

Intensidad energética de la economía española: pasado, presente y futuro

ROBERTO GÓMEZ-CALVET*

RESUMEN

Consumo de energía, actividad económica y emisiones de gases de efecto invernadero son fenómenos con una alta correlación estadística. La mayor parte de las emisiones son consecuencia del uso de combustibles fósiles para generar electricidad y suministrar energía a la industria y el transporte. En este artículo se analiza la intensidad energética de los distintos sectores económicos en España, comparándolos con el conjunto de la Unión Europea. Especial atención merece el sector manufacturero, pues presenta en España una ratio comparativamente más desfavorable que en el resto de los países. En el proceso de descarbonización de la economía, el fomento de las renovables intermitentes (eólica y solar) son las únicas opciones, junto al vector eléctrico y el hidrógeno como complementos imprescindibles.

1. INTRODUCCIÓN

En las dos últimas décadas se ha prestado mucha atención a la reducción de las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) por las consecuencias que su aumento tiene en el de

* Universidad Europea de Valencia (roberto.gomez-calvet@universidadeuropea.es).

la temperatura global (Pörtner *et al.*, 2022). No se discute la relación directa que hay, al menos hasta hoy, entre el desarrollo económico y el incremento de las emisiones de un amplio abanico de gases. La emisión de algunos de ellos fue notablemente limitada por sus efectos contaminantes, como es el caso del dióxido de azufre (SO₂) o el de los óxidos nitrosos (NO_x). Otros gases, si bien son inocuos, tienen un impacto probado como gases de efecto invernadero, como ocurre con el dióxido de carbono (CO₂). En este contexto, no está de más volver a analizar, como aquí se hace, las principales fuentes de emisión de GEI en España, así como su relación con la creación de riqueza.

Las emisiones de GEI tienen orígenes diversos, pero la mayor contribución procede de la quema de combustibles fósiles, principalmente hidrocarburos tales como el carbón, el petróleo y el gas natural. A ello hay que añadir las emisiones procedentes de procesos industriales que liberan dióxido de carbono CO₂ o metano (CH₄), como, por ejemplo, la industria del refino. Los sectores productivos que más contribuyen a las emisiones de GEI en España son el suministro de energía (electricidad), la industria, el transporte, la construcción y la agricultura (European Environment Agency, 2022).

Teniendo en cuenta la sustantiva asociación entre el progreso económico y social y

el consumo de energía (Lu, 2017) y dado que la mayoría de los países europeos dispone de pocos recursos energéticos tradicionales (carbón, gas natural, petróleo, uranio), es especialmente conveniente evaluar la intensidad energética de las economías europeas, es decir, la ratio entre la energía utilizada y el valor añadido bruto (VAB), pues así combinamos ambos factores en una visión conjunta de la economía. Esto es especialmente necesario para España. La comparación sectorial con los países de nuestro entorno, a su vez, nos proporciona informaciones clave para poder establecer objetivos de mejora y estrategias de futuro¹.

La cuestión de la intensidad energética se ha estudiado desde distintos puntos de vista. Azhgaliyeva, Liu y Liddle (2020) analizan los determinantes de la intensidad energética en 44 países (31 de ingresos altos y 13 de ingresos medios) y concluyen que el PIB per cápita y los precios de la energía están asociados negativamente con la intensidad energética. Asimismo, sopesan el impacto en la economía de diez medidas de política energética, concluyendo que es más relevante la duración de las políticas que su mera puesta en marcha. Medlock III y Soligo (2001) descubren un patrón en forma de U invertida en la relación entre PIB per cápita e intensidad energética: a medida que los países de ingresos bajos se industrializan, crece su intensidad energética, pero esta disminuye a medida que cae el peso de la industria pesada, intensiva en energía, aumenta el de la ligera y, aún más, aumenta el del sector servicios. A escala de la Unión Europea de los 15 (UE15), Marrero y Ramos-Real (2013) descomponen la evolución de la intensidad energética en componentes estructurales y de eficiencia, concluyendo que la mejora estructural de la intensidad energética se debe, sobre todo, a la reducción del peso de la industria, mientras que no es nada obvio que el sector servicios haya supuesto mejoras claras en términos de eficiencia.

El propósito de este artículo es múltiple. Primero, se muestran la disponibilidad de recursos y las necesidades energéticas de España. Segundo, se detalla la intensidad energética sectorial y se compara con el conjunto de la

¹ En esta línea, véase, por ejemplo, Rahman, Sultana y Velayutham (2022), un estudio que analiza las relaciones dinámicas entre intensidad energética, implantación de renovables, industrialización, urbanización y comercio internacional en veinticinco economías emergentes.

Unión Europea (UE27), subrayando las implicaciones de la comparación. Tercero, se presenta la hoja de ruta prevista para la descarbonización de la economía española con vistas a los años 2030 y 2050. Cuarto, se propone el vector eléctrico como la principal palanca para la descarbonización, contando con el hidrógeno y el almacenamiento de energía. Por último, se plantean unas conclusiones.

2. LA DEPENDENCIA ENERGÉTICA DE ESPAÑA

Contar con un suministro suficiente de energía es un requisito indispensable para el crecimiento económico. Vendría a ser una suerte de sistema cardiovascular para la economía (Boneva, 2018). Además, la seguridad y la fiabilidad de ese suministro energético son clave para el buen funcionamiento de las economías modernas y para la estabilidad del bienestar económico y social de los países. De ahí la relevancia de atender a una cuestión como la dependencia energética del exterior, que, *a priori*, puede verse como un obstáculo para el desarrollo económico (Morett Sánchez, 2021).

Una economía depende energéticamente del exterior si es incapaz de generar, con recursos propios, locales, la gran mayoría de los combustibles y la energía que precisa. La mayoría de los países menos desarrollados depende, en gran medida, de las importaciones de electricidad, gas natural, carbón y combustibles derivados del petróleo (Morett Sánchez, 2021). Una alta dependencia energética puede convertirse en un factor de inestabilidad y de supeditación económica a los intereses de otros países u otros actores foráneos. Lo esperable es que las políticas energéticas nacionales se centren en la seguridad del suministro energético, diversificando las fuentes de energía y la procedencia geográfica de estas. Por otra parte, las preocupaciones medioambientales también son un criterio, no menos importante, a la hora de definir el *mix* energético de cada país. En los últimos tiempos, los inconvenientes vinculados a la dependencia energética y al cambio climático están llevando a bastantes países europeos a sustituir las fuentes energéticas tradicionales por las renovables.

La dependencia energética de Europa se pone de manifiesto en que importa más de la mitad de la energía que utiliza. La evolución temporal tampoco llama al optimismo, pues en 1990 las importaciones netas fueron del 50 por ciento y en 2020, del 57,5 por ciento (Eurostat, 2022b). El análisis desagregado por tipo de combustibles refleja que, en 2020, el 97 por ciento de las necesidades de petróleo y sus derivados fueron cubiertas con importaciones. En el caso del gas natural, ese porcentaje fue del 83,6 por ciento. Solo en el caso de los combustibles fósiles sólidos (carbón) la dependencia exterior fue claramente más moderada, con un 35,8 por ciento. Sobra decir que las tendencias no apuntan a una reducción de la dependencia exterior en esos combustibles.

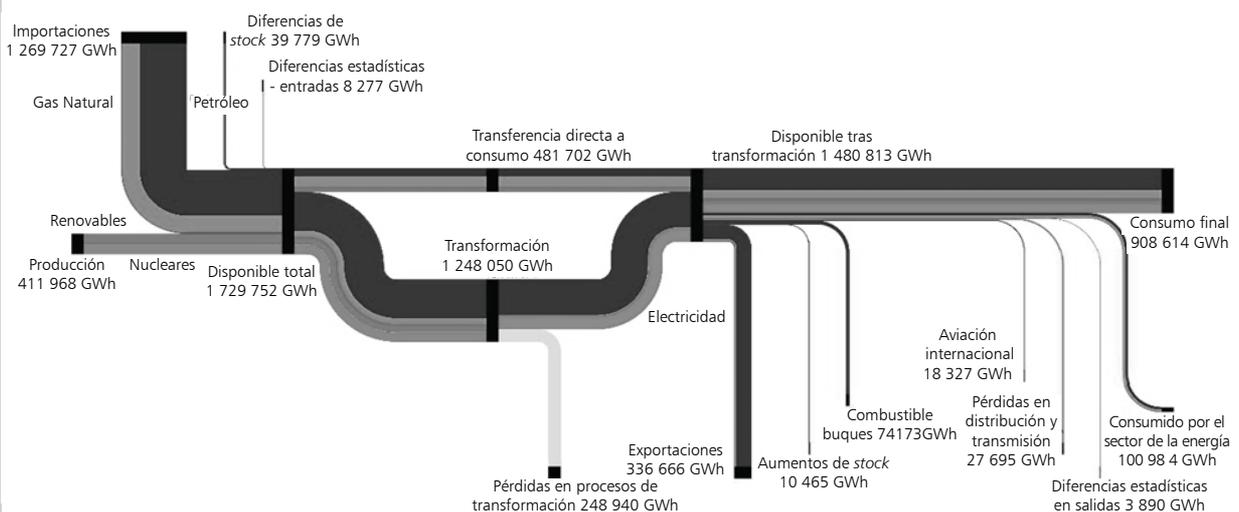
Según Enerdata (2022), el consumo de gas natural en Europa se ha mantenido en torno a los 500 o 600.000 millones de metros cúbicos en los últimos veinte años, pero en estas dos décadas el entorno de la competencia internacional por esa fuente de energía ha cambiado sustancialmente, con una creciente demanda procedente de países en proceso de crecimiento, principalmente del grupo de los BRICS (Brasil, Rusia, India, China y Sudáfrica).

En el caso español, la dependencia energética del exterior es aún mayor. Prácticamente no se extrae petróleo ni gas natural y se extrae cada vez menos carbón. Las únicas fuentes autóctonas disponibles son las energías renovables (hidráulica, eólica, solar fotovoltaica, solar térmica y biogás, principalmente) y la energía nuclear. Para una mejor comprensión de esta dependencia y su magnitud, en el gráfico 1 se recoge un diagrama Sankey de flujos de energía en España para 2020. En él se muestran las entradas y los destinos de la energía, además de las pérdidas en los procesos de transformación de energía. En 2020 la energía disponible en España fue de 1.729 TWh, siendo producida autóctonamente en un 23,8 por ciento (unos 412 TWh) e importada en un 76,2 por ciento. Merece la pena resaltar que la transformación de energía supuso unas pérdidas cercanas al 15 por ciento, asociadas principalmente a la producción de energía eléctrica y a la transformación del petróleo en combustibles aptos para vehículos y aeronaves. Tras el proceso de transformación, una cantidad notable de la energía disponible (más de 300 TWh) se exporta.

Aunque España cuenta con importantes infraestructuras para la generación de energía a

GRÁFICO 1

DIAGRAMA DE FLUJOS DE ENERGÍA EN ESPAÑA EN 2020



Fuente: Elaboración propia con la aplicación de Eurostat (<http://ec.europa.eu/eurostat/cache/sankey/energy/sankey.html>).

partir de fuentes renovables, estas están todavía lejos de poder cubrir la demanda final, representando una contribución modesta, en torno al 10 por ciento de la energía primaria necesaria. Con todo, España se sitúa entre los diez países con más contribución proporcional de las fuentes renovables a la generación de electricidad (Eurostat, 2022c). En el proceso de descarbonización de la economía, la electricidad desempeña un papel esencial, pues es el único vector energético con el grado de desarrollo suficiente para canalizar la energía generada tanto a los usos de los hogares como a los de los principales sectores económicos. El protagonismo de la electricidad en la transición energética será discutido en la sección 5. En la sección 3 se profundiza, para el caso español, en el consumo de energía y la generación de valor para cada uno de los sectores. Además, se presentará un análisis comparado con el conjunto de países de la Unión Europea.

3. INTENSIDAD ENERGÉTICA SECTORIAL

Un objetivo deseable sería el de desacoplar el consumo final de energía y el crecimiento económico, de modo que una mayor producción no requiera un aumento del consumo de energía en la misma proporción. En este sentido, la evolución de España es favorable, como a continuación se detalla. La penúltima crisis económica redundó en una caída del 7 por ciento en el PIB español entre 2008 y 2014, lo cual, a su vez, provocó una caída del 20 por ciento en el consumo final de energía. De 2014 a 2018 la economía repuntó un 15 por ciento, y el consumo final de energía creció un 10 por ciento. Desde 2008 a 2019, los datos sugieren que España ha conseguido desvincular el crecimiento económico y el consumo energético. Según un reciente informe de la Agencia Internacional de la Energía (IEA, 2021: 55), España presentó en 2019 una intensidad energética de 48 TEP (toneladas equivalentes de petróleo) por millón de dólares en PPC, frente a una media ponderada de 62 para el resto de los miembros de la AIE.

El consumo de energía se distribuye de manera desigual entre los distintos sectores productivos. En esta sección se analiza la demanda energética de esos sectores y su relevancia en la generación de valor añadido en España. El análisis

compara el caso español con la media de la UE27 para identificar los sectores con intensidades “demasiado” elevadas como los que presentarían ventajas potenciales.

La intensidad energética es un indicador de la cantidad de recursos energéticos que necesita un país (o un sector) para producir bienes y servicios. Es el cociente entre el consumo energético final y el valor añadido bruto (o el PIB) y se interpreta como las unidades de energía necesarias para producir una unidad de riqueza. Se trata de una medida de productividad económica. Una intensidad elevada apunta a elevados costes en la “conversión” de energía en riqueza y, por tanto, sería señal de una economía energéticamente voraz. Por razones de productividad, es razonable reducir la intensidad energética, siempre que la misma o mayor producción se alcance consumiendo menos energía. No obstante, también es razonable que ciertos sectores presenten intensidades altas, como el de la producción de energía eléctrica, pues gestionan un bien estratégico y bastante distinto de los producidos en el resto de las ramas de actividad.

Como se ha afirmado más arriba, la evolución de la intensidad energética de un país depende de los cambios en su estructura económica y de las variaciones en la eficiencia energética. La disminución, en términos absolutos o relativos, de la actividad económica en sectores intensivos en energía, como la siderurgia, y el crecimiento de sectores menos intensivos en energía, como los servicios, reducen la intensidad energética sin que tenga por qué producirse una mejora en la eficiencia. Por tanto, no tiene sentido comparar la intensidad energética entre sectores, pero sí lo tiene analizar la evolución de la intensidad energética en cada sector, pues reflejará mejoras o empeoramientos en su eficiencia.

En el cuadro 1 se recoge la intensidad energética de las grandes ramas de actividad de la economía española, en la forma de una media para el periodo 2014-2019, acompañada de la desviación típica de esa intensidad en dicho periodo. Se incluye también un parámetro que relaciona la intensidad energética de cada rama con la desviación típica. Se trata del coeficiente de variación (CV), que permite comparar la volatilidad de la intensidad energética de las distintas ramas. Un CV alto indica que la intensidad sectorial es más volátil.

CUADRO 1

INTENSIDAD ENERGÉTICA DE LA ECONOMÍA ESPAÑOLA, POR RAMAS DE ACTIVIDAD (2014-2019)

		<i>Intensidad energética (kJ / euro)</i>			
<i>Código</i>	<i>Descripción (CNAE 2009, revisión 2)</i>	<i>Media (1)</i>	<i>Desviación típica (2)</i>	<i>Coefficiente de variación (2/1 x 100)</i>	<i>VAB (millones de euros de 2005)</i>
Total	Total	12,3	0,3	2,1	915.833
A	Agricultura, ganadería, silvicultura y pesca	10,9	0,3	2,9	32.872
B	Industrias extractivas	380,9	99,3	26,1	1.942
C	Industria manufacturera	49,3	0,5	1,0	114.456
D	Suministro de energía, gas, vapor y aire acondicionado	183,3	10,2	5,6	18.764
E	Suministro de agua, actividades de saneamiento, gestión de residuos y descontaminación	3,1	0,2	5,4	7.731
F	Construcción	1,4	0,2	12,4	60.578
G	Comercio al por mayor y al por menor; reparación de vehículos de motor y motocicletas	1,0	0,2	19,0	122.134
H	Transporte y almacenamiento	16,2	0,6	3,8	38.613
I	Hostelería	1,2	0,3	23,2	53.141
J	Información y comunicaciones	0,3	0,0	12,8	51.363
K	Actividades financieras y de seguros	0,5	0,0	7,7	32.534
L	Actividades inmobiliarias	0,2	0,0	22,3	99.552
M	Actividades profesionales, científicas y técnicas	0,4	0,0	12,6	45.207
N	Actividades administrativas y servicios auxiliares	0,3	0,0	14,0	35.773
O	Administración pública y defensa; Seguridad Social obligatoria	1,1	0,1	12,5	57.402
P	Educación	0,6	0,0	5,2	44.432
Q	Actividades sanitarias y de servicios sociales	0,8	0,0	4,6	55.270
R	Actividades artísticas, recreativas y de entretenimiento	0,7	0,1	14,7	20.508
S	Otros servicios	0,8	0,1	13,6	15.832

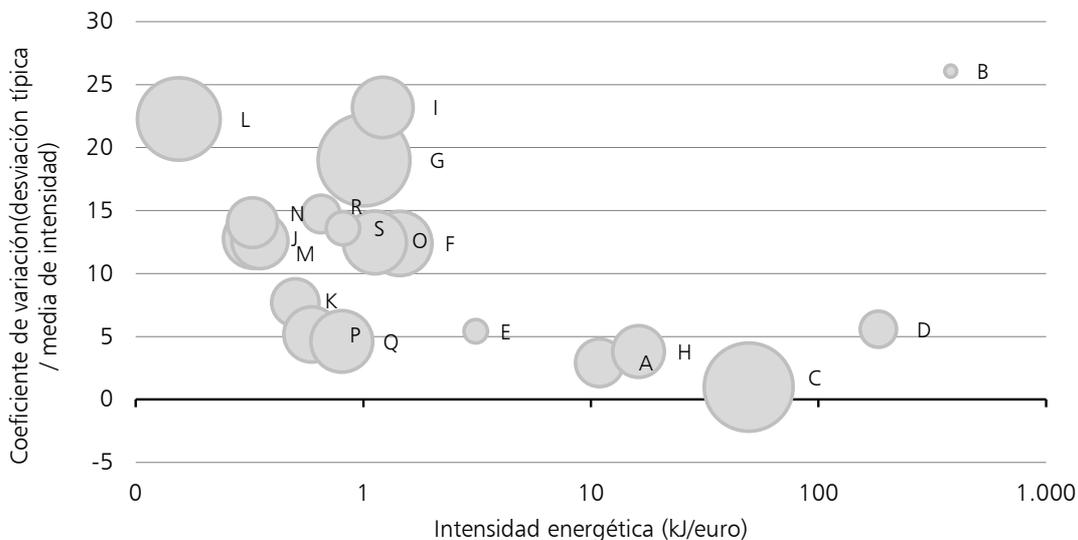
Fuente: Elaboración propia con datos de Eurostat (2022d; 2022e).

En el gráfico 2 se presenta, utilizando los datos del cuadro 1, la relación entre la intensidad energética de esas ramas de actividad y su volatilidad (el coeficiente de variación), mostrando, asimismo, el tamaño de cada rama en términos de su VAB (el medio del periodo 2014-

2019). Cuanto más a la izquierda y hacia abajo se encuentra el círculo que representa cada rama, mayor productividad energética (menor intensidad) y menor variabilidad. El tamaño del círculo refleja la relevancia de cada rama para el conjunto de la economía.

GRÁFICO 2

INTENSIDAD ENERGÉTICA: NIVEL Y VARIABILIDAD, POR RAMA DE ACTIVIDAD (ESPAÑA, MEDIA DEL PERIODO 2014-2019) (*)



(*) Eje horizontal en escala logarítmica. El tamaño de los círculos es proporcional al VAB de cada sector. Las letras que acompañan a cada círculo son los códigos de la CNAE (véase cuadro 1).

Fuente: Elaboración propia con datos de Eurostat (2022d; 2022e).

Entre las ramas con mucho VAB y con más volatilidad estarían algunas del sector servicios, como el comercio (G), la hostelería (I) y las actividades inmobiliarias (L), pero las tres presentan una baja intensidad energética. Las industrias extractivas (B) presentan la mayor intensidad energética y la mayor volatilidad, pero su volumen de actividad es bajo, por lo que lo que ocurra en esta rama no es preocupante.

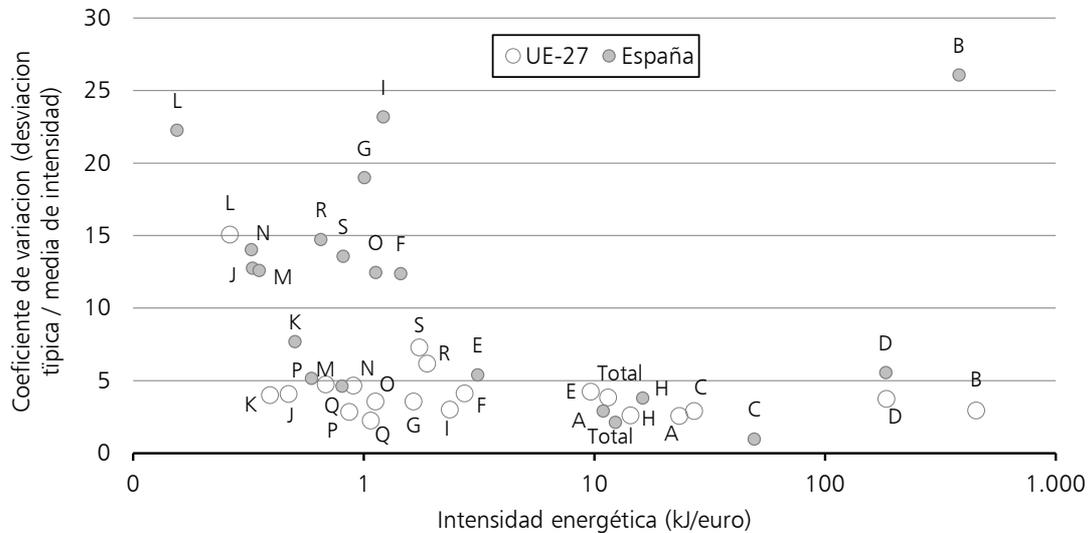
También cabe mencionar el caso del sector primario (A), que muestra una volatilidad baja y una intensidad relativamente alta, aunque esto último muy probablemente se deba a una generación de valor comparativamente pequeña.

Más interés tiene lo que ocurra en las ramas siguientes, todas con una alta intensidad energética y una baja volatilidad. Es el caso de la industria manufacturera (D), un sector con un VAB de cierto tamaño y muy relevante en cualquier economía. Lo mismo cabe decir

de la generación de energía (D) y el transporte (H), ramas con un VAB de cierto tamaño, pero que son relevantes, sobre todo, de cara al control de las emisiones de GEI. Según la AIE (IEA, 2022), la generación de energía y el transporte representan más de dos tercios de las emisiones totales a escala mundial. Por ello, las medidas que se adopten para mejorar la eficiencia energética en ambos campos (generación de energía y transporte) tendrán un gran impacto. La baja volatilidad en las tres ramas apunta a que reducir su intensidad energética será especialmente complicado, lo cual representa un reto especialmente difícil para España: recordemos que su intensidad energética dobla la media europea.

En el gráfico 3 se presenta la misma comparación del gráfico 2, pero incluyendo los datos del conjunto de la UE27 y sin mostrar el tamaño de las ramas de actividad. Veamos qué ocurre con dos de las ramas más intensivas energéticamente, el suministro de energía,

GRÁFICO 3

INTENSIDAD ENERGÉTICA: NIVEL Y VARIABILIDAD, POR RAMA DE ACTIVIDAD (ESPAÑA Y UE27, MEDIA DEL PERIODO 2014-2019) (*)


(*) Eje horizontal en escala logarítmica. Las letras que acompañan a cada círculo son los códigos de la CNAE (véase cuadro 1).

Fuente: Elaboración propia con datos de Eurostat (2022d; 2022e).

gas, vapor y aire acondicionado (D) y la industria manufacturera (C). En cuanto al primero, la intensidad energética es similar en España y en el conjunto de la UE27, pero la variabilidad es algo mayor en España. En cuanto al segundo, el caso español es preocupante, pues su intensidad energética casi duplica la media europea y, además, es un sector relevante por su VAB en la economía nacional. Una rama con datos positivos de intensidad energética para España es la de suministro de agua, saneamiento y gestión de residuos (E), pero esta rama representa una proporción muy pequeña del VAB total. Esa "ventaja" española también se observa en las siguientes ramas: la agricultura (A), el comercio (G), las actividades inmobiliarias (L) y la hostelería (I), con intensidades medias cercanas a la mitad de la de dichas ramas a escala de la UE27 y con un tamaño económico conjunto más que apreciable. En general, la intensidad energética en el sector servicios español es inferior a la que puede medirse a escala de la UE27, pues, de las trece ramas, diez presentan una intensidad más baja.

4. HOJA DE RUTA DE LA DESCARBONIZACIÓN

La intensidad energética no incorpora información sobre las externalidades medioambientales derivadas del consumo o la producción de energía. Un desarrollo económico sostenible exige tomar en consideración las consecuencias a largo plazo de optar por una u otra combinación de fuentes en nuestro planeta. Dado que tres de cada cuatro toneladas de GEI se originan en el sistema energético, su descarbonización es la piedra angular de la transición energética.

En el ámbito de la energía, la UE no se enfrenta solo al problema de los GEI, sino a desafíos adicionales de gran calado y urgencia: la creciente dependencia de las importaciones, los riesgos de seguridad asociados a la importación de energía motivados por la inestabilidad política o por las delicadas relaciones con los países productores y de tránsito, los precios elevados y volátiles de la energía, o una demanda mundial de energía en aumento. Estas amenazas han llevado a la UE a establecer cinco obje-

tivos prioritarios (Comisión Europea, 2015): el primero, diversificar las fuentes de energía y garantizar la seguridad energética a través de la solidaridad y la cooperación entre los Estados miembros; el segundo, garantizar el funcionamiento de un mercado interior de la energía plenamente integrado, fomentando el libre flujo de energía en toda la Unión a través de infraestructuras adecuadas y sin barreras técnicas o reglamentarias; el tercero, mejorar la eficiencia energética, reducir la dependencia de las importaciones de energía, reducir las emisiones y promover el empleo y el crecimiento; el cuarto, la descarbonización de la economía y el avance hacia la neutralidad climática para 2050; y el quinto, impulsar la investigación en tecnologías energéticas limpias y bajas en carbono. Estas medidas están orientadas a acelerar la transición energética y mejorar la competitividad de las economías europeas.

Se ha definido un marco de actuación general europeo, pero, dentro de ese marco, cada Estado tiene derecho a determinar las condiciones de explotación de sus recursos energéticos, de elegir entre distintas fuentes de energía y la estructura general de su abastecimiento energético. En realidad, en el llamado Pacto Verde Europeo (European Commission, 2019) las principales líneas de acción en los ámbitos de energía, clima, diversificación y transporte tienen como denominador común el endurecimiento de las normas en materia de emisiones de CO₂; de ahí que la descarbonización ocupe una posición preferente en los planes nacionales de energía y clima. En el caso español, se denomina Plan Nacional Integrado de Energía y Clima (PNIEC) y sus líneas principales se analizan más adelante.

El problema del cambio climático afecta a todo el planeta, por lo que exige actuar concertadamente a escala global. En junio de 1992, países de todo el mundo se reunieron en Río de Janeiro en la Convención Marco de Naciones Unidas sobre Cambio Climático, conocida coloquialmente como Cumbre de Río o de la Tierra, y adoptaron un gran acuerdo para sentar las bases de una política global que permitiera el desarrollo sostenible del planeta y evitara las interferencias peligrosas en el clima. Ese primer paso no aclaraba los objetivos concretos ni el reparto de esfuerzos en medidas de mitigación y de adaptación. Los firmantes (las “partes”) se han embarcado en arduas negociaciones para

concretar los compromisos. Las decisiones se adoptan en las Conferencias de las Partes, conocidas por sus siglas en inglés, COP, que se celebran con una periodicidad casi anual desde 1995. La última ha tenido lugar en Sharm El-Sheikh (Egipto), en noviembre de 2022. De todas, merecen especial atención dos: la COP3 (Kioto, 1997) y la COP15 (París, 2015). Ambas resultaron en dos grandes acuerdos, el Protocolo de Kioto y el Acuerdo de París.

En el Protocolo de Kioto las partes acordaron reducir las emisiones de seis GEI (dióxido de carbono, metano, óxido nitroso, hidrofluorocarbonos, perfluorocarbonos y hexafluoruro de azufre), al menos un 5 por ciento en 2008-2012 en comparación con los niveles de 1990. Por su parte, el Acuerdo de París estableció tres objetivos concretos: (1) mantener el aumento de la temperatura media mundial por debajo de los 2 °C con respecto a los niveles preindustriales y proseguir los esfuerzos para limitar ese aumento a 1,5 °C, argumentando que ello reduciría considerablemente los riesgos y los efectos del cambio climático; (2) aumentar la capacidad de adaptación a los efectos adversos del cambio climático y promover la resiliencia al clima y un desarrollo con bajas emisiones de GEI, de un modo que no comprometa la producción de alimentos; y (3) asegurar la coherencia entre las inversiones y un modelo de crecimiento compatible con una trayectoria que conduzca a un desarrollo resiliente al clima y con bajas emisiones de GEI. Cada una de las partes decidirá sus propias aportaciones a la consecución de esos objetivos. La UE, en concreto, ha solicitado a cada Estado miembro la elaboración de un Plan Integrado de Energía y Clima para el periodo 2021-2030. Todos ellos servirán a la Comisión para determinar el grado de cumplimiento conjunto.

La UE se ha comprometido a lograr la neutralidad climática en 2050², para lo cual será necesaria la transformación de la sociedad y de la economía europeas, tal como se recoge en el Pacto Verde Europeo, y, como paso previo, ha asumido objetivos aún más ambiciosos que los anteriores, comprometiéndose a reducir las emisiones de GEI, al menos, un 55 por ciento de aquí a 2030. El anterior compromiso era de reducirlas en un 30 por ciento.

² Entendemos por neutralidad climática la situación en la que las emisiones netas de GEI se equilibran y son iguales o menores que las que se eliminan a través de su absorción natural en la biosfera.

El PNIEC español refleja el compromiso y la contribución al esfuerzo internacional y europeo por combatir la crisis climática, identificando retos y oportunidades en las cinco dimensiones marcadas por la UE: la descarbonización, la eficiencia energética, la seguridad energética, el mercado interior de la energía y la investigación, innovación y competitividad. El PNIEC es un modo de enviar las señales adecuadas a los agentes implicados para proporcionarles certidumbre y una clara orientación sobre la senda de la descarbonización de la economía. Las medidas contempladas en el PNIEC aspiran a conseguir en 2030 los siguientes resultados: un 23 por ciento de reducción de las emisiones de GEI respecto a las de 1990, un 42 por ciento de contribución de fuentes renovables sobre el consumo final de energía, un 39,5 por ciento de mejora de la eficiencia energética, y un 74 por ciento de energía renovable en la generación eléctrica (Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico, 2021). Las directrices del PNIEC han quedado reflejadas en la Ley 7/2021, de 20 de mayo, de cambio climático y transición energética, que otorga rango de ley a los objetivos del Acuerdo de París.

Tal como se ha señalado, la generación de electricidad y el transporte son los sectores más intensivos en el uso de energía y los que emiten mayor cantidad de GEI. Por tanto, ambos tendrían que ser los protagonistas del proceso de transición energética. En el caso de la generación eléctrica, el PNIEC establece el objetivo del abandono progresivo del carbón y la incorporación de fuentes renovables. En el caso del transporte, se trata de conseguir el cambio hacia modos de movilidad de bajas emisiones (vehículo eléctrico). Alguno de esos objetivos se está logrando, como prescindir del carbón como fuente de energía primaria, pero otros permanecen en la agenda.

Los objetivos marcados por la UE son muy ambiciosos. Hay que tener en cuenta, además, la coyuntura geopolítica, económica y energética actual, que ha situado a la UE en una posición muy delicada, en particular por la reducción de las importaciones de gas ruso y el gran encarecimiento de las importaciones de gas y de petróleo. Estos y otros factores han provocado un incremento sin precedentes en los precios de

CUADRO 2

ESPAÑA. POTENCIA INSTALADA PREVISTA EN EL PNIEC (ESCENARIO OBJETIVO CON HORIZONTE 2030) (MW)

	2015	2020	2025	2030
Eólica (terrestre y marina)	22.925	28.033	40.633	50.333
Solar fotovoltaica	4.854	9.071	21.713	39.181
Solar termoeléctrica	2.303	2.303	4.803	7.303
Hidráulica	14.104	14.109	14.359	14.609
Bombeo mixto	2.687	2.687	2.687	2.687
Bombeo puro	3.337	3.337	4.212	6.837
Biogás	223	211	241	241
Otras renovables	0	0	40	80
Biomasa	677	613	815	1.408
Carbón	11.311	7.897	2.165	0
Ciclo combinado	26.612	26.612	26.612	26.612
Cogeneración	6.143	5.239	4.373	3.670
Fuel y fuel/gas (territorios no peninsulares)	3.708	3.708	2.781	1.854
Residuos y otros	893	610	470	341
Nuclear	7.399	7.399	7.399	3.181
Almacenamiento	0	0	500	2.500
Total	107.176	111.829	133.803	160.837

Fuente: Elaboración propia con datos del Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico (2021).

la electricidad, con un gran impacto en la inflación, y han aumentado las dudas sobre la seguridad del suministro energético. Las señales transmitidas mediante los precios constituyen la mejor fuente de información y apuntan a la necesidad de aumentar la independencia energética del exterior. A su vez, los altos precios han llevado a evaluar con más detalle los costes de oportunidad de la inversión en renovables y a mejorar la rentabilidad esperada de estas.

Centrando la atención en el sector de la energía y, en concreto, el de la electricidad, los objetivos del PNIIEC enfatizan la promoción de las fuentes renovables intermitentes, como la eólica y la solar fotovoltaica. Así se observa en el cuadro 2. En el caso de la generación fotovoltaica se prevé que la potencia instalada en 2030 multiplique por ocho la de 2015. En el caso de la eólica, se prevé duplicar la potencia instalada. Ambos desarrollos ayudarían a mejorar la independencia energética española, pero todavía serían insuficientes para conseguir la descarbonización del transporte.

5. EL VECTOR ELÉCTRICO: OPORTUNIDADES Y LIMITACIONES

La transición hacia una economía descarbonizada implica prescindir de combustibles fósiles con un profundo arraigo en la industria y en otros consumidores finales. Lo cual implica unas inversiones en otras fuentes de energía, como las renovables, cuyo retorno de mercado a corto plazo no es tan atractivo como las alternativas de negocio convencionales. No obstante, no todos los factores que condicionan las inversiones son económicos, sino que también los hay asociados a las políticas energéticas y a cómo se reducen los riesgos de la inversión, por ejemplo, mediante subvenciones públicas.

De cualquier forma, una transición tal requiere de una etapa incuestionable de mejora de la eficiencia, que redunde en una menor necesidad futura de recursos y una menor necesidad de inversiones futuras, aun manteniéndose o aumentándose la producción de bienes y servicios. De forma complementaria, habrá que

establecer un camino realista hacia la sustitución de combustibles fósiles por otros sin emisiones de GEI, sin olvidar que la electricidad estará en el corazón de esta transformación, por varios motivos. En primer lugar, casi todas las tecnologías renovables están pensadas para producir electricidad. Es el caso de la solar, la eólica y la hidráulica; no debemos olvidar que el almacenamiento hidráulico es hoy la única tecnología con capacidad masiva disponible. En segundo lugar, las políticas de casi todos los países europeos están promoviendo la electrificación de la industria, el transporte y la construcción, en la línea de las recomendaciones de la AIE (IEA, 2020). En tercer lugar, los mercados de la electricidad son cada vez más complejos, debido a la necesidad de integrar las renovables intermitentes, a la descentralización de la generación y a la profunda transformación en los tipos de costes del sector. Es decir, el desarrollo masivo de fuentes renovables implica unas inversiones por kW en activos fijos (CAPEX) muy superiores a las que requieren las fuentes convencionales, aunque tienen un coste de operación por kWh (OPEX) muy bajo.

Los costes operativos de la generación de electricidad están bajando drásticamente con la mayor presencia de la eólica y la solar. Sin embargo, sin la posibilidad de almacenamiento a gran escala, los costes de integración de la energía renovable intermitente en la red van creciendo a medida que aumenta la penetración de estas fuentes. En el caso particular de España, los mayores costes de integración han aflorado con el uso del gas en las horas en que se precisa una respuesta rápida del sistema, como el atardecer, cuando el único recurso disponible son las centrales de ciclo de gas y ciclos combinados. Estos cambios estructurales en la generación eléctrica cuestionan seriamente la forma en la que se están determinando en los mercados los precios de la electricidad. Prueba de ello han sido las altas volatilidades y los elevados precios que se han alcanzado en España y en Europa en el verano de 2022, y que han proporcionado unos beneficios inesperados a las fuentes de generación renovable (los conocidos como “beneficios caídos del cielo”). En esta línea, Hogan (2022) estima que los mercados de electricidad actuales resultan competitivos cuando la energía se genera con fuentes térmicas convencionales y costes variables crecientes, pero son menos eficientes cuando se introducen fuentes renovables con costes marginales muy

bajos. En este sentido, los mercados de electricidad deben ser coherentes con estas singularidades y rediseñarse para evitar situaciones de alta volatilidad en las que la práctica ausencia de costes variables puede hundir precios o llevar a beneficios desorbitados cuando se requiere de fuentes fósiles para proporcionar la necesaria flexibilidad.

Es, pues, necesario revisar las reglas establecidas en los mercados de electricidad para preservar la equidad y realizar un justo reparto de beneficios y costes. La práctica ausencia de costes operativos de las fuentes renovables, sobre todo en comparación con otras fuentes, supone una ventaja no exenta de riesgos. En un escenario con alta penetración de renovables no gestionables (los casos de la solar y la eólica) la capacidad de generación es muy inelástica frente a las oscilaciones de la demanda, lo que se traduce en grandes oscilaciones de los precios por la escasez de gas. Una transición hacia ese tipo de renovables debe venir acompañada de soluciones de almacenamiento o del uso de vectores energéticos como el hidrógeno, pues sin ellos no se pueden mantener entornos sostenibles y con garantía de suministro.

Entre los sistemas de almacenamiento de energía eléctrica actuales hay distintas posibilidades con diversos grados de desarrollo y coste. Los que tienen más capacidad a fecha de hoy son los almacenamientos mecánicos, entre los cuales, el bombeo hidráulico en centrales reversibles es el más extendido. Otras alternativas son los sistemas electroquímicos (baterías), los eléctricos (condensadores, supercondensadores y superconductores), las células de combustible³ (químicos) y los sistemas térmicos (que hacen uso del calor latente por cambio de fase). En el gráfico 4 se muestra la capacidad mundial instalada, a la altura de 2018, de los principales sistemas. Como se puede observar, las diferencias entre el bombeo hidráulico y el resto de los sistemas es amplísima, de dos órdenes de magnitud con respecto a la segunda tecnología por capacidad. No obstante, esta

³ Se conoce como célula o celda de combustible al dispositivo electroquímico que transforma de forma directa la energía química en energía eléctrica. La reacción tiene lugar en una celda con ayuda de un catalizador.

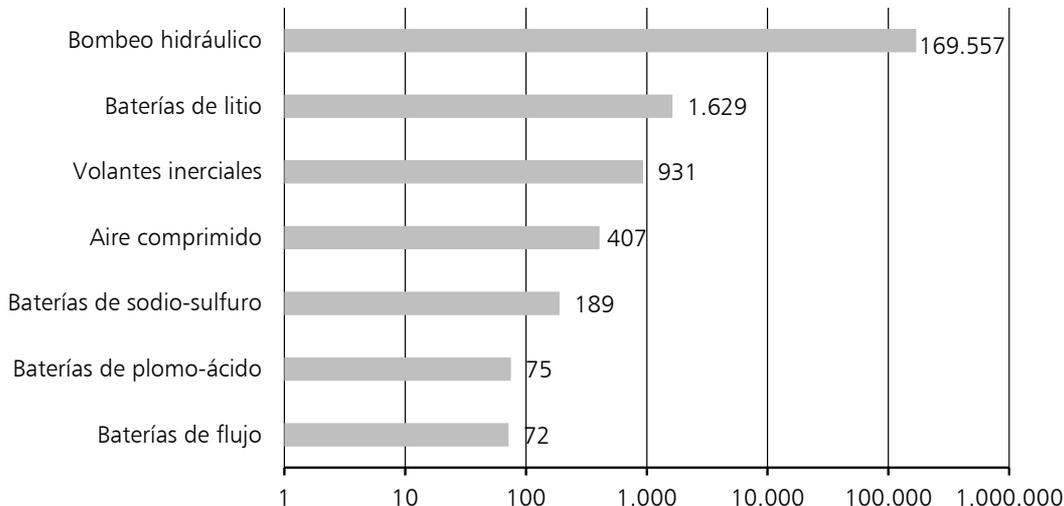
potencia representa una fracción mínima de la potencia instalada total en el mundo.

Conscientes de la necesidad de complementar el desarrollo del vector eléctrico con sistemas de almacenamiento adecuados, se están investigando nuevas formas de almacenamiento que puedan tanto dar servicio al transporte, como mitigar las variaciones estacionales de la producción eléctrica. Por ahora, la propuesta más viable parece ser la del hidrógeno generado por hidrólisis del agua con electricidad de origen renovable, lo que denominan “hidrógeno verde”. Su ventaja radica en que puede ser usado como combustible convencional no contaminante y cuyo único residuo es agua, y también puede ser utilizado en pilas de hidrógeno que producen directamente electricidad y agua. Actualmente el hidrógeno se usa en la fabricación de fertilizantes, en la industria química y en refinerías, y la mayor parte se obtiene a partir de hidrocarburos (principalmente gas natural). La posibilidad de producir hidrógeno por electrolisis del agua es la más prometedora, en un marco de gran preocupación por las emisiones de GEI y las consecuencias del cambio climático: la única alternativa sostenible sería la de aprovechar la sinergia entre las renovables intermitentes y el hidrógeno como almacenamiento y como combustible de sustitución para los vehículos.

La transición al hidrógeno necesita de tiempo para madurar y ser precedida de la electrificación de las aplicaciones de consumo final. Además, desarrollar una red específica de distribución de hidrógeno requeriría de grandes inversiones. Se trata, pues, de una solución complementaria y adecuada para países con alta presencia de fuentes renovables intermitentes. A título informativo, el hidrógeno producido a través de renovables tiene un coste entre 1,5 y 5 veces superior al del hidrógeno obtenido a partir del gas natural (IRENA, 2019). Además, la eficiencia de conversión de energía en hidrógeno, su transporte y conversión posterior a electricidad es baja, por lo que reducir todas esas mermas es vital para poder competir como alternativa viable al uso de combustibles fósiles.

GRÁFICO 4

CAPACIDAD MUNDIAL INSTALADA DE LOS PRINCIPALES SISTEMAS DE ALMACENAMIENTO DE ENERGÍA (2018, MW) (*)



(*) Eje horizontal en escala logarítmica.

Fuentes: Elaboración propia con datos de Mongird *et al.* (2019). Para más información sobre almacenamiento, véase Gómez-Calvet, Gómez-Calvet y Martínez-Duart (2020).

6. CONCLUSIONES

Energía y medio ambiente son dos asuntos de plena actualidad y que, seguro, continuarán en primera posición de las agendas de gobiernos y medios de comunicación en los próximos años o lustros. La preocupación por el cambio climático y por sus consecuencias a largo plazo han situado el concepto de sostenibilidad en el centro de las estrategias de política energética. Como señaló el Informe Brundtland (World Commission on Environment and Development, 1987), las decisiones han de imbricarse en una estrategia de largo plazo y tomarse desde una perspectiva multidimensional. Entre las dimensiones en cuestión, tres concentran las preocupaciones actuales: el cambio climático, las tensiones geopolíticas y, no con menor importancia, el impacto de la problemática energética en la economía. Sobra decir que las tres están estrechamente entrelazadas y que las decisio-

nes futuras habrán de salvaguardar el necesario equilibrio entre ellas.

Este artículo contribuye con su análisis a ese mensaje de equilibrio. Propone un análisis de la intensidad energética por sectores que sirva para descubrir problemas, pero también referentes de mejora. Solo así se pueden establecer métricas e incentivos para mejorar la eficiencia y la generación de valor. En el caso español, el análisis de la intensidad energética sectorial, en comparación con la europea, revela una industria manufacturera con intensidad alta y coeficiente de variación bajo, lo que significa que, en el periodo de seis años estudiado, el balance entre la energía consumida y el valor generado siempre es peor que el correspondiente a la media de la UE. Lo que ocurre con la industria manufacturera representaría un obstáculo de cierta consideración para la mejora de la intensidad energética necesaria para reducir nuestra dependencia energética del exterior, reducir las emisiones de GEI y mejorar los resul-

tados en términos de producción de bienes y servicios y de bienestar. Y también es fundamental lo que ocurra con el transporte, pues el éxito de su descarbonización depende del éxito del vector eléctrico y del uso del hidrógeno (verde). Ambos sectores han de ser seguidos de cerca, pues sin sus contribuciones difícilmente será posible reducir emisiones y mantener el nivel de bienestar alcanzado en Europa.

Este bienestar no puede entenderse sin incorporar una situación medioambiental saludable, por lo que la adopción de estrategias de reducción de emisiones de GEI a largo plazo es clave. Las observaciones relativas al aumento de la temperatura global y los cambios en el régimen de pluviosidad indican que están aconteciendo cambios en la climatología cuyas consecuencias son imprevisibles. La hoja de ruta española para la descarbonización, materializada en el PNIEC es un buen punto de partida, toda vez que establece objetivos ambiciosos y necesarios. El cumplimiento de este plan debe evaluarse seriamente, complementándolo con estrategias adicionales, como, por ejemplo, el diseño de una hoja de ruta para fomentar el almacenamiento estacional que permita, junto al fomento de las renovables, independizarnos todo lo posible de los combustibles fósiles.

BIBLIOGRAFÍA

AZHGALIYEVA, D., LIU, Y. y LIDDLE, B. (2020). An empirical analysis of energy intensity and the role of policy instruments. *Energy Policy*, 145, 111773.

BONEVA, S. (2018). Analysis of the energy dependence of the European Union. *European Journal of Economics and Business Studies*, 4(1), pp. 42-48.

COMISIÓN EUROPEA. (2015). Comunicación de la Comisión al Parlamento Europeo, al Consejo, al Comité Económico y Social Europeo, al Comité de las Regiones y al Banco Europeo de Inversiones. Estrategia marco para una unión de la energía resiliente con una política climática prospectiva. COM(2015)80 final.

ENERDATA. (2022). Natural gas consumption trend over 1990-2021. <https://yearbook.enerdata.net/natural-gas/gas-consumption-data.html>

EUROPEAN COMMISSION. (2019). Communication from the Commission to the European Parliament, the European Council, the Council, the European Economic and Social Committee and the Committee of the Regions. The European Green Deal. COM(2019)640 Final.

EUROPEAN COMMISSION y EUROSTAT. (2021). *Eurostat regional yearbook: 2021 edition*. Luxemburgo: Publications Office of the European Union.

EUROPEAN ENVIRONMENT AGENCY. (2022). Approximated estimates for greenhouse gas emissions. https://www.eea.europa.eu/ds_resolveuid/cf5d3c5400474c658dc40b660f3caed3

EUROSTAT. (2022a). Energy imports dependency [nrg_ind_id].

EUROSTAT. (2022b). Simplified energy balances [nrg_bal_s].

EUROSTAT. (2022c). Share of energy from renewable sources [nrg_ind_ren].

EUROSTAT. (2022d). Physical energy flows accounts indicators [INDIC_PEFA].

EUROSTAT. (2022e). National accounts aggregates by industry [NAMA_10_A64].

GÓMEZ-CALVET, R., GÓMEZ-CALVET, A. y MARTÍNEZ-DUART, J. (2020). Large-scale integration of variable renewable resources. En J. REN (Ed.), *Renewable-energy-driven future* (pp. 233-256). Waltham: Elsevier.

HOGAN, W. W. (2022). Electricity market design and zero-marginal cost generation. *Current Sustainable/Renewable Energy Reports*, 9, pp. 15-26.

IEA (INTERNATIONAL ENERGY AGENCY). (2020). *Energy Technology Perspectives 2020*. París: IEA.

IEA (INTERNATIONAL ENERGY AGENCY). (2021). *Spain 2021. Energy Policy Review*. París: IEA.

IEA (INTERNATIONAL ENERGY AGENCY). (2022). Climate change. Energy sector is central to efforts to combat climate change. <https://www.iea.org/topics/climate-change>

IRENA. (2019). *Hydrogen: A renewable energy perspective—report prepared for the 2nd hydrogen energy ministerial meeting in Tokyo*. Abu Dhabi: IRENA.

LU, W.-C. (2017). Greenhouse gas emissions, energy consumption and economic growth: a panel cointegration analysis for 16 Asian countries. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 14(11), 1436.

MARRERO, G. A. y RAMOS-REAL, F. J. (2013). Activity sectors and energy intensity: Decomposition analysis and policy implications for European countries (1991-2005). *Energies*, 6, pp. 2.521-2.540.

MEDLOCK III, K. B. y SOLIGO, R. (2001). Economic development and end-use energy demand. *The Energy Journal*, 22(2), pp. 77-105.

MINISTERIO PARA LA TRANSICIÓN ECOLÓGICA Y EL RETO DEMOGRÁFICO. (2021). Resolución de 25 de marzo de 2021, conjunta de la Dirección General de Política Energética y Minas y de la Oficina Española de Cambio Climático, por la que se publica el Acuerdo del Consejo de Ministros de 16 de marzo de 2021, por el que se adopta la versión final del Plan Nacional Integrado de Energía y Clima 2021-2030. *Boletín Oficial del Estado*, 77, pp. 36.796-37.220.

MONGIRD, K. et al. (2019). *Energy storage technology and cost characterization report*. U.S. Department of Energy. <https://energystorage.pnnl.gov/pdf/PNNL-28866.pdf>.

MORETT SÁNCHEZ, J. C. (2021). La dependencia energética de los países subdesarrollados. *Human Review*, 10(1), pp. 19-36.

PÖRTNER, H. O. et al. (Eds.) (2022). *Climate change 2022: Impacts, adaptation*

and vulnerability. Contribution of Working Group II to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge y Nueva York: Cambridge University Press.

RAHMAN, M. M., SULTANA, N. y VELAYUTHAM, E. (2022). Renewable energy, energy intensity and carbon reduction: Experience of large emerging economies. *Renewable Energy*, 184, pp. 252-265.

WORLD COMMISSION ON ENVIRONMENT AND DEVELOPMENT. (1987). Report of the world commission on environment and development: Our common future. Transmitted to the General Assembly as an Annex to document A/42/427. <http://www.un-documents.net/wced-ocf.htm>