción de algún año anómalo; de todos modos, la tendencia general de Canadá es la de un crecimiento constante. Las variaciones del IF, pese a ser negativas, muestran precisamente que desde el 2000, estas variaciones han ido menguando gradualmente y aproximándose poco a poco al nivel de consumo del

⁹ Según IEA (2022): “La estrategia climática de Canadá está incorporada en el Marco Pancanadiense sobre crecimiento limpio y cambio climático, que introdujo un precio federal para el carbono a partir de 20 CAD/tonelada en 2019, aumentando a 50 CAD/tonelada en 2022. Se anunció un plan reforzado en diciembre de 2020 vería crecer el precio del carbono en CAD 15/tonelada anualmente a CAD 170/tonelada en 2030.”

2017. Concretamente, en el año 2000 la variación del IF fue del -12,9% y siguió menguando hasta llegar al 2004 con una variación del -5,2%. Sin embargo, la situación empeoró desde el 2005 hasta el 2009, pasando de una variación del -6,6% al -8,6%. Desde entonces, las variaciones del IF retomaron su curso inicial de irse reduciendo gradualmente, llegando al 2016 con un -1%. Tras atravesar el 2017, las variaciones del IF en los años 2018 y 2019 fueron las primeras en positivo, llegando a un 3,9% y un 6% en positivo respectivamente. Finalmente, en el año 2020 volvió a caer por la crisis del COVID-19, concretamente una variación del -2,5% respecto al año base.

Las variaciones del IF en Canadá se explican por el consumo energético total, no por diferencias en los pesos de las fuentes energéticas; todas las fuentes energéticas de Canadá han permanecido constantes en su peso desde el año 2000 hasta el 2020, a excepción del carbón y del gas natural, donde el carbón ha visto reducido su consumo en un 8% y el gas natural un aumento del 6%; el 2% restante han derivado a un aumento del 1% de la energía nuclear y un 1% a la energía eólica. Por esta razón, las variaciones del IF vienen dadas por aumentos en el consumo final de energía; concretamente del año 2000 al 2019, el consumo de energía canadiense aumentó de 2780 TWh a 3190 TWh respectivamente. Sólo con la crisis del COVID-19 en 2020 la cifra de consumo final se redujo, bajando a un consumo de 2960 TWh

b) Rusia

En segundo lugar, tenemos a Rusia, uno de los principales exportadores de energía¹⁰ y recursos naturales a nivel internacional, siendo una de las potencias mundiales emergentes más prometedoras.

Pese a que la franja temporal analizada del IF no contempla el inicio de la contienda bélica en Ucrania por parte de Rusia en febrero de 2022, es importante recalcar que la Unión Europea (UE) y Rusia dependían mutuamente de sus acuerdos comerciales. En 2021, Rusia fue el quinto país que más bienes importó de la Unión Europea y el tercero que más bienes exportó a la UE¹¹. Sin embargo, esta situación ha cambiado radicalmente, puesto que, a raíz de la guerra, la UE ha emitido hasta mayo de 2022 un total de seis paquetes de sanciones a Rusia¹², y Rusia por su parte, también ha

10 Como afirma la IEA (2022), Rusia es, a nivel internacional, el mayor exportador de gas natural, el segundo productor de gas natural (por detrás de EE.UU) y el país con mayores reservas de gas natural. También es el tercer productor de petróleo, por detrás de Arabia Saudí y EE.UU.

11Eurostat (2022), Rusia representó un 4,1% de las importaciones de la UE y un 7,5% de las exportaciones.

12 Por parte de la UE y EE.UU, las sanciones más relevantes han sido la congelación de activos rusos en sus territorios, la inhibición de los servicios occidentales de tecnología de uso internacional, como el sistema de pagos SWIFT y sanciones a oligarcas y personal administrativo ruso de alto renombre.

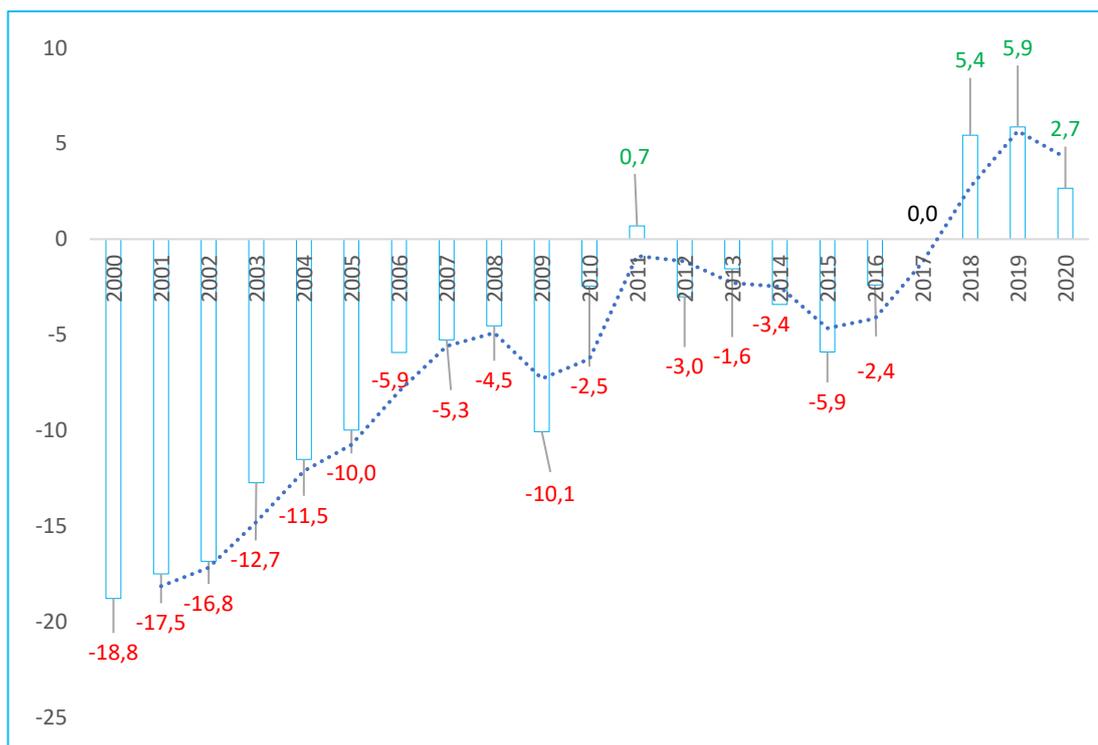
respondido con más sanciones¹³. Las sanciones más relevantes en este campo son las energéticas; en el caso de la UE, en su quinto y sexto paquete de sanciones han hecho hincapié en el sector energético, prohibiendo la importación de carbón ruso por valor de 4.000 millones de euros al año y la prohibición total del petróleo ruso, a vista de 6 meses para el crudo y un año para productos refinados del petróleo. Por su parte, la medida más relevante de Rusia ha sido obligar a que todos sus importadores estén obligados a pagar el 80% de sus compras en rublos rusos, siendo el sector más relevante el de exportación de gas natural.

Es por esta razón que ambas regiones han decidido cambiar su postura de cooperación comercial; por una parte, la UE, diversificando sus importaciones de Rusia a otros mercados, principalmente EE.UU; y Rusia, diversificando sus importaciones de Europa a Asia Central y China.

Profundizando más en el tema energético, según la EIA (2020), la matriz energética rusa en el 2016 estuvo conformada por un 52% de gas natural, un 22% de petróleo, un 13% de carbón y un 13% de energías renovables y nuclear. A continuación, se muestra la evolución del IF vía variaciones desde el 2000 al 2020.

Figura - 2: Variaciones del índice de Fisher (IF) respecto al consumo energético de 2017 en Rusia (en porcentaje).

13 Para paliar su situación, Rusia introdujo medidas como la prohibición de otorgar préstamos en divisas a empresas extranjeras, aumentar los tipos de interés al 20%, desarrollar un sistema paralelo al SWIFT para transacciones rusas y prohibir temporalmente que las empresas extranjeras puedan deshacer inversiones en empresas rusas.



Fuente: Elaboración propia a partir de la base de datos de Our World in Data

Como se puede observar en la figura 2, el IF muestra una clara tendencia de crecimiento en el caso ruso; pese a sufrir algunas caídas en 2008, 2015 y 2020, el crecimiento energético de Rusia es evidente. Esto se debe a que el país presenta variaciones negativas a principios del 2000 que se van reduciendo con el pasar de los años hasta lograr variaciones positivas justo pasado el 2017, el año base; es decir, el consumo de energía fue menor respecto al consumo de 2017 todo el tiempo, y sólo después de este año ha aumentado. Más detalladamente, Rusia comenzó con una variación del IF negativa en el 2000 del -18,8%, siendo éste el mínimo absoluto. La tendencia de crecimiento siguió hasta alcanzar un máximo relativo en el 2008 con una variación del -4,5%. En 2008 se da una caída, llegando al -10,1%, y en 2012 se llega tras una etapa de crecimiento a la primera variación positiva, de un 0,7%. Sin embargo, la situación en Rusia vuelve a decrecer varios años, con un mínimo relativo en el 2015 del -5,9%. Tras esto, la situación en Rusia vuelve a mejorar y experimenta un crecimiento de 4 años seguidos, con un máximo en el 2019 de una variación positiva del 5,9%. Finalmente, en el 2020 el crecimiento mengua un poco, y se reduce al 2,7%.

En cuanto al comportamiento del IF, éste se debe a que Rusia ha mantenido un consumo constante en casi todas sus variables energéticas, incluidas las de más importancia, el gas natural y el petróleo, que han conformado estos 20 años un 80% de media de todo el consumo energético anual. Sólo el carbón se ha visto reducido de un 19% a un 13%.

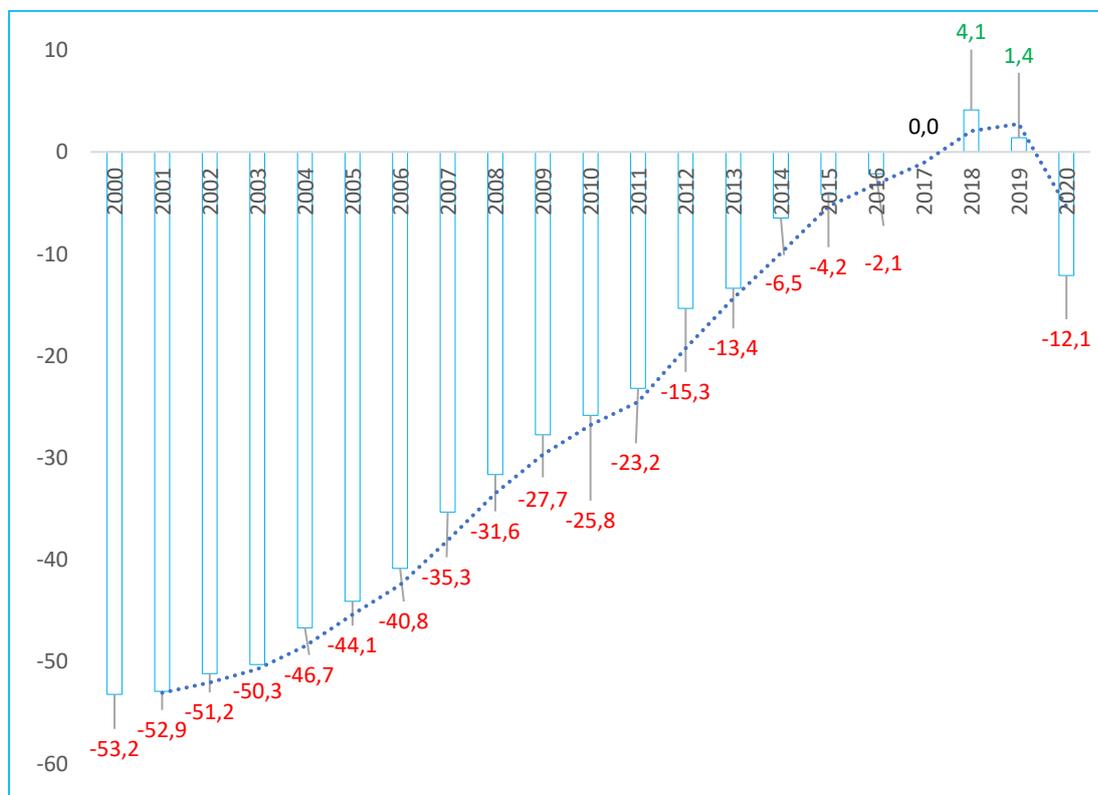
Por esta razón, el IF debe su trayectoria principalmente al aumento del consumo energético final, que pasó del 2000 con 6.640 TWh al máximo de 7.690 TWh en 2019 y concluyendo 2020 con 7.210 TWh.

c) India

Tenemos en tercer lugar al segundo país más poblado del mundo, India, país que experimenta un gran crecimiento desde hace dos décadas. Su estructura energética está basada en el carbón y GNL, aunque se están impulsando las tecnologías renovables y nuclear. El objetivo principal que persigue el gobierno indio es el de proporcionar energía a un precio asequible y que sea sostenible, al mismo tiempo que logra sus objetivos de aumentar la energía renovable y reduce la contaminación de aire local.

Respecto a la matriz energética en la India, en el 2020 estuvo representada por un 55% de consumo de carbón, un 28,3% de petróleo, un 6,7% de gas natural, un 4,5% de energía hidráulica y el 5,5% restante en solar, eólica y nuclear. Prosiguiendo se muestra la evolución de las variaciones del IF para el caso de la India entre el 2000-2020.

Figura - 3: Variaciones del índice de Fisher (IF) respecto al consumo energético de 2017 en la India (en porcentaje).



Fuente: Elaboración propia a partir de la base de datos de Our World in Data

Como se puede observar en la figura 3, el IF en la India ha mostrado un crecimiento ininterrumpido desde el 2001 hasta el 2018. Concretamente, comenzó en el año 2000 con una variación negativa del -52,2%, decreció hasta su mínimo absoluto con un -52,9% en el 2001, y tras 17 años de continuo crecimiento, llegó a su primera variación positiva y máximo absoluto en el 2018 con un 4,1%. Los dos años siguientes, sin embargo, fueron decrecimientos, en el 2019 con una variación positiva menor del 1,4% y en el 2020 con una fuerte caída, resultando en otra variación negativa del IF del -12,1%.

La trayectoria del IF se debe principalmente a la evolución de la cifra total de consumo energético en TWh, ya que la demanda energética en la India no ha parado de crecer estos 20 años. En detalle, el consumo energético del año 2000 fue de 3530 TWh y no paró de crecer hasta el 2019, llegando a los 8850 TWh. Sólo descendió en el 2020 a raíz del COVID-19 a una cifra de 8300 TWh. En cuanto a los pesos de las variables, el petróleo y el carbón son las variables de mayor importancia. Entre el 2000 y 2020, el consumo de carbón aumentó de un 54% a un 59% y el del petróleo disminuyó de un 36% a un 30%. El resto de variables energéticas fueron constantes.

3.2 Decrecimiento inicial y posterior crecimiento en la trayectoria de las variaciones del IF

a) Estados Unidos

El país norteamericano lleva siendo la primera potencia mundial desde principios del siglo XX. Por esta razón, EE.UU. es de los países que más energía consume, de hecho, hasta el 2008, fue el líder mundial en consumo de energía¹⁴.

En relación con la seguridad energética, según la IEA (2022), el país lleva desde hace dos décadas en una política de transición energética, donde las fuentes energéticas con el mayor incremento de consumo han sido el gas natural y el petróleo, además de mejorar la eficiencia de esos recursos.¹⁵ Las energías renovables también están incrementando aunque en menor proporción y en gran parte gracias a subsidios públicos; la energía nuclear se mantiene constante y el carbón es la única fuente de energía que lleva desde el año 2000 cayendo en consumo

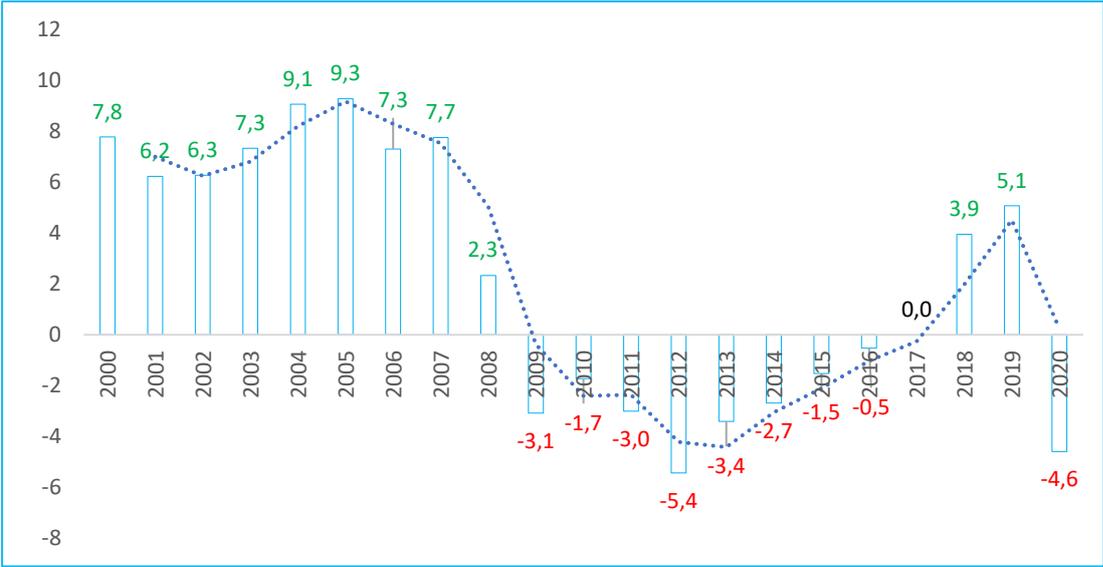
En cuanto al consumo energético, EE.UU. según la EIA (2022), es el mayor consumidor a nivel mundial de petróleo, gas natural y energía nuclear, el tercero en consumo de

14 Fue superado por China en 2009 y desde entonces EE.UU. es el segundo consumidor a nivel internacional.

15 Por ejemplo, la técnica de la fracturación hidráulica o fracking, tecnología que ha facilitado enormemente la obtención de petróleo y GNL. Ésta fue innovada en el país en 1860 y se popularizó de manera comercial en 1998. Según el EIA, gracias a esta técnica EE.UU. aumentó su producción de petróleo en un 45% desde 2010, siendo el segundo mayor productor a nivel mundial.

carbón, el segundo en consumo de energía solar y energía eólica y el cuarto en consumo de energía hidráulica. La matriz energética del país en 2020 estaba compuesta por un 35% de petróleo, un 34% de gas natural, un 10% de carbón, un 9% de energía nuclear y un 12% de energía renovable¹⁶. A continuación se muestra la evolución energética de EE.UU mediante el indicador sintético.

Figura - 4: Variaciones del índice de Fisher (IF) respecto al consumo energético de 2017 en EE.UU (en porcentaje).



Fuente: Elaboración propia a partir de la base de datos de Our World in Data

Como se puede observar en la figura 4, la tendencia que ha seguido el IF en los últimos 20 años ha fluctuado entre valores positivos y negativos respecto a la base. En primer lugar, desde la etapa del 2000 hasta el 2008, el IF en EE.UU se mantuvo en valores positivos, comenzando en el año 2000 una variación del 7,8% positiva y llegando a una variación máxima del 9,3% en el año 2005. Este crecimiento se reduce bastante con la llegada de la crisis económica como se puede ver en el año 2008, teniendo sólo una variación del 2,3%. A partir del 2009 hasta el 2015, las variaciones del IF comienzan a ser negativas, comenzando en el año 2009 con una variación negativa del -3,1%, teniendo el mínimo en el año 2012 con un -5,4%. Desde ese año el decrecimiento se reduce gradualmente hasta llegar a 2016 con una variación del -0,5% y ya en 2017 llegando al 0%, puesto que es el año base del indicador. Los dos años que prosiguen, 2018 y 2019, tienen de nuevo variaciones del IF positivas, con un 3,9% y un 5,1%

¹⁶ Del total de energía renovable, un 39% es biomasa, un 26% eólica, un 22% hidráulica, un 11% solar y un 2% geotérmica

respectivamente; sin embargo, con la llegada del COVID-19 en el año 2020, el consumo energético de EE.UU cayó, dando una variación negativa del -4,6%.

Respecto a las variaciones del IF, éstas pueden ser por fluctuaciones en el consumo absoluto de energía, o bien, por variaciones en los pesos de las variables energéticas (carbón, petróleo...etc.). En el caso de EE.UU, el país ha cambiado su estructura energética, pasando un 14% del consumo de carbón al gas natural en estos 20 años. Sin embargo, dado que ambas variables tienen un peso similar en el indicador, las variaciones del IF en el caso de EE.UU se explican principalmente por variaciones en el valor del consumo energético total (en TWh). Concretamente se mantuvo en un promedio de consumo energético anual de 24.000 TWh entre el 2000 y 2008; bajó a un promedio de 22.000 TWh entre el 2009 y 2015; aumentó a 23.000 TWh en los años 2018 y 2019 y finalmente en el 2020 volvió a caer, llegando a su mínimo absoluto de 21.460 TWh.

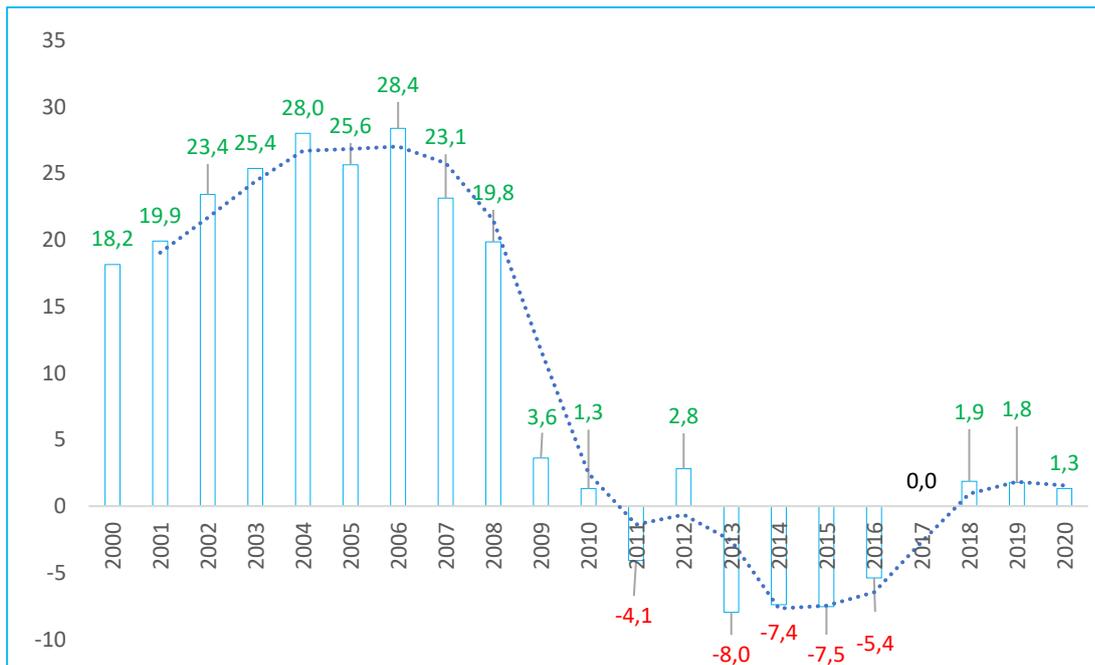
b) Rumanía

Rumanía, pese a estar en una posición más débil que otras economías occidentales, posee un sector energético diversificado y planea aumentar la proporción de energías renovables y reducir gradualmente su dependencia de los combustibles fósiles¹⁷.

La matriz energética primaria de Rumanía en el año 2018 estuvo conformada por un 28% de energía hidráulica, un 24% de consumo de carbón, un 18% de energía nuclear, un 16% de gas natural, un 10,5% eólica, un 3% solar y un 0,5% de biomasa. A continuación, tenemos la figura 6 que muestra las variaciones el IF en el caso de Rumanía.

Figura - 5: Variaciones del índice de Fisher (IF) respecto al consumo energético de 2017 en Rumanía (en porcentaje).

17 Según la IEA (2022): "Rumania también planea cumplir con las obligaciones establecidas por la UE en términos de emisiones de gases de efecto invernadero (GHG) a través de su paquete legislativo "Cambios climáticos – energías renovables".



Fuente: Elaboración propia a partir de la base de datos de Our World in Data

Como se puede observar en la figura 5, la tendencia del IF en el caso de Rumanía ha sido de un ascenso general desde el comienzo del 2000 hasta el 2006, concretamente, se pasa de una variación positiva del 18,2% a una variación del 28,4% respectivamente. Tras ese año, se decrece gradualmente hasta llegar al 2009, donde la variación positiva pasa de un 19,8% en 2008 a un 3,6%. Este decrecimiento continúa de forma gradual hasta llegar en 2011 a una variación negativa del -4,1%; sin embargo, en 2012 se vuelve a una variación positiva del 2,8%. Tras este año, la variación alcanza su mínimo absoluto en el año 2013, con una variable negativa del -8%. A este año le prosigue un cambio de tendencia y un nuevo crecimiento, llegando al 2018 con una variación positiva del 1,9%; dicho crecimiento permanece positivo, pero se va moderando, teniendo en 2019 y 2020 variaciones positivas del IF en un 1,8% y un 1,3% respectivamente.

Respecto al comportamiento del IF, en el caso de Rumanía el factor que ha influido más ha sido la variación de los pesos de las variables energéticas. Pese a que haya habido un decrecimiento en el consumo de carbón y gas natural entre los años 2000 y 2020, el carbón del 23% al 13% y el gas natural del 42% al 36%; ha habido un aumento en la variable de más peso, el petróleo, pasando de un 31% a un 39%, especialmente en los últimos años. Respecto al consumo de nuclear y renovables, éste ha pasado conjuntamente de representar un 5% del consumo energético a un 12%. En cuanto al consumo total de energía, comenzó en el 2000 con 380 TWh, aumentando a 420 TWh en el 2006 como el máximo absoluto, el mínimo absoluto en 2013 con 311 TWh y acabando 2020 con 313 TWh, un mínimo relativo. De nuevo, pese a que el consumo total

cayese en los años 2019 y 2020 y el IF siga reflejando una variación positiva, se debe a que hubo un aumento significativo en el consumo de petróleo esos años, siendo ésta la variable de más peso en el indicador.

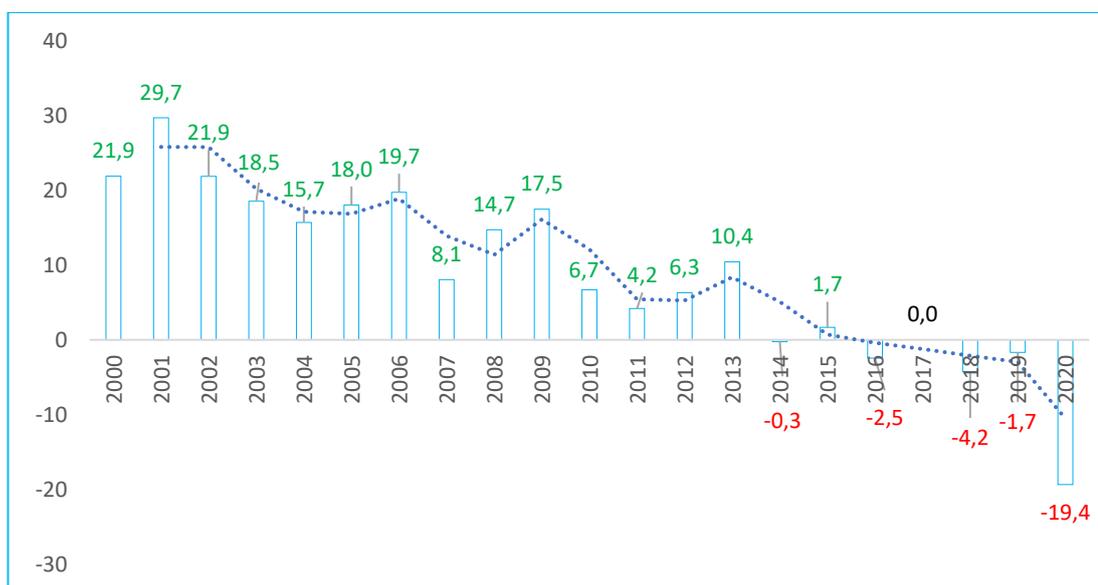
3.3 Decrecimiento constante en la trayectoria de las variaciones del IF

a) Suiza

Tenemos en primer lugar a Suiza, un país que perseguía un modelo de consumo energético bajo en emisiones basado principalmente en el consumo nuclear e hidráulico. Sin embargo, desde el año 2017 se encuentra en una transición energética, reduciendo el peso de la energía nuclear¹⁸.

Según la EIA (2022), la matriz energética de Suiza en el año 2020 estuvo compuesta por un 34% de consumo de petróleo, un 31% de energía hidráulica, un 19% de energía nuclear, un 10% de gas natural y el porcentaje restante proveniente de otras renovables y carbón. Se muestra a continuación la figura 6, que detalla la evolución del indicador sintético de consumo energético en Suiza vía variaciones del IF.

Figura - 6: Variaciones del índice de Fisher (IF) respecto al consumo energético de 2017 en Suiza (en porcentaje).



Fuente: Elaboración propia a partir de la base de datos de Our World in Data

Apreciando la figura 6, Suiza, pese a situarse hasta el 2013 con variaciones del IF positivas, éstas fueron describiendo una tendencia decreciente desde el 2001, llegando

¹⁸ Según la IEA (2022): “La Estrategia Energética 2050 del país traza el camino hacia una economía baja en emisiones de GHG en la que una mayor eficiencia energética y fuentes de energía renovables reemplacen a la energía nuclear.”

al 2014 con una variación negativa. Detalladamente, en el año 2000 comenzó con una variación positiva del 21,9% y llegó a su máximo absoluto un año después, en el 2001 con un 29,7%. Tras esto, prosiguen 3 años de decrecimiento hasta el mínimo relativo de 2004 con una variación positiva del 15,7%. Desde el 2004 hasta el 2014 se puede observar un patrón en la gráfica, una sucesión de 3 o 2 años de crecimiento en las tasas de variación seguidas por una gran bajada y repitiéndose el proceso; esto puede observarse en los tramos de 2004-2007, 2007-2010 y 2011-2014. A partir del 2014 y hasta el 2019 ya comienzan a aparecer variaciones del IF negativas, las variaciones oscilan entre un 1,7% y un -4,2%, llegando finalmente a la variación negativa más intensa, en 2020 con un -19,4%.

Entre el 2000 y 2020, Suiza no ha tenido variaciones en el peso de la energía nuclear (10% constante aprox.), eólica (0%), solar (0% aprox.) ni en el carbón (1% constante). Sí que ha visto incrementando su consumo hidráulico en un 4% (del 15% al 19%) y su consumo de gas natural en un 4% (del 12% al 16%). El único componente que ha decrecido en su consumo ha sido el petróleo, con un 10% (del 62% al 52%). En cuanto al valor absoluto de consumo energético en TWh, Suiza comenzó en el 2000 con un consumo de 240 TWh y alcanzó su máximo en el 2001 con 250 TWh, desde entonces no paró de decrecer hasta el 2020 con una cifra de 200 TWh. En cuanto al comportamiento de las variaciones del IF, ésta se explica tanto por una reducción del consumo total de energía y por un consumo energético que ha ido reduciendo la variable de mayor peso, el petróleo, e incrementando otras de menor peso como la hidráulica o el gas natural.

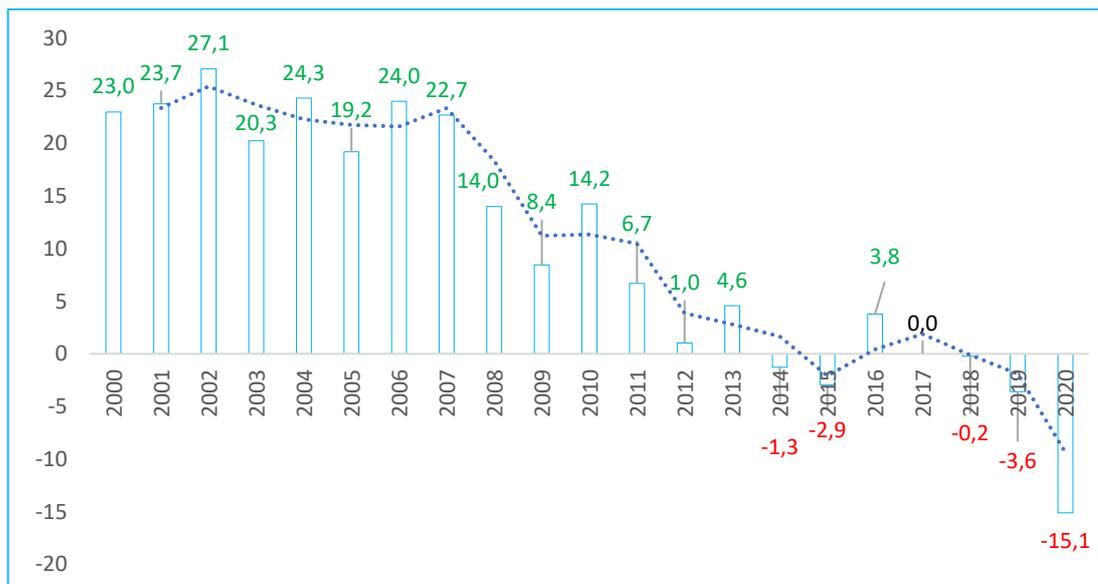
b) Finlandia

Moviéndonos hacia la región escandinava tenemos a Finlandia, el país económicamente más débil de la región, pero con una infraestructura energética proclive a la descarbonización¹⁹, gracias a su gran consumo de energía nuclear y renovable, principalmente hidráulica.

En el año 2020, según la EIA (2022), la generación eléctrica de Finlandia provino de un 28% de la energía nuclear, un 19% de la hidráulica, un 16% de biocombustibles, un 10% de solar y eólica y un 9% de petróleo y gas natural; el 19% restante es importado. A continuación, se muestran las variaciones del indicador entre los años 2000-2020.

Figura - 7: Variaciones del índice de Fisher (IF) respecto al consumo energético de 2017 en Finlandia (en porcentaje).

¹⁹ El objetivo de su política energética es poder llegar a cero emisiones netas en el año 2035.



Fuente: Elaboración propia a partir de la base de datos de Our World in Data

Observando la figura 7, Finlandia ha muestra una clara tendencia a la baja en sus variaciones del IF desde el 2007. Los años previos entre el 2000 y el 2006 estuvieron caracterizados por variaciones estables, en el año 2000 comenzó con una variación del 23% positiva y llegó en el 2002 a una variación máxima del 27,1%. Los años que prosiguieron hasta el 2007 fueron oscilando entre el 19% y el 24%; en el 2007 se situó en una variación del IF del 22,7% positiva. Tras este año, comenzó un decrecimiento continuo, llegando a la primera variación negativa en el 2014 con un -1,3% y acrecentándose en 2015 con un -2,9%. En 2016 se vuelve eventualmente a una variación positiva del 3,8%, pero tras este año, se retorna al decrecimiento y las variaciones negativas, que llega a su mínimo absoluto en 2020 con un -15,1%.

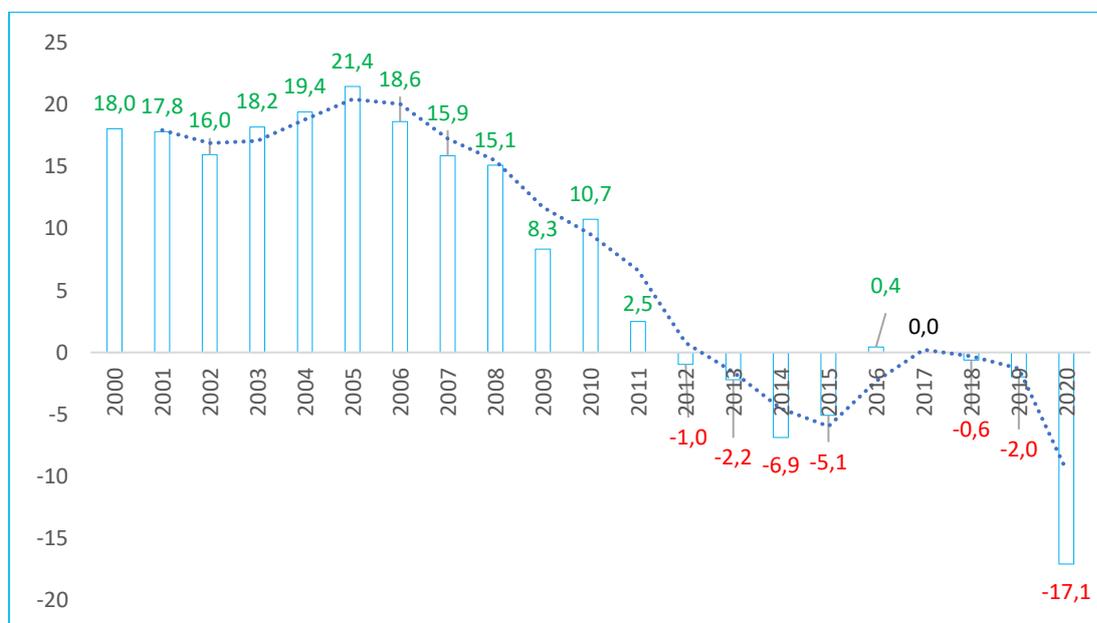
La trayectoria del IF en Finlandia viene justificada por el consumo un descenso en el consumo total de energía desde el 2004, pero también por tener un consumo energético intenso en energía nuclear e hidráulica (conformaron un 20% en el 2020), variables con poco peso en el indicador sintético, además de que en los últimos años se ha visto un incremento del consumo eólico considerable, concretamente desde el 2015 al 2020 un aumento del 4%. Además, el consumo de carbón y gas natural han descendido, teniendo éstas un considerable peso en el indicador; entre el 2000 y 2020, el consumo de carbón descendió un 4% y el de gas natural un 5%. El consumo de petróleo se mantuvo constante en un 49%. Respecto al consumo energético total, Finlandia tuvo en el 2000 un consumo de 260 TWh, su máximo fue en el 2004 con 290 TWh y desde entonces descendió hasta llegar al mínimo absoluto en el año 2020 con un consumo total de 200 TWh.

c) Reino Unido

Históricamente, Reino Unido ha sido de los países más influyentes en Europa a nivel energético; fue el primero en iniciar la Revolución Industrial y de los primeros en incluir el petróleo en su matriz energética y la energía nuclear tras su aparición. Actualmente Reino Unido mantiene su demanda energética en el consumo de gas natural y petróleo, aunque están habiendo avances considerables en el campo renovable²⁰.

Según British Petroleum (2019), la matriz energética de R.U estuvo compuesta por un 40% de petróleo, un 36% de gas natural, un 14% de energías renovables, un 6% de energía nuclear y un 3% de carbón. Ahondando más en el tema, proseguimos con la evolución del IF para el caso de Reino Unido.

Figura - 8: Variaciones del índice de Fisher (IF) respecto al consumo energético de 2017 en Reino Unido (en porcentaje).



Fuente: Elaboración propia a partir de la base de datos de Our World in Data

Entrando más en detalle, si observamos la figura 8, podemos apreciar como las variaciones del IF fueron positivas hasta el 2011; concretamente, en el año 2000 se comenzó con una variación del 18%, que tras una etapa de crecimiento llegó a su máximo en el 2005 con una variación del 21,4%. Comienza tras ese año un decrecimiento continuo hasta 2010, pasando del 8,3% del 2009 al 10,7%. Sin embargo, tras el 2010 se vuelve a decrecer, teniendo la primera variación negativa en el 2012 con un -1% y

²⁰ Según la IEA (2022): "Siguiendo las directrices del Libro Blanco de la Energía de 2020 y el Plan de Diez Puntos para una Revolución Industrial Verde del Primer Ministro, se espera que para 2030 el Reino Unido tenga una combinación de energía con una participación muy alta de energía eólica y solar."

llegando a un mínimo del -6,9% en el 2014. La situación mejora y en 2016 se retorna a una variación positiva del 0,4%, pero los años siguientes vuelve a decrecer, llegando al mínimo absoluto de la gráfica en el 2020, con una variación negativa del -17,1%.

El peso de las variables energéticas más importantes se ha mantenido constante en el caso de Reino Unido durante los años 2000-2020, el gas natural y el petróleo han conformado un 85% aprox. del consumo de energía total. Por otra parte, sí que ha habido variaciones de peso en el carbón, que ha descendido del 17% al 3% y la eólica, que ha aumentado de un 0% a un 5%. Debido a que la infraestructura energética no ha variado significativamente, las variaciones del IF vienen dadas principalmente por el valor total de energía consumida año tras año. En el año 2000 se consumieron en Reino Unido 2.480 TWh, el máximo en 2005 con 2.530 TWh, y tras un decrecimiento continuo, el mínimo fue en el 2020, con un consumo energético final de 1.590 TWh.

d) Alemania

Como primera potencia económica europea, Alemania tiene en su haber numerosas industrias de gran reputación internacional, las cuales consumen una enorme cantidad de energía. El país siempre ha tendido a rehuir de la fuente nuclear y a basar su modelo energético en el combustible fósil y más recientemente en las fuentes renovables tras el accidente de Fukushima. Desde entonces, Alemania lleva siguiendo desde hace años su política energética *Energiewende*²¹, donde se ha ido sustituyendo energía nuclear por renovables y gas natural.

La generación eléctrica alemana provino en el 2020 por un 27% de energía eólica, un 23% del carbón, un 12,5% de energía nuclear, un 12% del gas natural, un 10,5% de energía solar, un 9,3% de biomasa, un 3,7% de energía hidráulica, un 0,3% del petróleo y un 0,5% restante de otras fuentes energéticas. A continuación, se muestran las variaciones del IF para el caso de Alemania.

Figura - 9: Variaciones del índice de Fisher (IF) respecto al consumo energético de 2017 en Alemania (en porcentaje).

21 Según la IEA (2022): "A finales de 2010, Alemania inició la *Energiewende*, un plan energético con el fin de que su sistema energético sea más eficiente, siendo abastecido principalmente por fuentes de energía renovables."



Fuente: Elaboración propia a partir de la base de datos de Our World in Data

Observando la figura 9 podemos observar una tendencia de decrecimiento en las variaciones del IF. En la primera mitad del gráfico, las variaciones son positivas, comenzando con el año 2000 con un 16,8%, aumentando ésta al año siguiente en el 2001, con una variación positiva del 18,2%, siendo ésta la máxima absoluta. Tras este año, comienza un decrecimiento que sólo se interrumpe en los años 2006 y 2008; finalmente en el año 2009 se obtiene la primera variación del IF negativa, en un -0,5%. Este decrecimiento prosigue a excepción del 2013, cuya variación es positiva en un 0,2%, tras este año, sin embargo, el decrecimiento se intensifica llegando a un mínimo relativo en el 2014 del -4,4%. Tras tres años de recuperación, el IF se desploma de nuevo con sus variaciones negativas entre el 2018 y el 2020, siendo este último el decrecimiento más intenso y el mínimo absoluto, con una variación negativa del IF del -15,1%.

El comportamiento del IF en estos 20 años analizados viene dado por variaciones en los pesos de las fuentes energéticas utilizadas y también por variaciones del consumo total de energía. En cuanto a los pesos, Alemania ha experimentado estos 20 años un aumento del consumo del gas natural de un 23% a un 31%; un aumento de la eólica de un 0% a un 5% y un aumento de la solar de un 0% a un 2%. Descensos de consumo ha habido en el carbón, pasando de un 28% a un 18%; en el petróleo de un 44% a un 42% y en la nuclear, de un 5% a un 2%. Respecto al consumo total en TWh, éste fue de 3596 TWh en el 2000, aumentó a su máximo absoluto en el 2001 con 3665 TWh y tras la tendencia de decrecimiento general, llegó a su mínimo absoluto en el 2020 con un consumo energético de 2815 TWh. En este caso, la tendencia del IF se ha justificado por

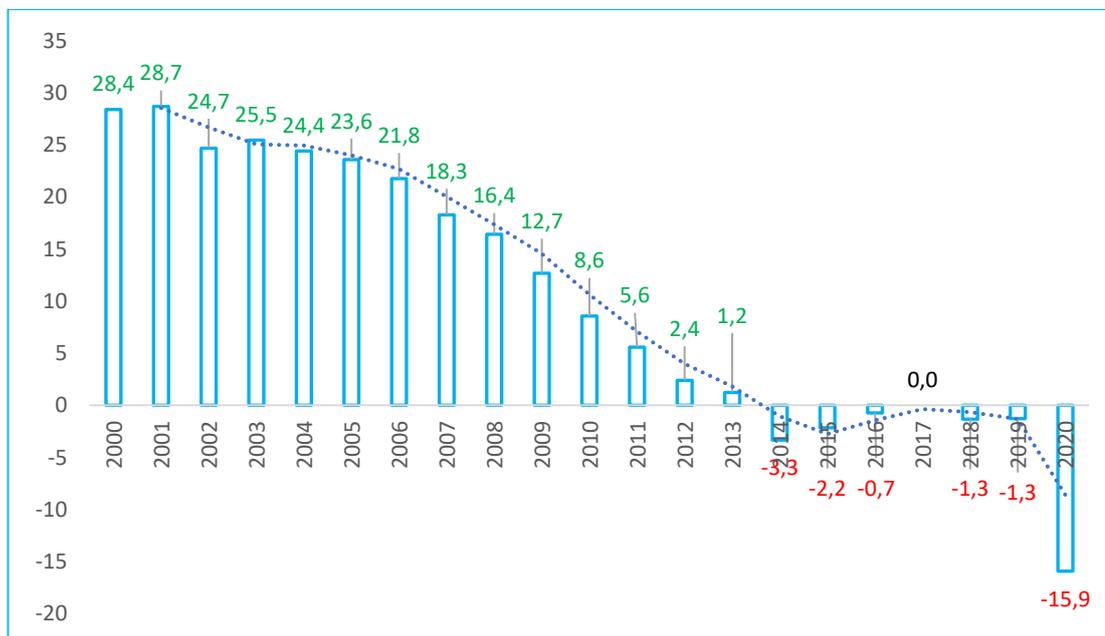
un consumo progresivamente más intenso en fuentes renovables y por una tendencia de consumo anual en TWh menor con el pasar de los años.

e) Francia

Francia, al igual que Reino Unido y Alemania, es una de las grandes potencias a nivel europeo y mundial. En el sector energético, el país destaca por tener, en proporción a su infraestructura energética, la mayor fuente nuclear en todo el mundo. Además, Francia lleva siendo líder europeo en producción de energía nuclear desde hace varias décadas, además de ser el segundo productor de energía nuclear a nivel mundial por detrás de EE.UU.²².

Respecto a su matriz energética de Francia, en 2020 estuvo representada en un 69% proveniente de energía nuclear, un 13% de energía hidráulica, un 7% de gas natural, un 7% de eólica, un 3% de energía solar y un 2% de otras fuentes. A continuación, se muestra la figura 22, donde aparecen las variaciones del IF para el caso de Francia.

Figura - 10: Variaciones del índice de Fisher (IF) respecto al consumo energético de 2017 en Francia (en porcentaje).



Fuente: Elaboración propia a partir de la base de datos de Our World in Data

²² Según la IEA (2022), el plan energético francés tiene como propósito reducir el peso del sector nuclear de un 70% a un 50% en el 2035 y cerrar todas sus centrales de carbón en el año 2022. También tienen intención de llegar a cero emisiones netas en el 2050, tal y como dictamina en su Acta Energética y Climática.

Como se puede observar en la figura 10, las variaciones del IF en el caso francés describen una tendencia de decrecimiento ininterrumpido desde el año 2001 hasta el año 2015; en detalle, la variación en el año 2000 fue de 28,4% y pasó al máximo absoluto de 28,7% en el año 2001. Tras una sucesión de continuo decrecimiento, se llega a 2014 a la primera variación negativa, con un -3,3% respecto al IF del 2013. Este decrecimiento se va reduciendo los siguientes años hasta el mismo año 2017, pero tras este año, las variaciones vuelven a caer, desplomándose en el 2020 con el mínimo absoluto de -15,9%.

El IF en este caso debe su comportamiento más a la modificación de los pesos de las variables energéticas que al consumo absoluto de energía. Esto se debe a que, en el caso del consumo total de energía, comenzó en el 2000 con 2.200 TWh y al año siguiente, 2001, no consiguió su máximo consumo en estos 20 años como dicta el IF, sino en el 2004, con 2.250 TWh. Es a partir de este año que el consumo total energético cae de forma continua hasta el 2015. A partir de ahí, la trayectoria del IF coincide con el consumo energético total, alcanzando su mínimo en el 2020 con 1.670 TWh. Referente a los pesos de las variables energéticas, entre los años 2000-2020, hubo un descenso del 7% al 3% en el consumo de carbón y otro descenso en el consumo de petróleo, pasando del 52% al 44%. Las energías renovables y nuclear han permanecido casi constantes, acumulando las cuatro variables, éstas han aumentado de un 22% a un 28%. Finalmente, el gas natural también aumentó, del 19% al 24%. Como se puede observar, el IF se ha visto alterado estos 20 años por un consumo intensificado en variables de menos peso como la nuclear y renovables, además de una reducción de casi el 10% en la variable de mayor peso, el petróleo.

f) República Checa

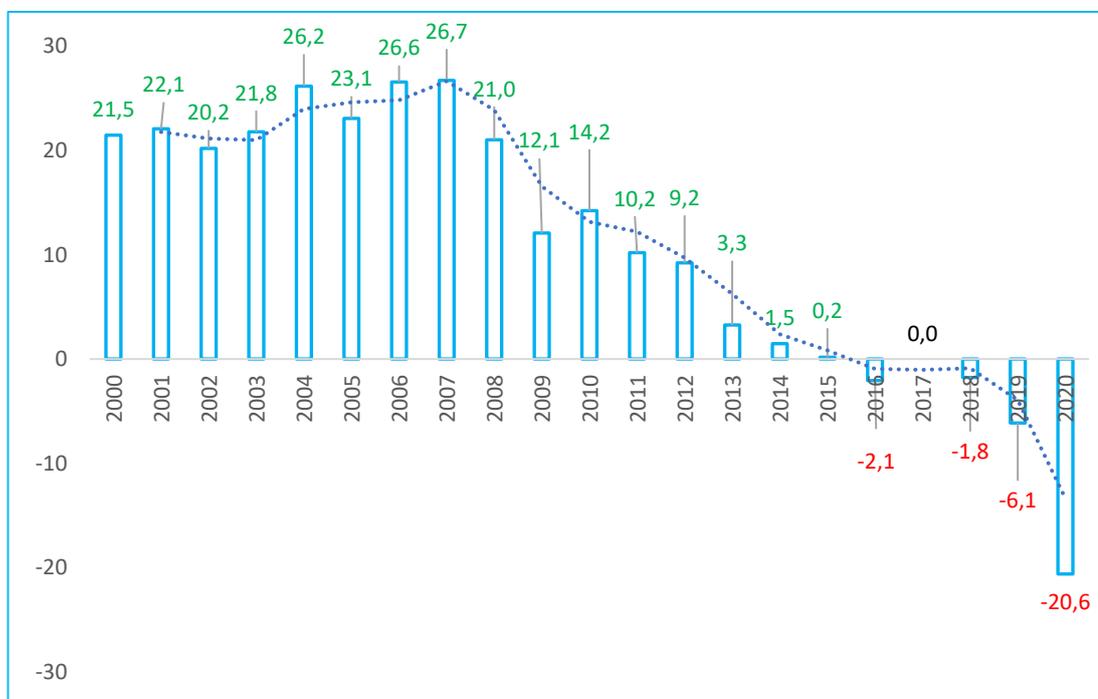
Prosiguiendo tenemos a la República Checa, escindida de Checoslovaquia y perteneciente al bloque del este durante la Guerra Fría. Actualmente, el país posee, por una parte, influencias soviéticas por su pasado reciente, como el gran consumo de energía nuclear, e influencias más occidentales tras el fin de ese periodo e integrarse más en la comunidad europea, como una transición a un modelo energético menos contaminante²³.

La matriz energética del 2020 en República Checa estuvo compuesta por un 32,7% de consumo de carbón, un 24,8% de petróleo, un 20,4% de gas natural, un 17,8% de energía

23 Según la IEA (2022): "La política energética en la República Checa está guiada por la Política Energética Estatal (SEP), la última que data de 2015. Los objetivos clave son reducir el consumo de energía, mejorar la intensidad energética de la economía y expandir la energía nuclear."

nuclear, un 1,4% de energía solar, un 1,2% de energía hidráulica y el porcentaje restante en otras renovables. A continuación, se muestra la evolución del IF para el caso checo.

Figura - 11: Variaciones del índice de Fisher (IF) respecto al consumo energético de 2017 en República Checa (en porcentaje).



Fuente: Elaboración propia a partir de la base de datos de Our World in Data

Observando la figura 11, podemos apreciar que la tendencia que siguió el IF fue de un crecimiento moderado al principio; en detalle, en el año 2000 comenzó con una variación del IF positiva del 21,5%, llegando a su variación máxima en el 2007 con un 26,7%. Tras este año, República Checa tuvo un constante decrecimiento que ha durado hasta el último año analizado, el 2020; en el 2016 pasó a las variaciones negativas con un -2,1% y tras un decrecimiento menos agresivo, el IF finalmente se desplomó en el 2020 con una variación del -20,6, siendo éste su mínimo absoluto.

Debido a que la República Checa sigue una política energética de reducir su consumo energético, el decrecimiento del consumo total de energía ha sido la principal razón por la cual el IF ha seguido una tendencia descendente. En valores numéricos, el consumo total de energía comenzó en el año 2000 con 440 TWh y aumentó a un máximo de 480 TWh en el 2006. Diez años más tarde, con su primera variación negativa del IF, se consumió en 2016 un total 400 TWh, y finalmente en el 2020 con su valor más bajo, un total de 360 TWh. Respecto a los pesos de las variables, éstas si han influido, ha sido atenuando un poco el decrecimiento, puesto que las variables de más peso, el petróleo

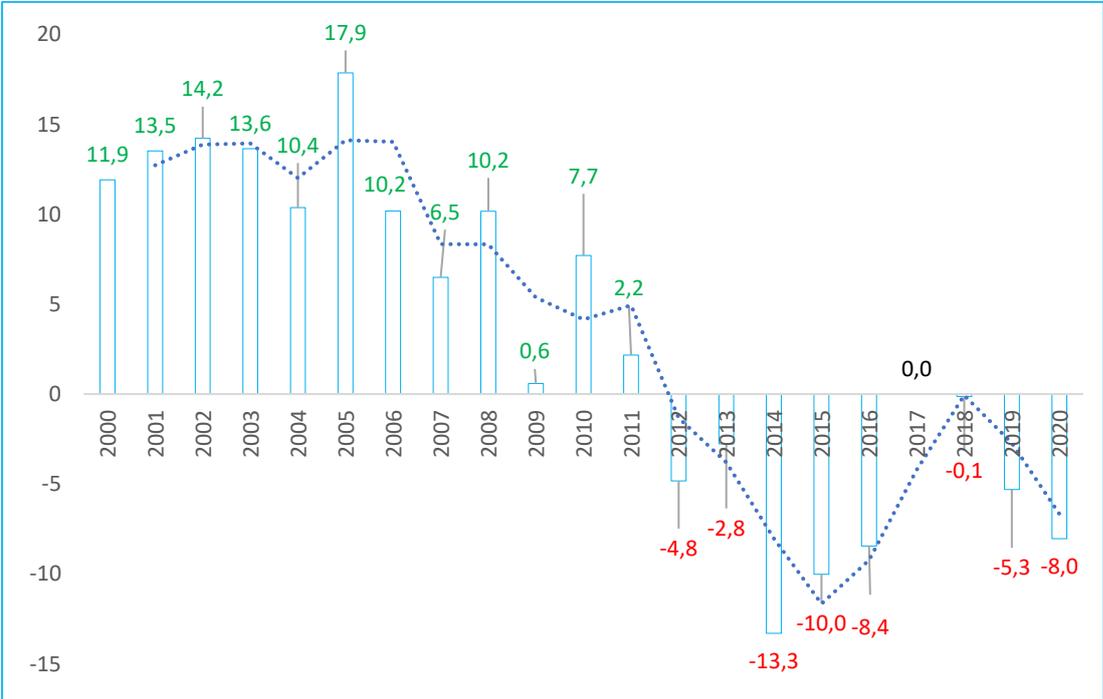
y el gas natural, han aumentado; concretamente, entre los años 2000 y 2020, el consumo de gas natural pasó de un 20% a un 24% y el petróleo de un 21% a un 29%. La energía nuclear también aumentó de un 3% a un 8%. Finalmente, el carbón ha sido la fuente energética más afectada, bajando de un consumo del 56% a uno del 38%.

g) Eslovaquia

Con la parte más oriental de Checoslovaquia tenemos a Eslovaquia, país que se origina al igual que Chequia tras la división de Checoslovaquia en 1992. El país sigue una política energética basada en las directrices y objetivos de la Unión Europea. También tiene como objetivo reducir sus importaciones de energía e incrementar el consumo de energía nuclear y energías renovables.

En cuanto a la matriz energética de Eslovaquia, en el año 2020 estuvo compuesta por un 29,5% de consumo de gas natural, un 26% de petróleo, un 21,8% de energía nuclear, un 13,6% de carbón y un 6,5% de energía hidráulica. Prosiguiendo se muestra la figura 12, la evolución del IF en forma de variaciones respecto al 2017 para el caso de Eslovaquia.

Figura - 12: Variaciones del índice de Fisher (IF) respecto al consumo energético de 2017 en Eslovaquia (en porcentaje).



Fuente: Elaboración propia a partir de la base de datos de Our World in Data

Tal y como se muestra en la figura 12, la evolución del IF durante la primera mitad de la gráfica en Eslovaquia fue bastante volátil, aunque si nos fijamos en la trayectoria que

describe la línea de tendencia, podemos apreciar que Eslovaquia comenzó a decrecer a partir del año 2006. Entre el 2000 y 2006, Eslovaquia comenzó en el 2000 con una variación positiva del 11,9%, y tras una etapa de crecimiento llegó a un máximo de 17,9% en el 2005. Tras el 2005, la variación positiva se redujo en gran cantidad, pasando a una cifra del 10,3% y decreciendo aún más al año siguiente, en 2007 con un 6,5%. El 2008 vive un momento de incremento, aumentando la variación del IF. Sin embargo, al año siguiente en 2009, la variación positiva se desploma resultando en un 0,6%. En el 2010 se incrementa de nuevo la variación positiva, con un 7,7% y tras este año, comienza un decrecimiento continuo hasta llegar al mínimo absoluto en 2014, con una variación negativa del -13,3%. En los años próximos se vuelve a dar un crecimiento que culmina con un máximo relativo en el 2018 con un -0,1%. Finalmente, tanto en el 2019 como el 2020, las variaciones negativas se intensifican, pasando a un -5,3% y un -8% respectivamente.

En relación con el comportamiento del IF en el caso eslovaco, éste viene dado parcialmente por la variación de los pesos de las variables energéticas, pero con mayor relevancia el valor absoluto del consumo energético. Referente a las variables energéticas, todas se han mantenido constantes entre el 2000 y 2020, a excepción del carbón y petróleo, donde el carbón ha disminuido de un 28% a un 17% y el petróleo ha aumentado de un 23% a un 32%. En cuanto al consumo total energético, éste coincide parcialmente, el máximo absoluto sí sucede en el 2005, con un consumo total de energía de 186 TWh; sin embargo, el mínimo absoluto no sucede en 2014, sino en el 2020, con un consumo anual de 138 TWh. De todas formas, la trayectoria descrita por el IF coincide a nivel general con las variaciones del consumo total energético

h) Ucrania

Ucrania, país que al igual que los anteriores, reaparece tras la disolución de la URSS en 1989. A nivel internacional, Ucrania es de los mayores exportadores de cereales²⁴, y recursos naturales como menas de hierro y hierro semi acabado.

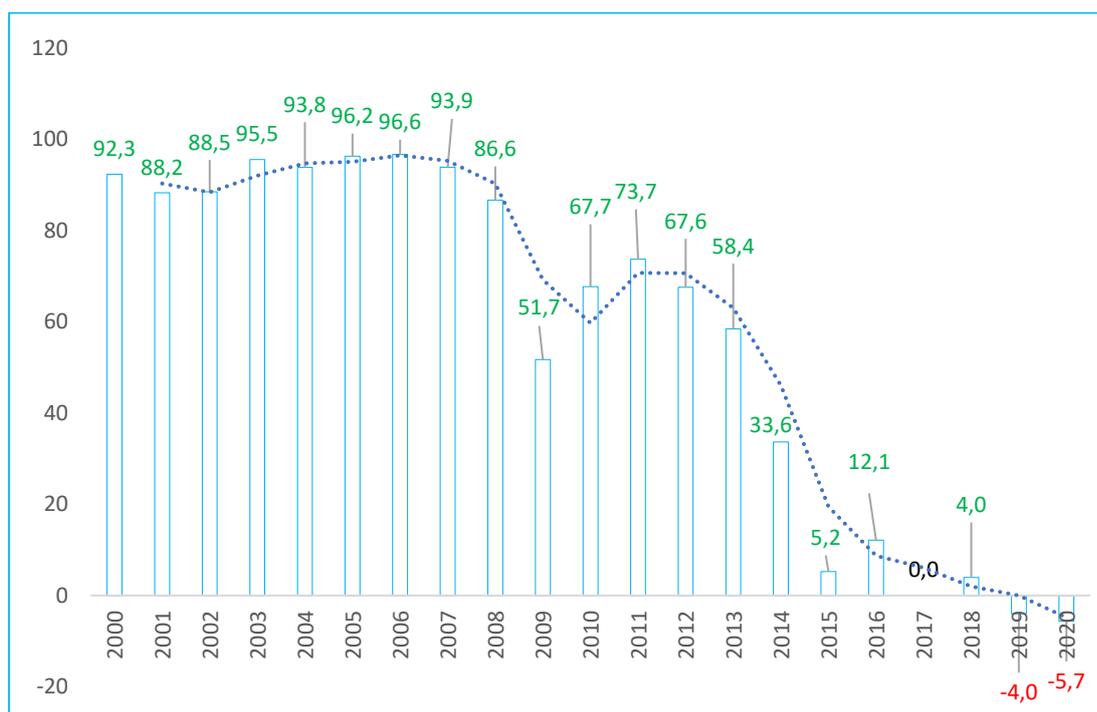
A nivel energético, Ucrania aún arrastra parte de su herencia comunista de ser territorio de la URSS, puesto que posee una gran cantidad de centrales nucleares y continúa siendo dependiente en el consumo de petróleo y gas natural, aunque el gobierno ha incentivado el desarrollo de tecnologías renovables. A nivel estratégico, Ucrania era un enclave crucial para poder traspasar el gas natural proveniente de Rusia a Europa, pero

24 Según la OEC (2020), Ucrania proporcionó el 42% de las exportaciones globales de aceite de girasol, el 16% de las exportaciones de maíz, el 9% de las exportaciones de cebada y el 9% de las exportaciones de trigo.

debido al conflicto Ruso-Ucraniano desde febrero de 2022 y las sanciones impuestas a Rusia, han supuesto que esa ventaja estratégica ya no sea relevante.

En cuanto a su matriz energética, estuvo conformada en 2020 por un 31% de gas natural, un 29% de carbón, un 20% de energía nuclear, un 14% de petróleo y el 6% de energías renovables. A continuación, se ahonda más en el tema energético con la gráfica de las variaciones del IF para el caso ucraniano.

Figura - 13: Variaciones del índice de Fisher (IF) respecto al consumo energético de 2017 en Ucrania (en porcentaje).



Fuente: Elaboración propia a partir de la base de datos de Our World in Data

Como se puede observar en la figura 13, Ucrania, pese a mostrar una tendencia decreciente en las variaciones a mitad de la gráfica, ha conseguido mantener las variaciones del IF en positivo a excepción de los últimos dos años. Más detalladamente, entre los años 2000 y 2007, las variaciones oscilan en pequeña proporción, entre un 86,6% y un 96,6%. En el 2008 la variación del IF se desploma a un 51,7%; tras ese año, se vuelve a crecer durante dos años consecutivos, llegando a un 73,3% en el 2011. Sin embargo, tras el crecimiento de 2011, el resto de años presentarán decrecimientos sucesivos a excepción de pequeños aumentos en el 2016 y 2018. Finalmente, el 2019 y 2020 presentan variaciones del IF negativas, un -4% y un -5,7% respectivamente, siendo esta última el valor mínimo de toda la gráfica.

En cuanto a los pesos de las variables energéticas, tanto el carbón como las renovables han permanecido constantes durante los años 2000-2020; el gas natural ha descendido de un 52% a un 38% y petróleo y la energía nuclear han aumentado; el petróleo de un 10% a un 16% y la nuclear de un 5% a un 9%. En cuanto al consumo total de energía, éste al igual que la gráfica del IF muestran una tendencia claramente descendente. Comenzó con un consumo estable en el 2000 de 1.415 TWh y aumentó al máximo de 1.440 TWh en el 2006. Tras ese año, el decrecimiento fue gradual salvo algunas excepciones, llegando a una cifra de consumo final de 770 TWh en el 2020, la cifra de consumo más baja de los 20 años. Tanto el peso de las variables como la cifra total de consumo influyen en el comportamiento del IF, puesto que el ritmo de decrecimiento que seguía Ucrania se atenúa en los últimos años, puesto que el consumo de petróleo aumenta más en esa franja temporal, siendo ésta la variable de mayor peso en el indicador.

i) Japón

Japón, al igual que Corea del Sur y China, es uno de los países más desarrollados de Asia Oriental, sin embargo, debido a su situación geográfica de ser una isla con pocos recursos energéticos locales, Japón se ve obligado a importar prácticamente toda la energía que consume anualmente²⁵.

Además, Japón ha sido uno de los países que mayor número de cambios ha visto en su sector energético estas últimas dos décadas a raíz del accidente de Fukushima en 2011. La estructura energética del país pasó de estar basada en consumo de fuentes fósiles juntamente con energía nuclear a sólo consumir energías fósiles. Por esta razón, Japón ha diversificado su matriz energética y reducido su demanda energética

En cuanto a su matriz energética, Japón, presentó en el año 2020 un consumo energético conformado por un 38% de petróleo, un 27% de carbón, un 22% de gas natural, un 4,3% de energía solar, un 4% de energía hidráulica, un 2,2% de energía nuclear y el 2,5% restante en energía eólica y otras renovables. A continuación, en la figura 34 se detallan las variaciones del IF entre los años 2000 y 2020 para el caso japonés.

Figura - 14: Variaciones del índice de Fisher (IF) respecto al consumo energético de 2017 en Japón (en porcentaje).

25 Según la FEPC (Federation of Electric Power Companies of Japan), Japón importa cada año alrededor de un 94% de la energía que consume.



Fuente: Elaboración propia a partir de la base de datos de Our World in Data

Como se puede observar en la figura 14, Japón ha experimentado un claro descenso en su IF, teniendo sólo una breve etapa de crecimiento de las variaciones entre los años 2010 y 2012. Más concretamente, Japón comenzó con variaciones positivas; en el año 2000, con un 34,8%, sin embargo, la tendencia fue de decrecimiento, dándose un desplome entre el 2007 y 2008, donde la variación del IF pasó de un 16,7% a un 4,5%. Tras esta caída, la variación aumentó a un máximo relativo del 16,1% en el 2012, para finalmente regresar nuevamente a otra etapa de decrecimiento. Este fue sin cesar y pasó a las variaciones negativas en el 2018 con un -3,4% para finalmente llegar al mínimo absoluto en el 2020 con un -18,2%.

La trayectoria del IF en el caso de Japón no se debe tanto a la cifra de consumo total de energía, sino al peso de las variables. Para las cifras de consumo total de energía, Japón comenzó en el año 2000 con un consumo de 5.430 TWh y alcanzó su consumo máximo en el 2005, con 5.520 TWh. Pese al aumento temporal de consumo de los años 2011 y 2012, Japón terminó decreciendo en su consumo energético, llegando a un mínimo absoluto de 4.340 TWh. Yendo al factor que sí ha influido en el comportamiento del IF, el peso de las variables energéticas ha mostrado que el consumo energético japonés era mucho más intenso en petróleo en el año 2000 que en el 2020, pasando de un 58% a un 42%. La nuclear también ha caído, de un 6% a un 1%. El carbón y gas natural han

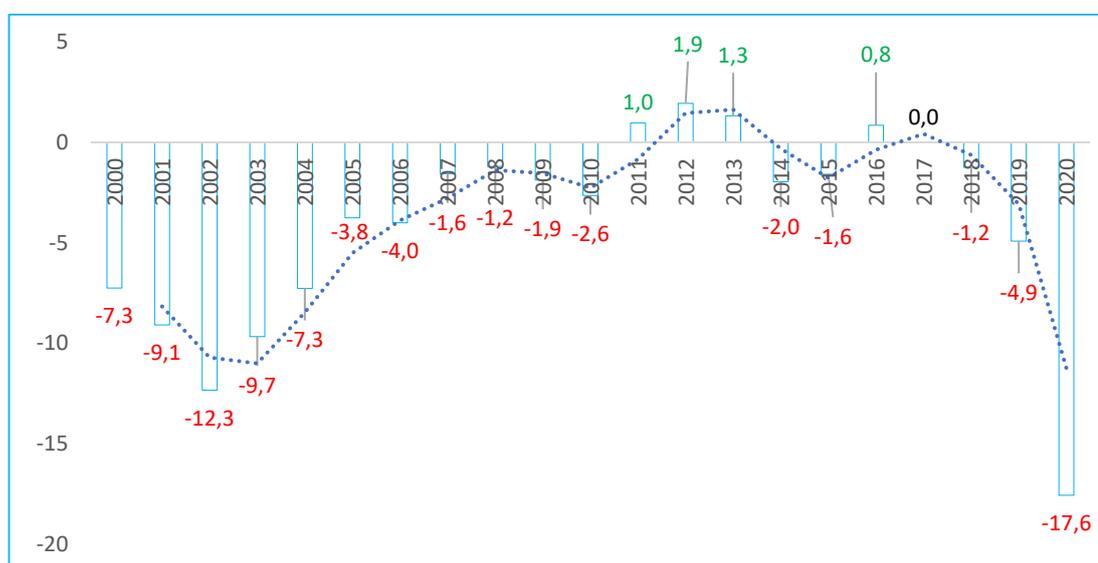
aumentado sin embargo, el carbón de un 20% a un 29% y el gas natural de un 14% a un 24%. Además, que en pleno accidente de Fukushima y crisis energética en Japón, el IF aumente, se debe precisamente a la variación de los pesos de las variables energéticas; de un año para otro, el país vio como todo su consumo nuclear (variable de poco peso en el índice), pasó a reemplazarse con consumo carbón y gas natural principalmente (variables de mayor peso dentro del indicador).

3.4 Crecimiento inicial y posterior decrecimiento en la trayectoria de las variaciones del IF

a) México

México, dentro de la región norteamericana, se sitúa como la economía más débil de los tres países que conforman el continente, caracterizándose como un país emergente. Dicha calificación se puede observar en sus fuentes de energía, donde el acceso a renovables o nuclear está más limitado y el combustible fósil es el que más abunda debido a su mayor asequibilidad en coste. Como indica la EIA (2022), En México se espera que un crecimiento en consumo de energía a largo plazo motivado por una tasa de natalidad positiva y un acceso asequible a fuentes energéticas. A continuación, se muestra la evolución de las variaciones del IF para el caso de México.

Figura - 15: Variaciones del índice de Fisher (IF) respecto al consumo energético de 2017 en México (en porcentaje).



Fuente: Elaboración propia a partir de la base de datos de Our World in Data

Observando la figura 15 se puede observar una tendencia de crecimiento en consumo energético a partir del año 2002, llegando a su máximo en 2012; desde el 2013 sin

embargo, el nivel de consumo energético en México ha vuelto a descender, llegando a su mínimo absoluto durante la pandemia del 2020. Concretamente, México comenzó en el año 2000 con una variación negativa del IF en -7,3%, llegando a acrecentarse en el 2002 con un -12,3% de variación negativa. A partir de ese año, el consumo energético fue aumentando puesto que las variaciones negativas del IF fueron cada vez menores, llegando al 2011 con su primera variación positiva del 1% y los 2012 y 2013 con un 1,9% y un 1,3% respectivamente. Los próximos años hasta el 2018 se caracterizan por tener variaciones en torno al 1% y -2%. Finalmente, los dos últimos años, 2019 y 2020, sufren un descenso muy intenso, en 2019 la variación del IF cayó al -4,9% y en 2020 con la crisis del COVID-19 a -17,6%, el mínimo absoluto de estos 20 años.

En el caso de México, las fluctuaciones del IF se explican por una combinación de valor absoluto de consumo energético en TWh y un cambio en el peso de las variables energéticas. En el caso de México, desde el 2000 al 2020, el consumo de petróleo y gas natural conformaban un 90% aproximadamente del consumo total de energía; sin embargo, gran parte del consumo de petróleo se ha redistribuido a consumo de gas natural, casi un 30% en estos 20 años, teniendo en el 2000 un 69% de consumo de petróleo y un 23% de consumo de gas natural y en 2020 un 41% de consumo de petróleo y un 52% de consumo de gas natural. Respecto al consumo total en TWh, México tuvo en el 2000 un consumo energético de 1530 TWh y creció de forma casi ininterrumpida hasta 2017 con un máximo de 2090 TWh; desde entonces, el consumo energético comenzó a decrecer, hasta llegar al mínimo absoluto de 1670 TWh con el COVID-19 en 2020.

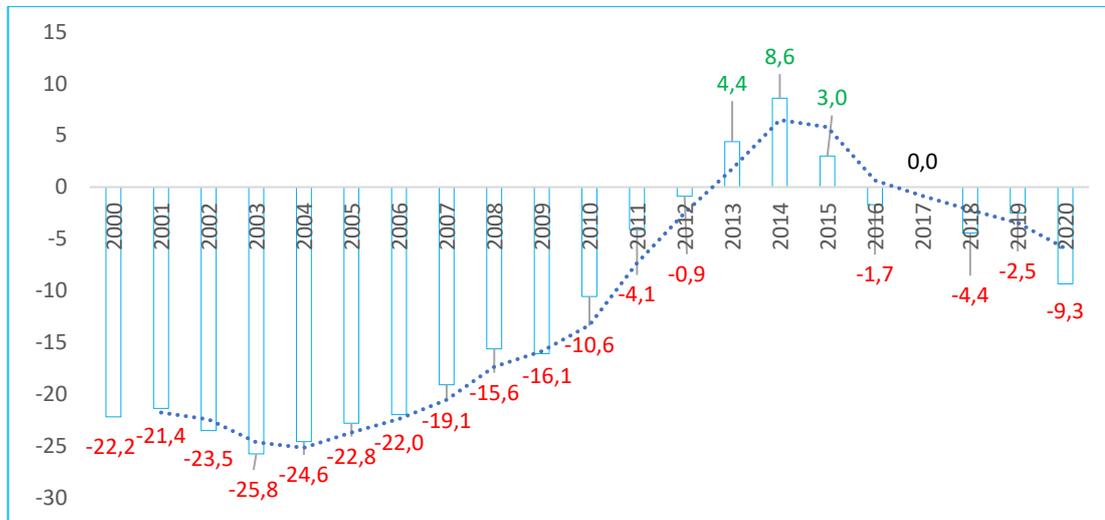
b) Brasil

Brasil, la economía más potente del continente sudamericano y una de las más prometedoras a nivel internacional por estar aún en una fase emergente. En cuanto al sector energético, el país es uno de los casos más atípicos que se puede encontrar, ya que su principal fuente de energía es la renovable, concretamente la energía hidráulica²⁶.

Más concretamente, según la EIA (2019), la generación eléctrica de Brasil estaba producida por un 64% proveniente de energía hidráulica, un 14% de combustibles fósiles, un 9% de energía eólica, un 9% de biocombustibles, un 2% de energía nuclear y un 1% de energía solar. A continuación, se detalla el consumo energético del país vía variaciones del IF.

26 Según la IEA (2022): "Las energías renovables satisfacen casi el 45% de la demanda de energía primaria, siendo la hidráulica la principal contribuidora con un 80% del total, lo que convierte al sector energético de Brasil en uno de los menos intensivos en emisiones de CO2 del mundo."

Figura - 16: Variaciones del índice de Fisher (IF) respecto al consumo energético de 2017 en Brasil (en porcentaje).



Fuente: Elaboración propia a partir de la base de datos de Our World in Data

Tal y como muestra la figura 16, Brasil muestra una clara tendencia de crecimiento energético entre los años 2000 y 2014; tras ese año, el crecimiento se ralentiza y cae hasta el año 2020. Más detalladamente, Brasil comienza en el año 2000 con una variación negativa del IF del -22,2%, llegando a decrecer hasta un mínimo absoluto en el año 2003 con una variación del -25,8%. Desde ese año, las variaciones comienzan a reducirse, denotando una tendencia de crecimiento. Éste llega a su máximo absoluto en el 2014, con una variación positiva del consumo de energía del 8,6%; desde entonces, las variaciones del IF positivas vuelven a menguar, llegando a valores negativos en 2016, 2018, 2019 y finalmente, en 2020 con una variación negativa del -9,3%.

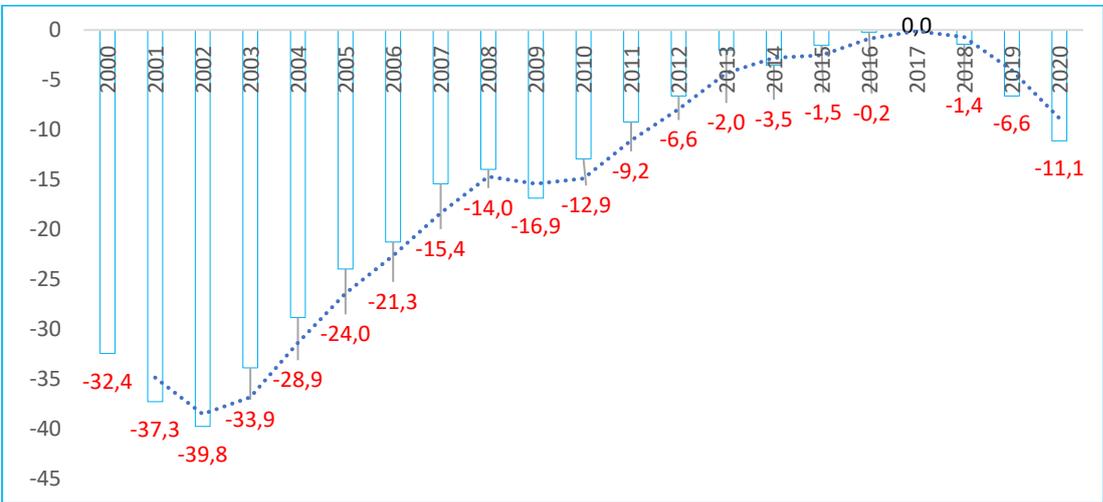
El caso de Brasil es parecido al mexicano en relación con el comportamiento del IF. En este caso, Brasil también ha tenido una transición del consumo de petróleo al consumo de gas en estos últimos 20 años del 8%, pasando en el año 2000 de un consumo del 6% de gas natural y del 65% de petróleo a un consumo en el 2020 del 14% de gas natural y del 57% de petróleo. Respecto al consumo energético total, Brasil consumió en el 2000 1560 TWh, creciendo hasta el 2015 con un valor máximo de consumo energético total de 2510 TWh, y decreciendo desde entonces hasta el 2020 con un consumo energético total de 2230 TWh. Por estas razones, las fluctuaciones del IF se deben a variaciones en el peso de las variables energéticas y por el consumo total energético; aunque el factor más relevante ha vuelto a ser el consumo total de energía en TWh.

c) Argentina

Argentina posee la segunda economía más potente del continente sudamericano por detrás de Brasil. De todos modos, no es una economía potente a nivel internacional por la gestión estatal del país, que suele acarrear con frecuencia periodos de gran inflación. Pese a ello, sigue siendo uno de los países más desarrollados de América del Sur.

En lo que se refiere a energía, como cita la IEA (2022), Argentina depende en gran medida del petróleo y gas natural, conformando un 33% y un 55% respectivamente en su matriz energética; la hidráulica representa un 3% y la nuclear un 3%, finalmente la eólica es un 1%. A continuación, se muestran las variaciones del IF para mostrar la evolución del consumo energético en Argentina.

Figura - 17: Variaciones del índice de Fisher (IF) respecto al consumo energético de 2017 en Argentina (en porcentaje).



Fuente: Elaboración propia a partir de la base de datos de Our World in Data

Como muestra la figura 17, las variaciones del IF en Argentina denotan una tendencia al alza, mostrando un crecimiento constante hasta el año 2017, los 3 años posteriores son decrecimientos sucesivos. Concretamente, Argentina comenzó el año 2000 con una variación del IF negativa de -32,4%, llegando al mínimo absoluto en 2002 con una variación negativa del -39,2%. A partir de ese, comienza en Argentina una tendencia de crecimiento energético que no para hasta llegar al año base, 2017, llegando al máximo absoluto. Tras 2017 se decrece hasta llegar en 2020 a una variación negativa del IF del -11,1%.

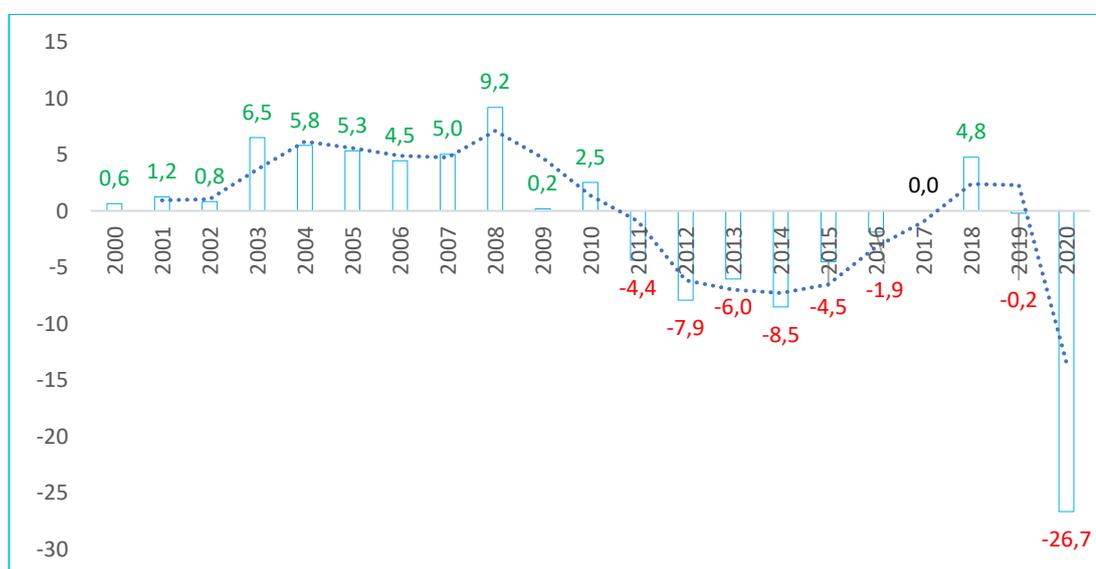
Respecto a la evolución del IF, hay una relación positiva entre la tendencia de variación del IF y el consumo total de energía en TWh de Argentina, concretamente, Argentina no paró de aumentar su consumo de energía desde el 2000 hasta el 2017, pasando de 630 TWh a 907 TWh respectivamente; a partir de ese año, el consumo total comenzó a caer

hasta llegar a 2020 con 777 TWh. En cuanto a los pesos de las variables, no se puede concluir que la variación en los pesos de éstas hayan sido determinantes en la evolución del IF de Argentina, puesto que las dos variables energéticas que dominan el consumo del país, el petróleo y el gas natural, se han mantenido casi constantes en estos 20 años, conformando ambas un 94% del consumo de energía total del país. Pese a que haya habido un traspaso de consumo energético entre variables, éste ha sido entre el petróleo y el gas natural y sólo del 5%; puesto que ambas variables son las que más peso tienen en el IF, la variación en sus pesos no se ha notado en el comportamiento del indicador.

d) Bélgica

Prosiguiendo tenemos a Bélgica, país de referencia en la UE y centro de varias organizaciones internacionales. La distribución energética de Bélgica es reducida, ya que sus fuentes principales de energía son la nuclear y el GNL²⁷. De hecho, la matriz energética de Bélgica en producción eléctrica según la EIA (2019) está dada por un 48% de energía nuclear, un 27% de gas natural, un 9% de eólica (tanto eólica en tierra como eólica en mar) y un 4,2% de energía solar. Prosiguiendo en materia de energía tenemos la evolución del consumo energético de Bélgica dado por sus variaciones en el IF.

Figura - 18: Variaciones del índice de Fisher (IF) respecto al consumo energético de 2017 en Bélgica (en porcentaje).



Fuente: Elaboración propia a partir de la base de datos de Our World in Data

27 Según la IEA (2022): "El Plan Nacional de Energía y Clima de Bélgica establece un objetivo para 2030 de reducir las emisiones de gases de efecto invernadero del sector energético en un 35 % con respecto a los niveles de 2005, para alcanzar el 17,5 % de energías renovables en el consumo final bruto de energía y reducir significativamente la demanda de energía."

Como se puede observar en la figura 18, el comportamiento del IF de Bélgica ha fluctuado estos entre el 2000 y 2020. Hasta la primera mitad del periodo, 2000-2010, las variaciones del IF eran positivas, lo que quiere decir que el nivel de consumo energético de Bélgica era mayor en comparación al de 2017, el año base; concretamente, el crecimiento comenzó en el 2000 con una variación positiva del 0,6% hasta un máximo en 2008 de variación positiva del 9,2%. Desde ese año, se comienza una etapa de decrecimiento, llegando a variaciones del IF negativas en 2013, llegando al mínimo en 2014 con una variación negativa del -8,5%. Comienza de nueva una etapa de crecimiento y llega finalmente a la última variación positiva en el 2018 con un 4,8%. Finalmente el IF en Bélgica vuelve a decrecer hasta llegar al mínimo absoluto en el 2020 por la crisis del COVID-19 con una variación negativa del -26,5%.

Respecto al comportamiento del IF, éste se explica en gran medida por el Plan Nacional de Energía y Clima de Bélgica, cuyo uno de sus objetivos principales es el de reducir la demanda de energía de forma gradual, factor que, por ende, reduce el consumo de energía en el país, específicamente un 21% menos de consumo entre el 2000 y el 2020, pasando de consumir una cifra total de 652 TWh a 509 TWh respectivamente. Respecto al peso de las variables energéticas, el consumo del país en 2020 estuvo dominado por el petróleo con un 51% y el gas con un 33%, el carbón representó un 6%, la nuclear un 7% y las renovables un 3% (la eólica un 2% y la solar un 1%). En cuanto a variaciones en las variables, el consumo de carbón ha caído un 8% y el del petróleo un 4%, traspasando ese consumo al gas natural, que ha aumentado un 9% y la eólica que ha aumentado un 2% y la solar un 1%; la única fuente que ha permanecido constante ha sido la nuclear, con un 7% del consumo total energético todos los años desde el 2000 hasta el 2020.

e) Holanda

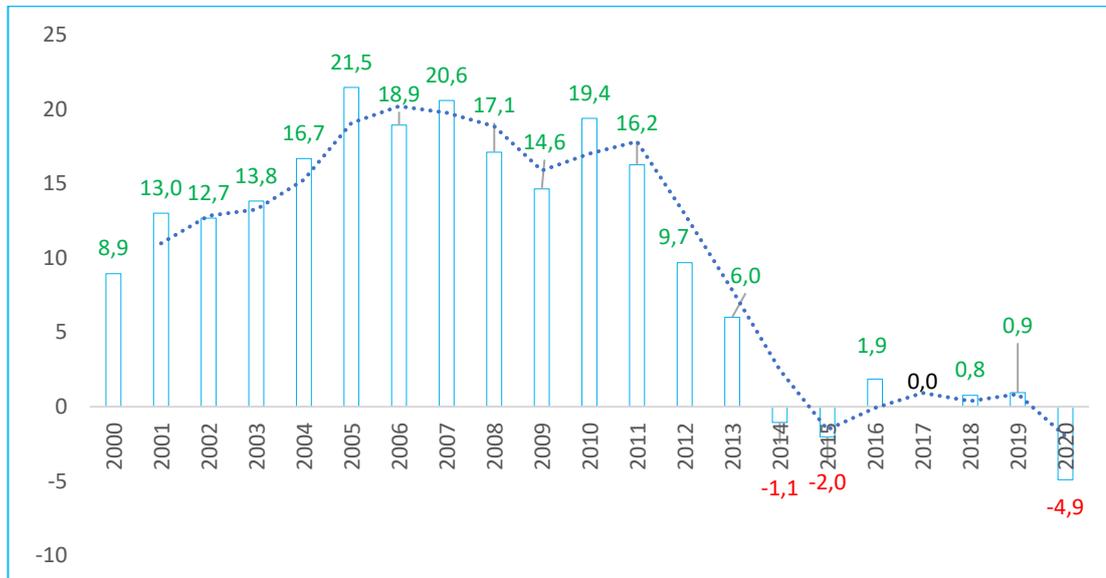
Seguimos con Holanda, referente a su situación energética, es un gran consumidor en recursos fósiles; sin embargo, el país pretende reducir sus emisiones de GHG y aumentar el peso de las fuentes renovables en el sector energético²⁸. A nivel internacional, Holanda es productor europeo de gas natural, aunque en fase de desfase; sin embargo, sí que es un referente como centro de comercio energético a nivel mundial.

Según la IEA (2022), la matriz energética de Holanda en generación eléctrica en 2018 estuvo configurada por un 42% de gas natural, un 37% de petróleo, un 11% de carbón y

²⁸ Según la IEA (2022): "La Ley del Clima de 2019 establece objetivos legalmente vinculantes para reducir las emisiones de gases de efecto invernadero (GHG) en un 49 % para 2030 y en un 95 % para 2050 (en comparación con los niveles de 1990) y para que el 100 % de la electricidad provenga de energías renovables para 2050.

un 5% de biocombustibles; el porcentaje restante viene de pequeñas contribuciones de energía hidráulica, energía solar, energía eólica y energía nuclear. A continuación, se muestra la evolución de las variaciones del indicador para el caso de Holanda.

Figura - 19: Variaciones del índice de Fisher (IF) respecto al consumo energético de 2017 en Holanda (en porcentaje).



Fuente: Elaboración propia a partir de la base de datos de Our World in Data

Como se puede observar en la figura 19, Holanda experimentó hasta el 2013 una serie ininterrumpida de variaciones positivas del IF; concretamente, empezó el año 2000 con una variación positiva del IF del 8,9% y llegó a un máximo de 21,5% en el 2005. En 2010, con un 19,4%, comienza su fase de decrecimiento, con 3 años de reducción en las variaciones positivas, llegando a tener en 2014 y 2015 variaciones negativas del IF. Desde el 2014 al 2019, las variaciones del IF oscilaron en torno al -2% y el 1%. Finalmente, en el 2020 se dio el mínimo absoluto con un -4,9%, presumiblemente por una reducción en la demanda de energía por la crisis del COVID-19.

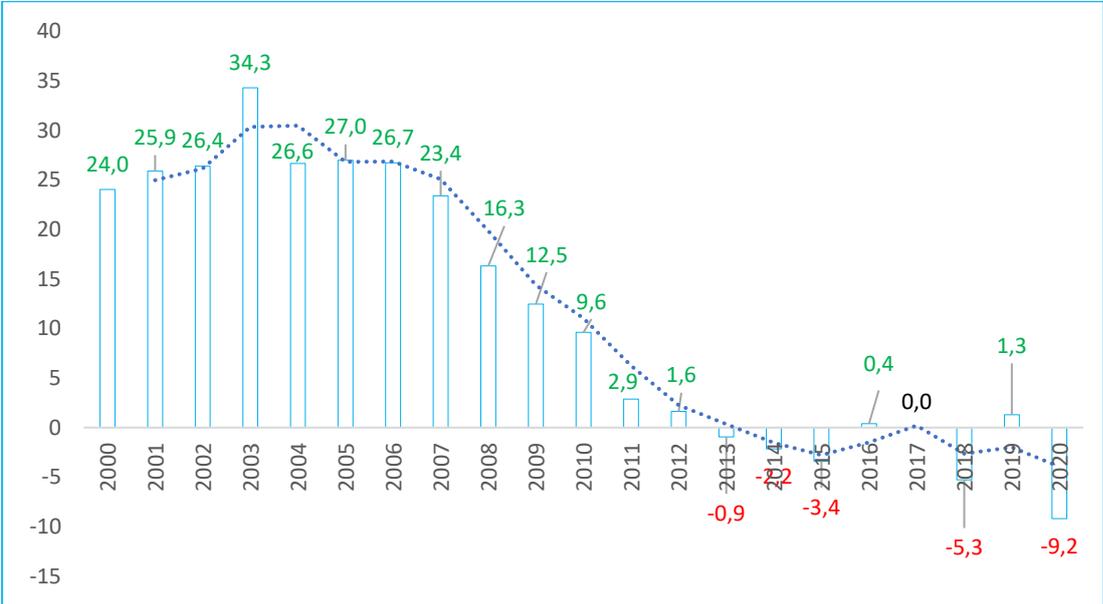
El comportamiento del IF viene explicado por variaciones del consumo total de energía (en TWh), puesto que las variables energéticas no han variado nada en los años 2000-2020. Respecto al consumo total en TWh, Holanda comenzó el 2000 con un consumo energético total de 990 TWh, aumentando al máximo absoluto en el 2005 con 1080 TWh y desde entonces, decreciendo hasta llegar al 2020 con una cifra de consumo total de 860 TWh.

f) Suecia

En el caso de Suecia, país presenta una infraestructura energética similar a la de Finlandia en el uso mayoritario de fuente nuclear y renovable. Además de perseguir el mismo objetivo de descarbonización intensiva²⁹.

Según Power Technology (2019), en el año 2018, la matriz energética de Suecia estuvo compuesta por un 38% de energía hidráulica, un 20% de energía nuclear, un 17% de eólica, un 13% de biocombustibles, un 10% de gas y petróleo y el porcentaje restante de otras renovables. Se muestra a continuación una gráfica con las variaciones del indicador.

Figura - 20: Variaciones del índice de Fisher (IF) respecto al consumo energético de 2017 en Suecia (en porcentaje).



Fuente: Elaboración propia a partir de la base de datos de Our World in Data

Observando la figura 20, se detalla que la tendencia que han seguido las variaciones del IF en Suecia, fue de un crecimiento moderado entre los años 2000 y 2006, más en detalle, la variación del año 2000 fue positiva en un 24%, llegando a un máximo de 34,3% en el 2003, y luego volvió a niveles iniciales, teniendo en el 2006 un 26,7%. A partir del 2007, con una variación del 23,4%, comienza un decrecimiento continuo que lleva a 2013 a mostrar la primera variación negativa, siendo ésta del -0,9%. Los años que prosiguen muestran en su mayoría variaciones negativas y sólo el 2016 y el 2019 muestran

29 Según la IEA (2022): “Suecia es líder mundial en descarbonización y tiene objetivos para reducir las emisiones de gases de efecto invernadero (GHG) en un 59 % para 2030 en comparación con 2005, y tener una economía neta de emisiones de CO2 cero para 2045.”

variaciones positivas, aunque de poca intensidad. Finalmente, en el año 2020 se llega a la variación negativa más intensa, con un -9,2%.

Al igual que los casos previos, la trayectoria que describe el indicador sintético en el caso de Suecia es combinación de la reducción del consumo total de energía, que alcanzó su máximo en 2005 con 390 TWh y su mínimo en 2014 con 330 TWh. En el caso de los pesos de las variables, Suecia muestra pesos mínimos en el carbón con una media del 7% en los años 2000-2020, un 3% medio de gas natural y un 0% en energía solar. Sin embargo, variables con poco peso dentro del indicador sí que han tenido relevancia en este país; la energía nuclear representó un 15% en el 2020, un 22% la energía hidráulica y un 8% la eólica. El consumo de petróleo ha permanecido constante en un 52%. Por esta razón, las variaciones del IF en Suecia han mostrado una tendencia a la baja, ya que su consumo energético ha sido incrementado por ser más intensivo en variables con poco peso en el indicador.

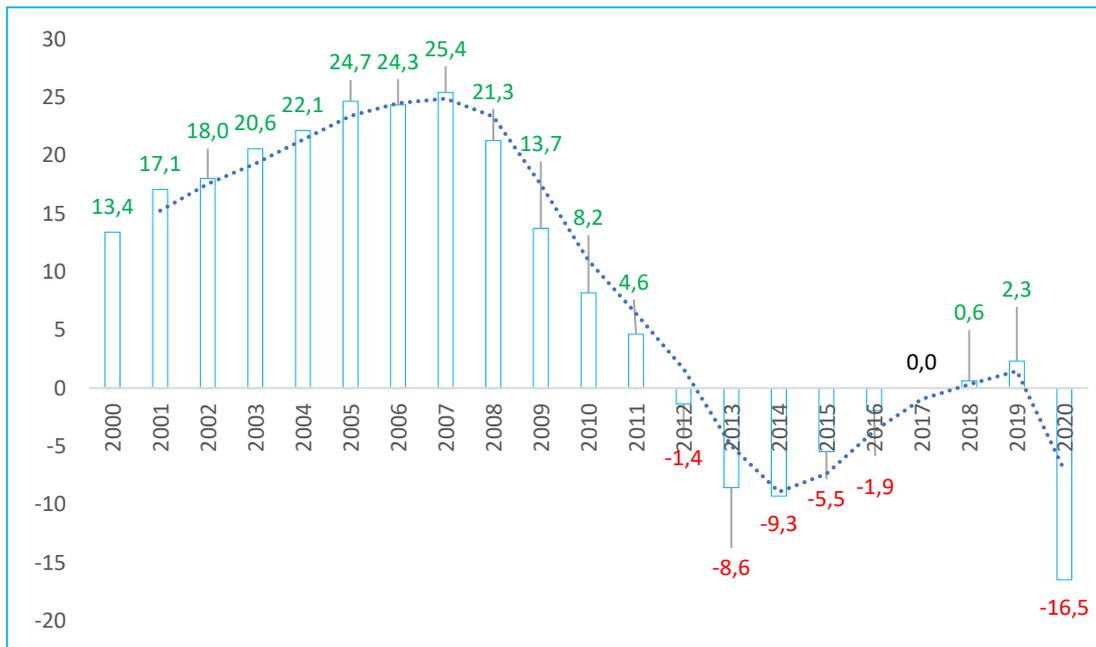
g) España

En último lugar de Europa occidental tenemos a España, país atrasado en materia energética debido a las políticas proteccionistas impuestas durante la dictadura. Actualmente, sin embargo, España posee una matriz energética bien distribuida, con un futuro que augura un aumento del consumo proveniente de las energías renovables³⁰ y gas natural, y un desfase gradual de la energía nuclear.

La matriz energética española en 2020 estuvo compuesta por un 44,4% de petróleo, un 23,5% de gas natural, un 15,5% de energías renovables, un 10,4% de energía nuclear, un 5% de energía hidráulica y un 1,5% del carbón. Profundizando más en materia de consumo energético, mostramos a continuación las variaciones del IF para el caso de España, entre los años 2000 y 2020.

Figura - 21: Variaciones del índice de Fisher (IF) respecto al consumo energético de 2017 en España (en porcentaje).

30 Según la IEA (2022): "El actual marco español de energía y clima se basa en los objetivos 2050 de neutralidad climática nacional, 100% de energías renovables en el matriz eléctrica y 97% de energías renovables en la matriz energética total"



Fuente: Elaboración propia a partir de la base de datos de Our World in Data

Como se puede observar en la figura 21, España vivió un auge energético a principios del 2000. Las variaciones del IF comenzaron siendo positivas, en el año 2000 con un 13,4% positivo, aumentando sin cesar hasta llegar al máximo en el año 2007, con una variación positiva del 25,4%. Tras este año, las variaciones experimentaron un gran descenso, llegando en el 2012 a la primera variación negativa del IF, con un -1,4%. Este decrecimiento se intensificó mucho los dos años posteriores, en 2013 con un -8,6% y en 2014 con un mínimo relativo del -9,3%. Comienza tras el 2014 una etapa de crecimiento continuo que culmina en el 2019 con una variación positiva del 2,3%. Sin embargo, la tendencia de crecimiento se desploma con la llegada del COVID-19, teniendo en el 2020 una variación negativa del -16,5%.

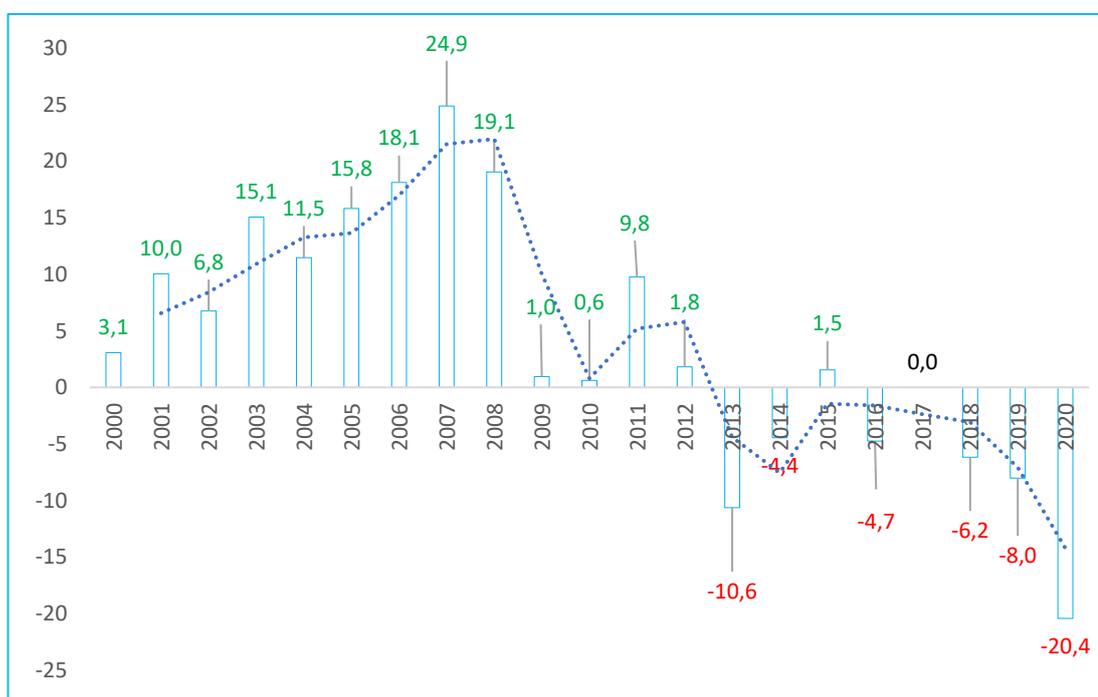
La trayectoria del IF en el caso español es combinación de un consumo energético más intenso a principios del 2000 en petróleo y carbón y menos en renovables; concretamente el carbón ha descendido entre el 2000 y 2020 de un 18% a un 2%; mientras que el petróleo lo ha hecho de un 62% a un 55%. En cuanto a los aumentos, el consumo de gas natural ha sido el que más lo ha hecho, de un 13% a un 29%; la energía nuclear y renovables en su conjunto han pasado de representar un 7% a un 15%. La cifra de consumo total de energía también coincide con la trayectoria del IF, comenzando en el año 2000 con 1.340 TWh, teniendo su máximo consumo en el 2007 con 1.640 TWh, un mínimo relativo en el 2014 con 1250 TWh, y un mínimo absoluto en 2020 con 1120 TWh.

h) Bulgaria

Bulgaria, como país del antiguo Pacto de Varsovia y localizado en la región de Europa del Este, se puede observar el gran peso que tiene el sector nuclear y las energías fósiles en su matriz energética. Recientemente, está viendo un aumento de las energías renovables en su matriz energética³¹.

En cuanto a su matriz eléctrica, ésta fue en 2019 compuesta por un 40% de carbón, un 37% de energía nuclear, un 17% de energías renovables y un 5% de gas natural. A continuación, se muestran las variaciones del IF para el caso de Bulgaria.

Figura - 22: Variaciones del índice de Fisher (IF) respecto al consumo energético de 2017 en Bulgaria (en porcentaje).



Fuente: Elaboración propia a partir de la base de datos de Our World in Data

Observando la figura 22, podemos observar como la tendencia que siguió el IF en el caso de Bulgaria, fue de un gran ascenso durante la primera mitad de la gráfica, para después proseguir con un descenso irregular que culmina en el último año con la cifra negativa más intensa. Concretamente, Rumanía comenzó en el año 2000 con una variación del 3,1% y tras una etapa de crecimiento algo irregular por las bajadas del 2002 y 2004, llega finalmente a su variación positiva máxima en el año 2007, con un 24,9%. Al igual que en el caso de Rumanía, Bulgaria sufre un desplome en su IF tras alcanzar su máximo

31 Según la IEA (2022): “Bulgaria adoptó la Ley de energía procedente de fuentes renovables en 2011. La Ley regula la generación y el consumo de energía procedente de fuentes renovables con el objetivo de alcanzar los objetivos nacionales en términos de uso de energía renovable en el consumo bruto final de energía.”

absoluto; en este caso, Rumanía pasó en el 2008 con una variación del 19,1% a una del 1% en el 2009. Tras dos años, en 2011, se recupera con una variación positiva del 9,8%, pero comienza a decrecer de nuevo, llegando a una variación negativa del IF en el 2013 del -10,6%. Pese a que la situación mejoró los dos años posteriores, consiguiendo una variación positiva del 1,5% en el 2015, las variaciones no dejaron de decrecer desde entonces, llegando al mínimo absoluto con una variación negativa del -20,4% en el 2020.

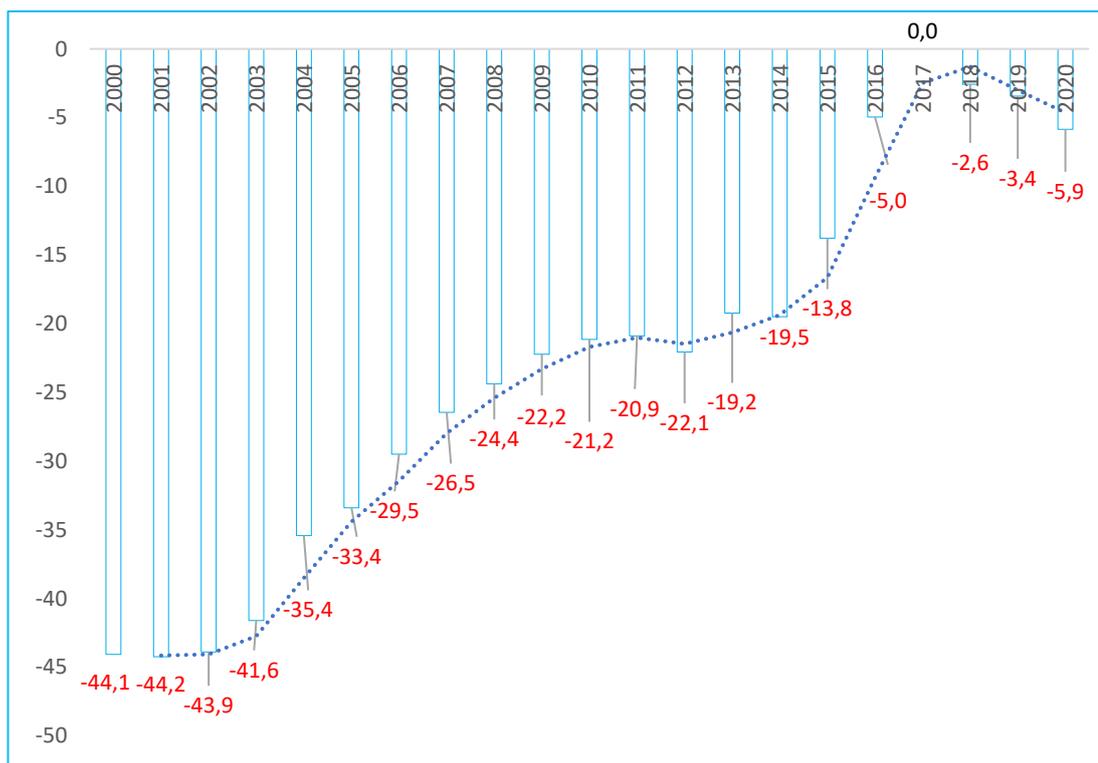
El IF en el caso búlgaro se debe a una combinación de las variaciones de los pesos energéticos y del consumo total energético. En cuanto a los pesos, ha habido un reemplazo del consumo del carbón por petróleo; entre los años 2000 y 2020, el consumo de carbón se redujo de un 41% a un 32%, mientras que el petróleo aumentó de un 28% a un 35%. El resto de variables energéticas fueron constantes en sus pesos, por esta razón el consumo energético de Bulgaria se ha intensificado en el petróleo estos últimos años. En cuanto al consumo total de energía, éste coincide con las variaciones del IF, el año 2007 fue el máximo absoluto con 205 TWh, hubo un mínimo relativo en el 2009 con 170 TWh y el mínimo absoluto coincide con el año 2020, con un consumo energético total de 150 TWh.

i) Pakistán

En tercer lugar, tenemos a uno de los países más poblados del mundo, Pakistán, país en aras de crecimiento junto a India o China. Respecto a su situación energética, la mayoría de su consumo se basa en petróleo y gas natural, y la energía hidráulica es la más relevante en el campo de las renovables.

Respecto a su matriz energética, en 2020 fue representada por un 42% proveniente del gas natural, un 25% del petróleo, un 18% del carbón, un 10% de energía hidráulica y un 5% restante de nuclear, solar y eólica. Proseguimos con la gráfica de variaciones del IF.

Figura - 23: Variaciones del índice de Fisher (IF) respecto al consumo energético de 2017 en Pakistán (en porcentaje).



Fuente: Elaboración propia a partir de la base de datos de Our World in Data

Como se puede observar en la figura 23, Pakistán experimentó un gran crecimiento energético desde el año 2002 hasta el 2017, alcanzando su máximo ese último año; tras 2017 y hasta 2020, se revirtió la tendencia hacia una de decrecimiento. Concretamente, Pakistán comenzó el año 2000 con una variación negativa del -44,1%, y tras dos años de decrecimiento, alcanzó su mínimo absoluto en el 2002 con una variación negativa del -43,9%. A partir de entonces, comienza una etapa de crecimiento continuo, salvo una excepción, en el 2012, cuando se vuelve a decrecer. Salvo ese año, la tendencia de crecimiento es absoluta, llegando a su máximo en el año base, 2017. Tras llegar al máximo, se recomienza una etapa de decrecimiento que llega a 2020 con una variación negativa del -5,9%.

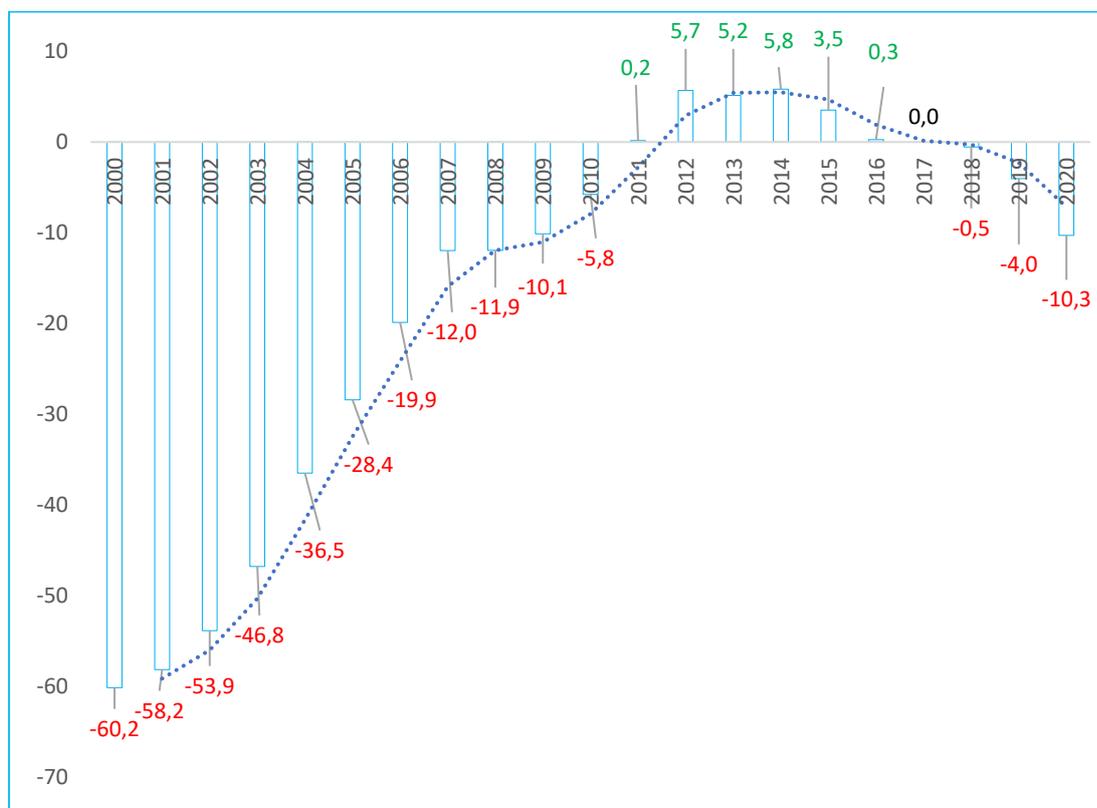
En cuanto a la trayectoria del IF, en Pakistán, ésta se debe principalmente al consumo total energético en TWh, ya que, en el caso de los pesos de las variables energéticas, el petróleo, la variable de mayor peso con diferencia, ha sido la variable que más se ha reducido. Más en detalle, entre el 2000 y el 2020, el petróleo pasó de representar un 50% del consumo energético a un 27%; mientras que el consumo del carbón aumentó de un 5% a un 19%; y el consumo de gas natural de un 40% a un 46%. El resto de variables fueron constantes. Por esta razón, el consumo total de energía en TWh es más relevante; concretamente, éste pasó de 440 TWh en el año 2000 a un máximo en el 2017 con un consumo 910 TWh, y decreciendo de nuevo hasta el 2020 con 890 TWh.

j) China

A continuación, tenemos al país que más desarrollo energético está experimentado actualmente a nivel global y al mayor consumidor de recursos energéticos, China, como cita la IEA en su informe de 2019. El país, desde hace décadas, tiene un modelo de crecimiento basado en el carbón, 65% en la matriz en 2020, del cual quieren desprenderse poco a poco y diversificar más su consumo energético a fuentes renovables, nuclear y gas natural. un proceso que iniciaron en su obertura al exterior a principios del 2000. El objetivo principal es poder lograr una reducción de emisiones y reducir la polución en el aire.

En cuanto a la matriz energética de China, en el 2020 estuvo representada por un 56,8% de consumo de carbón, un 19,6% de petróleo, un 8,2% de gas natural, un 2,8% de hidráulica, un 2,1% de eólica, un 2,2% de energía nuclear y un 1,6% de energía solar. A continuación, se muestra la figura 24 con las variaciones del IF para el caso de China entre el 2000-2020.

Figura - 24: Variaciones del índice de Fisher (IF) respecto al consumo energético de 2017 en China (en porcentaje).



Fuente: Elaboración propia a partir de la base de datos de Our World in Data

Como se puede apreciar en la figura 24, China experimentó un enorme crecimiento en el IF desde el 2000, comenzando con una variación negativa del -60,2%, hasta el 2014, con una variación positiva del 5,8%. Tras este año, sin embargo, el IF en China cambia de tendencia y comienza a decrecer sin cesar, llegando finalmente al 2020 con una variación negativa del -10,3%.

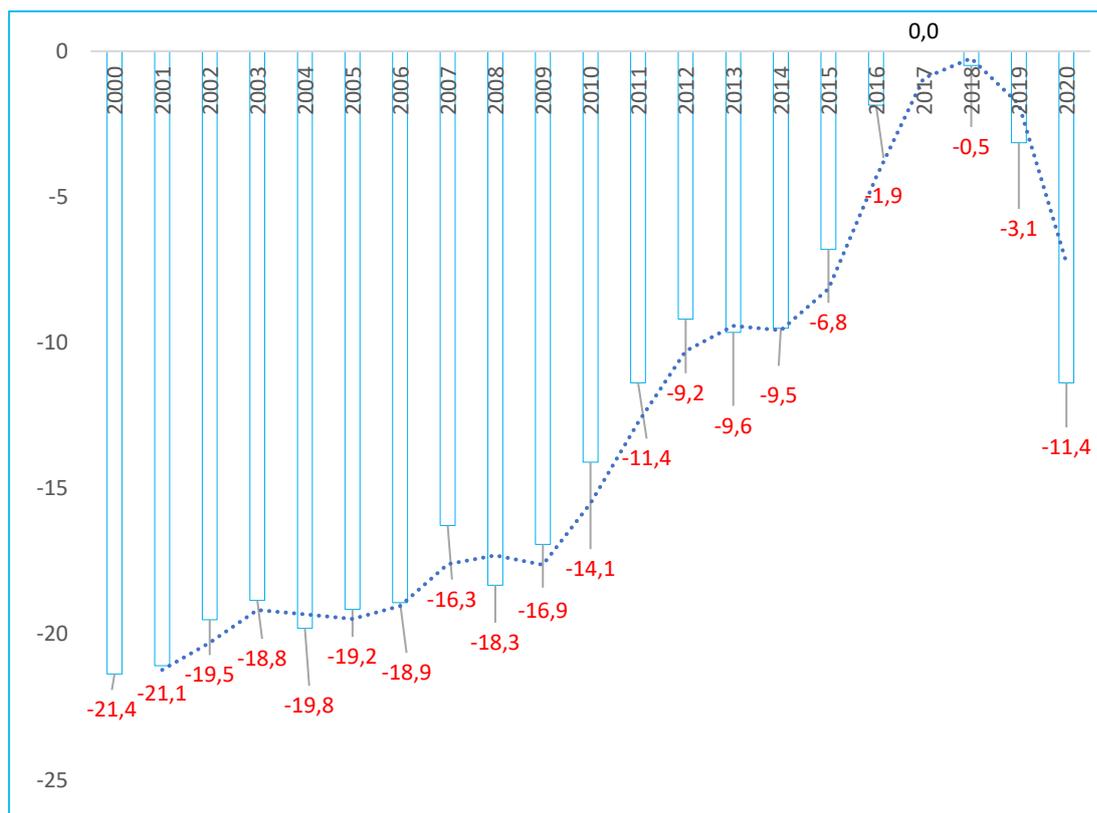
En este caso, el IF debe toda su trayectoria a la variación de los pesos en sus variables energéticas, puesto la cifra del consumo total de energía en TWh, para el caso chino, no ha parado de aumentar en estos 20 años, pasando de 11.360 TWh en el año 2000 a 36.530 TWh en el año 2020. En cuanto a los pesos, el principal recurso de China, el carbón, ha sufrido un descenso entre los años 2000 y 2020, pasando de un consumo del 72% al 63%. El consumo de gas ha aumentado de un 2% a un 9% y la energía hidráulica de un 2% a un 4%. El consumo de petróleo ha permanecido constante en un 22% y la solar, eólica y nuclear han pasado las tres de un 0% a un 1%.

k) Corea del Sur

Siendo uno de los países más desarrollados de Asia, Corea del Sur, presenta una economía que lleva creciendo a un ritmo muy acelerado desde la década de los 90, factor que ha provocado que la demanda de energía no haya cesado tampoco en estos últimos 30 años. La cual presenta un modelo energético que tiene como ejes principales el carbón y la energía nuclear según la IEA en su informe de 2019.

Más en detalle, la matriz energética surcoreana estuvo compuesta en el 2020 por un 42% de consumo de petróleo, un 26% de carbón, un 17% de gas natural, un 12% de energía nuclear y el 3% restante en energías renovables. A continuación, se muestra la gráfica de variaciones del IF para el caso de Corea del Sur.

Figura - 25: Variaciones del índice de Fisher (IF) respecto al consumo energético de 2017 en Corea del Sur (en porcentaje).



Fuente: Elaboración propia a partir de la base de datos de Our World in Data

Observando la figura 25, podemos describir que Corea del Sur ha experimentado un crecimiento continuo en su IF desde el año 2000, llegando a su máximo en el año 2017, es decir, el año tomado como base. Con mayor detalle, Corea del Sur comenzó el año 2000 con su mínimo absoluto, una variación del IF negativa del -21,4%, y pese a que la tendencia general fue la de crecimiento, en algunos años se presentaron decrecimientos, como en el 2004, 2007 y 2013. Tras llegar al 2017, Corea del Sur sufrió un decrecimiento considerable los tres años siguientes, culminando en el año 2020 con una variación negativa del -11,4%.

Que el IF de Corea del Sur haya descrito esta trayectoria se debe a una combinación de los pesos de las variables energéticas y al consumo total de energía en TWh. En el caso de los pesos, el país presentaba un consumo energético más intensivo en petróleo a principios del 2000 que en comparación al 2020, concretamente pasó de representar un 60% a un 46%. Por otra parte, el consumo de carbón y gas natural se ha intensificado; el carbón pasando de un 25% a un 29% y el gas natural de un 10% a un 19%. En cuanto a la cifra de consumo total de energía, no describe una trayectoria exacta a la del IF; el crecimiento del consumo energético total no se ve alterado en ningún año hasta su máximo en 2018, pasando de consumir 2.000 TWh en el año 2000 a 3180 TWh en el

2018. Finalmente, tras dos años de caídas, en 2020 se consumió un total de energía valorada en 2950 TWh.

l) Australia

En último lugar tenemos a Australia, uno de los países más importantes a nivel internacional en el campo de la energía, puesto que es uno de los mayores exportadores energéticos³². Esto se debe a que Australia es una de las mayores reservas de recursos naturales del mundo, además de poseer una estructura económica que le permite poder producir y exportar en grandes cantidades; de hecho, sólo Australia representa el 85,7% del PIB³³ de todo el continente de Oceanía.

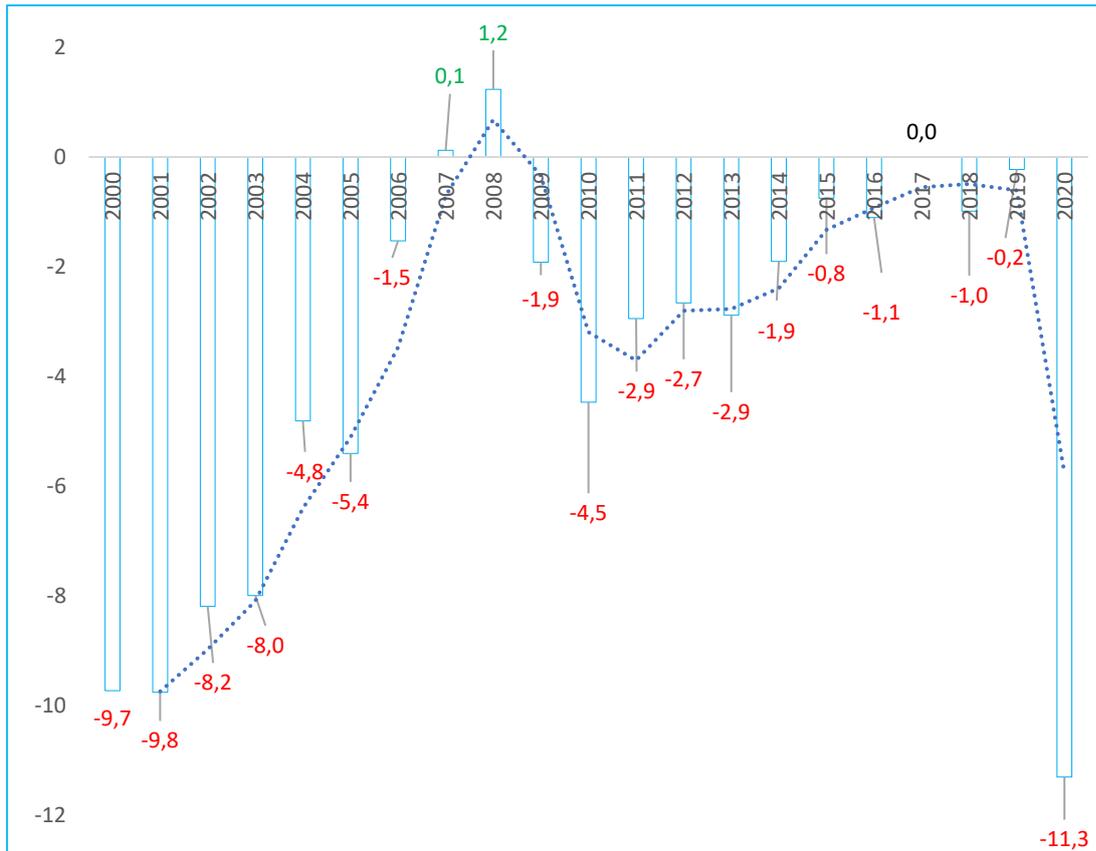
Con Australia se ha hecho una excepción a la hora de su selección, puesto que, a diferencia de los 25 países analizados, Australia no posee un consumo de energía nuclear, y, por lo tanto, no presenta todas las variables analizadas agregadas en la creación del índice. Sin embargo, debido a su importancia en el sector energético internacional, además de representar casi la totalidad de un continente, se ha decidido incluirlo en la lista.

Centrándonos más en el sector energético, Australia presentó una matriz energética en el 2020 compuesta por un 32% de consumo de petróleo, un 30% de consumo de carbón, un 26% de consumo de gas natural, un 3,8% de consumo de energía solar, un 3,6% de energía eólica, un 2,3% de energía hidráulica y un 2,3% restante de otras energías renovables. A continuación, se muestra la figura 26, que presenta las variaciones del IF para el caso de Australia entre los años 2000 y 2020.

Figura - 26: Variaciones del índice de Fisher (IF) respecto al consumo energético de 2017 en Australia (en porcentaje).

32 Según la IEA (2022), Australia fue en 2020 el mayor exportador de carbón del, con un 39,7% de las exportaciones globales; el mayor exportador de gas natural licuado (GNL), con un 22% de las exportaciones globales y el segundo exportador de uranio (por detrás de Kazajstán), con un 13% de las exportaciones globales.

33 Australia en 2017 tuvo un PIB nominal valorado en 1.300 millones de USD, mientras que todo el continente oceánico de 1.640 millones de USD.



Fuente: Elaboración propia a partir de la base de datos de Our World in Data

Observando la figura 26, podemos apreciar como Australia experimenta un gran crecimiento entre los años 2000 y 2008, pasando de una variación del IF negativa del -9,7% a una variación positiva del 1,2% respectivamente. Tras este aumento, Australia sufre un gran decrecimiento los siguientes dos años, llegando a un mínimo relativo en el 2010, con una variación negativa del -4,5%. Tras esta caída, el IF se recompone y vuelve a darse una situación de crecimiento hasta el año 2019, habiendo reducido la variación negativa del IF a tan sólo un -0,2%. Desgraciadamente con la llegada del COVID-19 en el 2020, el IF se desploma a su mínimo absoluto, llegando a una variación negativa del -11,3%.

Respecto a la trayectoria del IF en Australia, éste se explica tanto por el valor del consumo total energético en TWh como por la variación en los pesos de las variables energéticas. Respecto al valor total de consumo energético en TWh, Australia pasó de consumir un total de 1.270 TWh en el año 2000 a un máximo relativo de 1.480 TWh en el 2008. A diferencia del IF, el consumo máximo se da en el 2019 con 1.545 TWh tras un crecimiento continuo desde 2013. Finalmente, en 2020 el valor cae a 1.445 TWh. En cuanto a los pesos energéticos, el consumo de fuentes fósiles ha representado estos 20 años un 95% del consumo promedio de energía. Mientras que el petróleo ha permanecido constante

con un consumo del 35%, el carbón ha descendido, pasando de un 47% a un 32%; mientras que el consumo de gas natural ha aumentado de un 16% a un 28%. El aumento del 3 % restante ha ido en un aumento del 2% de energía eólica y un 1% de energía solar. La energía hidráulica también ha permanecido constante, representando un 1% del consumo de energía total desde el 2000 hasta el 2020.

4. Conclusiones

Tras el análisis de la evolución del consumo de energía en diferentes países del mundo mediante la elaboración de un indicador sintético, así como la identificación de diferentes patrones de consumo energético en base al análisis de la trayectoria del indicador, podemos observar que tanto la trayectoria de las variaciones del IF y de la motivación detrás de estas variaciones son diferentes en función del país analizado.

En primer lugar, está el grupo de países que muestra un crecimiento constante en las variaciones de su IF; en este grupo se encuentran Canadá, Rusia e India. Pese a que los tres países muestran matrices energéticas muy diferentes entre ellas, Canadá con una fuerte presencia de petróleo e hidráulica, Rusia con un gran consumo de gas natural e India con el carbón; los tres países comparten un factor en común, y es que, en los tres casos, las variaciones de sus respectivos IF se deben principalmente al aumento de consumo total anual en TWh, y no por variaciones en los pesos de las variables energéticas. En cuanto a las tendencias de crecimiento, India ha logrado mantener un crecimiento constante año tras año, mientras que Canadá y Rusia comparten una trayectoria muy similar, con menor consistencia en el crecimiento de las variaciones del IF y mayor volatilidad.

El segundo grupo de países corresponde con los que muestran una caída inicial en su gráfica de variaciones del IF, pero que consiguieron revertir la situación y terminaron con una situación de crecimiento. Este grupo está conformado por EE.UU y Rumanía. Ambos países mostraron una tendencia al alza en sus variaciones del IF hasta la crisis económica del 2008; sin embargo, la recuperación de EE.UU y el cambio de tendencia hacia el crecimiento fue en el año 2012, mientras que Rumanía lo hizo en 2016. Además, la caída que sufrió EE.UU en comparación a Rumanía fue menor, y su recuperación mucho mayor. Finalmente, el motivo de esta recuperación también difiere entre los países analizados, mientras que EE.UU lo ha hecho en base a un crecimiento en su consumo de energía total en TWh, Rumanía lo ha hecho gracias a la variación de los pesos de sus fuentes energéticas, principalmente por un aumento del consumo de petróleo en los últimos años.

La tercera sección de países la representan los que han mostrado una tendencia de caída continúa en sus gráficas de variación del IF. En este grupo se encuentran nueve países: Suiza, Reino Unido y República Checa, que deben su caída a una reducción continua en su consumo total de energía en TWh; Francia y Japón, cuyo decrecimiento se debe a la alteración en los pesos de sus variables energéticas; y Finlandia, Alemania, Eslovaquia

y Ucrania, por una combinación de ambos factores, reducción en el consumo total de energía en TWh y variación en su consumo de fuentes energéticas.

Finalmente, está el grupo de países que comienzan la franja temporal analizada con un crecimiento en la trayectoria de las variaciones de su IF, pero que posteriormente experimentaron un decrecimiento. Este grupo es el más extenso, conformado por doce países; en primer lugar están Argentina, Suecia, Bélgica, Holanda y Pakistán, que deben su trayectoria de las variaciones del IF a variaciones en el consumo total de energía en TWh; en segundo lugar está China como único país que está en este grupo por variaciones en la proporción de consumo de sus fuentes energéticas; y Brasil, México, España, Bulgaria, Corea del Sur y Australia por una combinación en la variación del consumo total de energía en TWh y la variación en el consumo de fuentes energéticas.

Los dos elementos más importantes a destacar de este trabajo son la trayectoria de las variaciones del IF y los motivos detrás de esa variación. Respecto al primer elemento, la trayectoria de las variaciones del IF tal y como hemos visto en el trabajo podía terminar en una situación de consumo energético superior a la de los estándares de 2017, o inferior, independientemente de si mostró al principio una situación contraria. A partir de aquí, tenemos que de los 26 países analizados, sólo 5 han demostrado tener una tendencia de crecimiento que se haya prolongado más allá del 2017, siendo éstos Canadá, Rusia, India, EE.UU y Rumanía; los 21 países restantes sin embargo, han mostrado que su situación energética ha terminado siendo peor en los años posteriores a 2017. Sin embargo, en este último grupo se pueden distinguir países que mostraron un decrecimiento temprano y unos que lo hicieron mucho más tarde; Bélgica, Holanda, Finlandia, Suecia, Suiza, Reino Unido, Alemania, Francia, España, Bulgaria, República Checa. Eslovaquia, Ucrania y Japón mostraron un cambio de tendencia al decrecimiento previa al 2010, la mayoría entre el 2007 y 2008 por la crisis económica. Por otra parte, los países como Argentina, Brasil, México, Pakistán, India, China, Corea del Sur y Australia han mostrado decrecimientos mucho más tardíos, por ejemplo, China en 2015, Brasil en 2016 y Pakistán y Corea del Sur en 2018. En líneas generales, el crecimiento de las variaciones del IF se ha prolongado más en países americanos y asiáticos que en los europeos. La razón detrás de esta diferencia puede deberse a la categorización económica de los países; los países con caídas tardías son todos países asiáticos y americanos, y en su mayoría son economías emergentes (Pakistán, India, China y Brasil por ejemplo); por otro lado, en el caso de los países con decrecimientos tempranos, son todo países europeos juntamente con Japón, países caracterizados por ser grandes potencias económicas ya desarrolladas (Alemania, Reino Unido, Francia y Japón por ejemplo).

Respecto a la motivación detrás de las variaciones del IF, el grupo de países más numeroso debe su variación del IF a una alteración en el consumo de energía total en TWh; este grupo de 12 países son Canadá, Rusia, India, EE.UU, Suiza, Reino Unido, República Checa, Argentina, Bélgica, Holanda, Suecia y Pakistán. En segundo lugar está el grupo cuya variación del IF se debe principalmente a modificaciones en la proporción del consumo de las fuentes energéticas; en esta sección sólo figuran 4 países: Rumanía, Francia, Japón y China. En último lugar están los países donde la variación de su IF es causada por una combinación de ambos factores; los 10 países de este grupo han sido: Finlandia, Alemania, Eslovaquia, Ucrania, México, Brasil, España, Bulgaria, Corea del Sur y Australia.

Tras haber analizado las tendencias de los 26 países se puede observar que la mayoría de los países estudiados han demostrado experimentar una caída en su volumen de consumo energético anual en TWh. Concretamente, de los 26 países, 16 han sufrido un decrecimiento: EE.UU, Bélgica, Holanda, Suiza, Finlandia, Suecia, Reino Unido, Alemania, Francia, España, Rumanía, Bulgaria, República Checa, Eslovaquia, Ucrania y Japón; y 10 un aumento: Argentina, Brasil, Canadá, México, Rusia, Pakistán, India, China, Corea del Sur y Australia, entre los años 2000 y 2020. Respecto a las tendencias de consumo de las variables energéticas estudiadas tenemos que, del consumo de carbón, sólo 4 países han experimentado un aumento en su consumo relativo, siendo éstos Pakistán, India, China y Corea del Sur; de los 22 países restantes, sólo 2 han mantenido su consumo constante, siendo éstos Suiza y Holanda y, finalmente, 18 han reducido su consumo de carbón: Argentina, Brasil, Canadá, México, EE.UU, Bélgica, Finlandia, Suecia, Reino Unido, Alemania, Francia, España, Rumanía, Bulgaria, Eslovaquia, En el consumo de gas natural, 19 países han aumentado su consumo de gas natural: Argentina, Brasil, México, EE.UU, Canadá, Bélgica, Suiza, Reino Unido, Francia, Alemania, España, República Checa, Rusia, Pakistán, China, Corea del Sur, Japón y Australia ; 4 países han mantenido su consumo constante: Holanda, Suecia, Bulgaria e India y sólo 4 han reducido su consumo, siendo éstos Finlandia, Eslovaquia, Rumanía y Ucrania. En el consumo de petróleo, de los 26 países, sólo 7 han aumentado su consumo: Reino Unido, Rumanía, Bulgaria, República Checa, Eslovaquia, Ucrania y Rusia; 5 han mantenido su consumo constante: Canadá, Holanda, Finlandia, China y Australia; y 14 han reducido su consumo: Argentina, Brasil, EE.UU, México, Bélgica, Suecia, Suiza, Alemania, Francia, España, Pakistán, India, Corea del Sur y Japón. En energía nuclear, el consumo de esta energía ha aumentado 14 países: Bulgaria, Canadá, EE.UU, Suiza, Finlandia, Francia, Rumanía, República Checa, Eslovaquia, Ucrania, Rusia, Pakistán, India y China; se ha mantenido constante en otros 9 países: Argentina, México, Bulgaria,

Holanda, Reino Unido, España, Bulgaria, Corea del Sur y Australia; y sólo se ha reducido en 3: Suecia, Alemania y Japón. Finalmente, en energía renovable, de los 26 países, en 22 ha aumentado al menos una de las tres fuentes analizadas, en 3 países ha permanecido constante: Eslovaquia, Ucrania y Corea del Sur; y sólo Argentina ha reducido su consumo en energías renovables, concretamente la hidráulica.

Como conclusión final del trabajo y utilizando la muestra de los 26 países estudiados, se puede contrastar que se está generando una reducción generalizada en el consumo de carbón, sólo en algunos países asiáticos se ha experimentado un aumento, probablemente al ser un recurso energético barato y de fácil acceso, ambas ventajas para economías emergentes. También se ha producido una reducción del consumo de petróleo, aunque de forma más gradual y menos intensa en comparación a la reducción del carbón, probablemente por ser un recurso más arraigado a la estructura energética de los países. De los pocos países que han visto su consumo aumentado, la mayoría son de Europa Oriental, países cuya matriz energética depende mucho más del consumo de energías fósiles que los países de Europa Occidental. El consumo de gas natural, sin embargo, se ha expandido, no sólo en número de países consumidores, sino también en el gran aumento de consumo relativo de estos 20 años analizados. Respecto a la energía nuclear, se ha visto un aumento en gran parte de los países consumidores, aunque en poca proporción y de forma gradual, y otro sector, también numeroso, que ha permanecido constante en su consumo. La razón de mostrar poco crecimiento en consumo nuclear se debe a que las centrales nucleares, plantas indispensables para poder generar energía nuclear, son proyectos muy caros que se realizan a largo plazo, por lo que el proceso de aumentar este tipo de energía es más lento. Finalmente, con las energías renovables, el crecimiento del sector es indiscutible; en casi todos los países ha aumentado en gran proporción, siendo la hidráulica la que más peso acumula y la eólica la que más se ha desarrollado. El hecho de que la energía renovable goce de un crecimiento generalizado, se debe a que, en la gran mayoría de gobiernos, tienen en sus políticas energéticas el objetivo a largo plazo de reducir emisiones, siendo el incentivo de aumentar el consumo en energías renovables su principal herramienta. Finalmente cabe mencionar que, si bien el consumo de carbón y petróleo ha aumentado en algunos países o regiones determinadas, el aumento del consumo de gas natural, energía nuclear y energía renovable se ha dado a nivel global, en países de Norteamérica, Sudamérica, Europa Occidental y Oriental, Asia y Oceanía.

En cuanto a lo que le depara el futuro al consumo de energía, es evidente que está habiendo un aumento generalizado en el consumo de gas natural, y es muy probable que este aumento prosiga en los años venideros, al ser un recurso energético clave, ya que

es constante en suplir la demanda energética y emite menos emisiones que sus contrapartes fósiles, el carbón y petróleo. Las energías que van a seguir viendo un aumento mayoritario en su consumo son las energías renovables, puesto que son la fuente principal para promover la descarbonización, un objetivo a largo plazo en numerosas políticas energéticas. Actualmente la energía renovable que más contribuye es la hidráulica con diferencia, pero es muy probable que en los años próximos la energía eólica comience a ganar más popularidad. Respecto al consumo de petróleo, la tendencia general es de un crecimiento muy gradual e incluso llegando a la estabilidad. En cuanto a la energía nuclear, pese a que ha habido una tendencia al decrecimiento por el accidente de Fukushima, varios países están cambiando de postura y la ven como una opción viable de respaldo a las energías renovables, ya que son las energías que menos emiten CO₂ y GHG. Finalmente, existe el riesgo de que futuros eventos disruptivos ocurran, como el caso de la reciente Guerra Ruso-Ucraniana. Es posible que, en función de la gravedad del evento, varios de estos países pasen de promocionar energías que respaldan la descarbonización, a consumir energías fósiles con el fin de preservar su seguridad energética en el corto o medio plazo, puesto que las energías fósiles son más baratas y accesibles. Sin embargo, la tendencia general de consumo energético que los países desarrollados seguirán en un futuro será la de seguir aumentando el consumo de gas natural y energías renovables, a costa de una reducción del consumo de carbón, y, en algunos casos, hasta del petróleo. Por último, es posible que el crecimiento gradual que se ha visto estos últimos 20 años en el consumo de energía nuclear comience a acelerarse. La razón principal se debe a que la tasa de aceptación de energía nuclear en varios países donde estaba estancada ha comenzado a crecer desde el año 2021 en países como Japón, Reino Unido, Finlandia y Alemania. Teniendo en cuenta que los objetivos a largo plazo de estos gobiernos son la reducción de emisiones de CO₂, GHG y combatir el cambio climático, es bastante probable que los países que hasta ahora habían permanecido constantes en su consumo de energía nuclear, comiencen a aumentar el consumo de la misma.

5. Bibliografía

- Animah, I., & Safiee, M. (2020). Application of risk analysis in the liquefied natural gas (LNG) sector: An overview. *Journal of Loss Prevention in the Process Industries*, 63. <https://doi.org/10.1016/j.jlp.2019.103980>
- Bahgat, G. (2006). Europe's energy security: challenges and opportunities. *International Affairs*, 82(5), 961–975. <https://doi.org/10.1111/j.1468-2346.2006.00580.x>
- Balat, M. (2007). Energy sources, part a: recovery, utilization, and environmental effects. *Energy Sources, Part A: Recovery, Utilization, and Environmental Effects*, 27(13). <https://doi.org/10.1080/15567030701225260>
- Bentley, R. (2002). Global oil & gas depletion: an overview. *Energy Policy*, 30(3), 189–205. [https://doi.org/10.1016/s0301-4215\(01\)00144-6](https://doi.org/10.1016/s0301-4215(01)00144-6)
- Best, R., & Burke, P. J. (2020). Energy mix persistence and the effect of carbon pricing. *Australian Journal of Agricultural and Resource Economics*, 64(3), 555–574. <https://doi.org/10.1111/1467-8489.12370>
- Bilgin, M. (2011). Scenarios on European energy security: Outcomes of natural gas strategy in 2020. *Futures*, 43(10), 1082–1090. <https://doi.org/10.1016/j.futures.2011.07.007>
- Cîrstea, S., Moldovan-Teselios, C., Cîrstea, A., Turcu, A., & Darab, C. (2018). Evaluating Renewable Energy Sustainability by Composite Index. *Sustainability*, 10(3), 811. <https://doi.org/10.3390/su10030811>
- Crawford, P., Perryman, J., & Petocz, P. (2004). Synthetic Indices: A Method for Evaluating Aid Project Effectiveness. *Evaluation*, 10(2), 175–192. <https://doi.org/10.1177/1356389004045076>
- Erdogan, S., Okumus, I., & Guzel, A. E. (2020). Revisiting the Environmental Kuznets Curve hypothesis in OECD countries: the role of renewable, non-renewable energy, and oil prices. *Environmental Science and Pollution Research*, 27(19), 23655–23663. <https://doi.org/10.1007/s11356-020-08520-x>
- G. Egging, R., & A. Gabriel, S. (2006). Examining market power in the European natural gas market. *Energy Policy*, 34(17), 2762–2778. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2005.04.018>

García-Álvarez, M. T., Moreno, B., & Soares, I. (2016). Analyzing the sustainable energy development in the EU-15 by an aggregated synthetic index. *Ecological Indicators*, 60, 996–1007. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2015.07.006>

Gokmenoglu, K., & Kaakeh, M. (2017). Causal Relationship between Nuclear Energy Consumption and Economic Growth: Case of Spain. *Strategic Planning for Energy and the Environment*, 37(3), 58–76. <https://doi.org/10.1080/10485236.2018.11958660>

Gupta, E. (2008). Oil vulnerability index of oil-importing countries. *Energy Policy*, 36(3), 1195–1211. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2007.11.011>

Inglesi-Lotz, R. (2016). The impact of renewable energy consumption to economic growth: A panel data application. *Energy Economics*, 53, 58–63. <https://doi.org/10.1016/j.eneco.2015.01.003>

Ishida, H. (2018). Can Nuclear Energy Contribute to the Transition Toward a Low-carbon Economy? The Japanese Case. *International Journal of Energy Economics and Policy*, 62–68.

K. Stigka, E., A. Paravantis, J., & K. Mihalakakou, G. (2014). Social acceptance of renewable energy sources: A review of contingent valuation applications. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 32, 100–106. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2013.12.026>

Koroneos, C., Spachos, T., & Moussiopoulos, N. (2003). Exergy analysis of renewable energy sources. *Renewable Energy*, 28(2), 295–310. [https://doi.org/10.1016/S0960-1481\(01\)00125-2](https://doi.org/10.1016/S0960-1481(01)00125-2)

Lenzen, M. (2008). Life cycle energy and greenhouse gas emissions of nuclear energy: A review. *Energy Conversion and Management*, 49(8), 2178–2199. <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2008.01.033>

Litvinenko, V. (2020). The Role of Hydrocarbons in the Global Energy Agenda: The Focus on Liquefied Natural Gas. *Resources*, 9(5), 59. <https://doi.org/10.3390/resources9050059>

Moran, D., & Russell, J. A. (2010). *Energy Security and Global Politics: The Militarization of Resource Management* (Reissue ed.). Routledge.

Noguera-Santaella, J. (2016). Geopolitics and the oil price. *Economic Modelling*, 52, 301–309. <https://doi.org/10.1016/j.econmod.2015.08.018>

Panwar, N. L., Kaushik, S. C., & Kothari, S. (2011). Role of renewable energy sources in environmental protection: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 15(3), 1513–1524. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2010.11.037>

- Sadorsky, P. (2009). Renewable energy consumption, CO2 emissions and oil prices in the G7 countries. *Energy Economics*, 31(3), 456–462. <https://doi.org/10.1016/j.eneco.2008.12.010>
- Sesini et al, M., Giarola, S., & Hawkes, A. D. (2020). The impact of liquefied natural gas and storage on the EU natural gas infrastructure resilience. *Energy*, 209, 118367. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2020.118367>
- Sribna et al, Y., Trokhymets, O., Nosatov, I., & Kriukova, I. (2019). The globalization of the world coal market – contradictions and trends. *E3S Web of Conferences*, 123, 01044. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/201912301044>
- Yaw Amponsah, N., Troldborg, M., Kington, B., Aalders, I., & Lloyd Hough, R. (2014). Greenhouse gas emissions from renewable energy sources: A review of lifecycle considerations. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 39, 461–475. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2014.07.087>
- Yergin, D. (2006). Ensuring Energy Security. *Foreign Affairs*, 85(2), 69. <https://doi.org/10.2307/20031912>
- Zhao, H., Liu, F., Zhang, H., & Liang, Z. (2019). Research on a learning rate with energy index in deep learning. *Neural Networks*, 110, 225–231. <https://doi.org/10.1016/j.neunet.2018.12.009>