

TRANSICIÓN ENERGÉTICA ALEMANA: ¿“CAMINO VERDE”?

GERMAN ENERGY TRANSITION: A “GREEN PATH”?

Dmitri Amirov-Belova,

Universidad Pablo de Olavide

dmitriamirovbelova@gmail.com

<https://orcid.org/0000-0001-8825-7887>

Resumen

La política energética alemana de Angela Merkel durante la década de 2010, ha estado marcada por la acelerada implantación del plan para la transición energética (“Energiewende”), a raíz, sobre todo, de la crisis de Fukushima de 2011. Esta revolución del sector en el país, especialmente en lo referente al peso de la energía nuclear, ya que la misma se ha visto afectada por unas agresivas políticas de desnuclearización, es una de las banderas principales del programa. El plan ha implicado una agresiva desnuclearización a raíz de la crisis de Fukushima de 2011, quedando Alemania en la tesitura de sustituir una fuente de energía relativamente limpia por otras más contaminantes como el lignito y el gas natural, para compensar las disfunciones de las energías renovables, resultando en una paradoja dada la naturaleza “verde” del plan. Este artículo analiza el cambio en fuentes de energía, los impactos económicos privados, y de emisiones de carbono de la “Energiewende” de 2010 a 2020.

Palabras clave/Keywords: “Energiewende”; Alemania; energía nuclear; energías renovables; emisiones CO₂; EEG-Umlage; carbón; gas natural; Angela Merkel.

Abstract

Angela Merkel's energy policy in Germany beginning in the 2010s has been marked by the accelerated implementation of the energy transition plan known as “Energiewende”. The plan, which has involved as its central component aggressive denuclearization in the wake of the 2011 Fukushima crisis, has resulted in a revolution in the country's energy sector, especially with regard to the country's extensive use of nuclear energy. This has left Germany in the position of replacing a relatively clean energy source with more polluting ones, such as lignite and natural gas, resulting in a paradox given the ‘green’ nature of the plan. This article analyzes private economic impacts of the plan as well as changes in energy sources and carbon emissions resulting from the Energiewende from 2010 to 2020.

Keywords: *Energiewende; Germany; Nuclear energy; Renewable energies; CO₂emissions; EEG-Umlage; Coal; Natural gas; Angela Merkel.*

1. Introducción

Hace varias décadas que en Europa se experimenta, por parte tanto de la izquierda “clásica” (socialista o socialdemócrata) como de los verdes una fuerte conciencia respecto al medio ambiente y al cambio climático, así como a la eficiencia energética y las condiciones de las capas más vulnerables de la sociedad. Sin embargo, si bien, y en un origen, estas “políticas verdes” eran productos destinados a un mercado electoral que comprendía el tradicional espectro de la izquierda, entendiéndose por ello la búsqueda de la igualdad y la mayor implicación del Estado en la economía (Anduiza y Bosch, 2004: 203), desde las décadas de los años 70 y 80 la preocupación por el medio ambiente y las energías limpias evolucionó rápidamente hacia una posición hegemónica en el mercado electoral de los electores de valores postmodernos o postmaterialistas (Anduiza y Bosch, 2004: 222; Vallès, 2006: 287). En este sentido, Hoerber, Weber y Cabras señalan que:

Aunque el ecologismo es un concepto más bien de izquierdas, sigue encajando en agendas conservadoras (...). Las élites conservadoras y nacionalistas han recurrido a la integración de la sostenibilidad ecológica en los planes y programas locales (...). [L]a filosofía política conservadora apoya cada vez más las políticas de conservación y medio ambiente. De ahí que el ecologismo sea propuesto por la izquierda, pero también por otros extremos del espectro político y, como tal, (sea) casi hegemónica (Hoerber, Weber y Cabras, 2020: 31).

Finalmente, parte de esta incipiente ideología ecologista llegaría a impregnar a partes de los partidos conservadores en los casos de Austria o la propia Alemania, bien por catástrofes naturales (como Fukushima), bien por pactos de gobierno, o más recientemente, por la búsqueda de soluciones ante la crisis económica y social derivada del Covid-19. Es, de hecho, una cuestión que genera fuertes tensiones dadas las bases políticas de los partidos de centro y centro-derecha:

[T]ambién hay cuestiones de elección social colectiva: no todos los bienes sociales y colectivos son compatibles, y en un estado ecológico se utilizan mecanismos políticos para elegir unos modelos de bienes en lugar de otros (...). La relación entre la sostenibilidad ecológica y el estado de bienestar se considera contradictoria debido a que el capitalismo es el pilar central de este último. Los mecanismos neoclásicos de mercado no parecen conducir a una mayor sostenibilidad o a una inversión más sostenible (...) (Hoerber, Weber y Cabras, 2020: 32).

Una de las banderas tradicionales del ecologismo es la lucha antinuclear, que proviene de la década de los años 60, aunque es, sobre todo tras el desastre de Chernóbil en 1986 cuando las ideas ecologistas se expanden más en Europa. Es por ello que, tras años de manifestaciones y propuestas electorales, en algunos Estados como Italia y Austria (de manera directa tras el accidente soviético), o Alemania se haya decidido la desnuclearización del país. Este modelo de transición “verde” está implicando una desnuclearización a medio-corto plazo (si bien puede llegar a tener retrasos por la crisis del Covid-19), pero sus consecuencias no están completamente claras en todas sus facetas.

La política energética constituye uno de los pilares fundamentales de los Estados, dado que está relacionada con la disposición geográfica de recursos naturales en el globo (lo que marca su importancia geopolítica), con las relaciones comerciales con otros Estados y con el bienestar de la población, así como tiene un impacto directo en los efectos del cambio climático.

De hecho, es, asimismo, una materia en la que resulta esencial que existan pactos entre los distintos partidos, para generar políticas energéticas que no sean proclives al cambio a corto plazo, como sí puede ocurrir con los gobiernos que las promueven.

Resulta fundamental en el planteamiento de la cuestión energética la toma de decisiones en materias como la transición a energías más limpias, lo que implica, entre otras materias, el cese del uso de las fuentes más contaminantes, como el carbón. Sin embargo, también es muy relevante tomar una decisión sobre el rol de la energía nuclear en el futuro, lo que, en algunos países como Alemania, es central. Ello deriva no sólo del importante papel que dicha fuente de energía ha tenido en Europa desde su descubrimiento, como aún lo tiene en países como Francia, sino de que de un posible avance en la fusión nuclear derivarían consecuencias inéditas para el sector energético en todo el mundo (como una posible sobreoferta que obligue a los precios a ser muy bajos, si bien esto es especulación), dada la virtual inagotabilidad de sus combustibles (Tritio, Deuterio y Litio), que son baratos, fácilmente accesibles, y tienen un ratio de producción eléctrica muy superior a los combustibles fósiles tradicionales, además de no tener los peligros de la fisión nuclear, ni los problemas de dependencia del entorno de las renovables (Ongena y Van Oost, 2002: 2, 4-8; 2012: 6-11).

Aun así, la energía es una de las numerosas materias que no encuentra una convergencia a nivel europeo, aún tras 27 años de la firma del Tratado de Maastricht en 1993. Ello se debe a numerosos factores, como el cambio climático, las tensiones geopolíticas y los recursos disponibles por parte de cada Estado. Así, Alemania apuesta por la desnuclearización, mientras que Francia confía plenamente en sus reactores nucleares (que superan el 70% de su producción nacional) para satisfacer las necesidades energéticas de la República (World nuclear Association, 2020).

La energía nuclear tampoco ha encontrado (ni encuentra) cabida como uno de los temas centrales en los debates electorales, si bien es cierto que en el caso alemán existe un consenso general, o “miedo alemán” a lo nuclear, que explicaría la sobre-reacción por parte de las autoridades alemanas, si bien algunos autores entienden que la crisis de Fukushima sólo fue una ventana de oportunidad para acelerar una tendencia general y casi inevitable en la sociedad alemana:

Los alemanes se han mostrado siempre nerviosos con la energía nuclear, pero con el accidente nuclear de Fukushima se desató una epidemia colectiva de lo que los anglosajones llaman el «German Angst» (miedo alemán). La gente quería un paso importante por parte del gobierno alemán. Aunque no es en absoluto una región significativamente afectada por terremotos y los tsunamis, Alemania fue el único país que reaccionó al accidente nuclear con una suspensión inmediata y el cierre inmediato de 8 reactores (...). Este cambio radical de la política energética del gobierno no es lo que los alemanes describen como «Blinder Aktionismus» (accionismo ciego) para disminuir el «German Angst» (Weber, 2012: 61, 62).

A pesar de ello, los efectos de una desnuclearización a corto o a medio plazo no están claros en todos los ámbitos para los electores y los responsables políticos, tanto en lo relativo a precios para los consumidores, como en términos de sustitución de unas energías por otras, o en cuanto a las necesidades resultantes de importación energética, entre otros factores.

Los efectos secundarios que pueden tener las transiciones energéticas no siempre son considerados por el legislador de manera holística. Ello se debe a la presión que ejercen determinadas agendas políticas, actores económicos, o debido a la falta de

consenso social y político en torno a la solución óptima de la cuestión energética, así como de los peligros de la energía nuclear. Unas consecuencias imprevistas pueden conllevar aumento de precios de la electricidad y, en general, un alto coste de transición energética, así como no contemplar “la gama completa de impactos económicos y ambientales de los cierres del sector nuclear a gran escala” (Jarvis et al., 2019: 2, 31).

El objeto de este artículo es el estudio de la desnuclearización de Alemania, en el marco de la política de transición energética alemana (“Energiewende”), que conoció un fuerte giro antinuclear en 2011. Dicha política pública contempla la desnuclearización total para el año 2022, la reducción de la dependencia de hidrocarburos, en particular de las importaciones de gas, el aumento de la importancia de las energías renovables, así como de su eficiencia energética, y reducir las emisiones de CO² desde un 80% a un 95% con respecto a 1990, para el año 2050 (BMW_i, 2018: 5, 10-17, 23-27 y BMU, 2014: 5, 6).

Se estudiarán los siguientes aspectos relativos a la acelerada desnuclearización alemana:

- 1) Sustitución de fuentes de energía, es decir, qué fuentes de energía han suplido la pérdida de vatios derivada del apagón nuclear.
- 2) Evolución en los precios de la energía del consumidor doméstico alemán.
- 3) Evolución en las emisiones de CO².

Se pretende mostrar varias dimensiones del proceso de desnuclearización, con el objetivo de facilitar una comprensión empírica del proceso alemán, alejada, por tanto de las visiones normativas sobre el papel que la energía nuclear puede jugar en el futuro de Europa y del mundo. Dicho estudio permitirá establecer modelos alternativos con base en las posibles carencias o fallos de la “Energiewende”, en virtud de otros criterios, como el impacto económico y social de la transición. Se obviarán otros factores para futuros trabajos, como el impacto ambiental, el saldo neto entre destrucción de empleos relacionados a las “viejas” tecnologías (incluida la nuclear) y las energías “verdes”, o los sectores “ganadores” de la “Energiewende”, como cooperativas y campesinos, no por su baja importancia, sino debido a que un análisis global del fenómeno es inabarcable en un solo trabajo, aunque se hará breve mención de ello.

El periodo que se estudiará será, por un lado, desde el año 2011 (cuando Merkel toma la decisión final de abandonar la energía nuclear tras el desastre de Fukushima) hasta 2019 para las fuentes energéticas y la evolución de precios (con alguna alusión a fechas anteriores). Para el estudio de las emisiones carbónicas el periodo contemplará un año más, desde 2010 hasta 2019, ya que es en el Energiekonzept² de 2010 donde se planifica cómo se cumplirán los objetivos de bajada de emisiones carbónicas para el año 2020, 2030, y 2050, contemplándose la energía nuclear como una herramienta transitoria fundamental (por lo tanto, produciendo una contradicción con el cambio de 2011).

1 Dióxido de Carbono. Las emisiones de CO₂ constituyen el grueso de las emisiones antropogénicas de gases de efecto invernadero, es decir, son el principal responsable del calentamiento global. Otros gases de efecto invernadero son el gas metano (CH₄), óxido nitroso (N₂O), hidrofluorocarbonos (HFC), perfluorocarbonos (PFC) y hexafluoruro de azufre (SF₆).

2 Es un plan de acción de políticas públicas (en Alemania se llama a estos planes “Conceptos”, traducible también por “Concepción”), subtítulo como “Concepto de energía para un suministro de energía respetuoso con el medio ambiente, confiable y asequible” (BMW_i y BMU, 2010: 1).

Alemania es un caso único en Europa ya que, en el marco de su política de transición energética, la “Energiewende”, ha decidido establecer definitivamente un rápido proceso de desnuclearización en 2011, a la espera de poder ser finalizado en 2022. El proyecto de transición alemán es el más ambicioso de entre los europeos, pues pretende una radical transformación de la estructura energética del país hacia una Alemania sin uso de energía nuclear, con unas emisiones de carbón drásticamente reducidas (con respecto a 1990, un 40% para 2020, 55% para 2030, y de 80 a 95% para 2050) y una mejora en el rendimiento de las energías (BMW y BMU, 2010; Ministerio de Relaciones Exteriores de Alemania, 2015).

Su origen se remonta a la coalición entre el SPD (Partido Socialdemócrata de Alemania) y Die Grünen (Los Verdes –ecologistas–), que posibilitó la entrada a la cancillería de Gerhard Schröder tras las elecciones de 1998, ya que dicho gobierno comenzó a introducir planes de transición energética a largo plazo, como la decisión de cerrar todos los reactores nucleares para el año 2020 (Poch, 2011), a lo que se opuso desde un inicio, y seguiría oponiéndose durante años, la CDU (Unión Demócrata Cristiana de Alemania –conservadores–) (Deggerich, 2000).

Angela Merkel, ya como líder de la CDU y Canciller en 2008, consideraba esta agresiva posición anti-nuclear como algo “absolutamente equivocado” (Deutsche Welle, 2008), y adoptó la decisión, gracias a su posición en la Gran Coalición (Große Koalition) y al apoyo del FDP (Partido Democrático Libre de Alemania –liberales–), en detrimento de Los Verdes, de alargar la vida útil de las centrales nucleares (Poch, 2011). Aun oponiéndose en este asunto, la actitud general de la Administración Merkel en los demás elementos condujo a mantener cierta continuidad con respecto a la transición energética, ideas organizadas, en un principio, en un documento oficial de 2010 denominado Energiekonzept, donde se expuso, entre otros tantos términos, que

Una extensión temporal de la vida útil de las centrales nucleares existentes hace una contribución clave para lograr los tres objetivos de política energética de protección climática, eficiencia y seguridad del suministro en Alemania en un período de transición. Facilita el camino hacia la era de las energías renovables, en particular al reducir el precio de la electricidad y las emisiones de gases de efecto invernadero relacionadas con la energía (BMW y BMU, 2010: 15).

El punto de inflexión fue el incidente de Fukushima del año 2011, consecuencia de un terremoto seguido de un tsunami en Japón. Este accidente nuclear tuvo una gran repercusión mediática mundial, pero en Alemania acabó por unir a la opinión pública en torno a la desnuclearización, por lo que la CDU cambió su postura con respecto a dicha política: “solo después de Fukushima Merkel comenzó a usar regularmente el término “Energiewende”. En otoño de 2011, su administración reforzó el Energiekonzept, reemplazando algunos de los objetivos y calendarios con objetivos más ambiciosos” (Hockenos, 2015). La canciller tomó la decisión de desconectar 8 de los 17 reactores nucleares *ipso facto*, incluyendo varios cuya vida útil se estaba ampliando, lo que afectó a reactores como Unterweser, Brunsbüttel, Biblis A y B, Philippsburg I, o el de Neckarwestheim, entre otros (ABC, 2011).

Específicamente, de los diecisiete reactores que funcionan en 2011, los ocho reactores que ya estaban temporalmente cerrados se cerraron de inmediato (8.4 GW de capacidad), se cerró un noveno reactor en 2015 (1.3 GW), un décimo en 2017 (1.3 GW), un undécimo en 2019 (1.4 GW), y los seis reactores finales (8.1 GW) se cerrarán en 2022 (Jarvis et al., 2019: 7).

Tabla 1: Reactores nucleares activos en 2020

Planta	Tipo	MW (neto)	Fecha de inicio de operaciones	Operador	Fecha de cierre provisional en 2001	Fecha de cierre acordado en 2010	Fecha de cierres acordado en 2011
Gundremmingen C	BWR	1288	1/1985	RWE	2016	2030	2021
Grohnde	PWR	1360	2/1985	E.ON	2017	2031	2021
Brokdorf	PWR	1370	12/1986	E.ON	2019	2033	2021
Isar 2	PWR	1400	4/1988	E.ON	2020	2034	2022
Emsland	PWR	1329	6/1988	RWE	2021	2035	2022
Neckarwestheim 2	PWR	1305	4/1989	EnBW	2022	2036	2022
Total operando (6)		8052					

Fuente: Elaboración propia a partir de datos de World Nuclear Association (2019).

Dicho contexto facilitó la aparición de la política pública conocida como “Energiewende” en el panorama germano. La opinión generalizada en la mayor parte de los alemanes era que el desastre de Fukushima se podía reproducir en Alemania (Poch, 2011), por lo que se extendió la idea de que había que desnuclearizar el país, y sustituir dicha energía por otras renovables, principalmente solar y eólica.

Tabla 2: Reactores nucleares cerrados desde 2011

Planta	Operador	Tipo	MW (Neto)	Años operando	Año de apagón	Estado
Biblis A (KWB A)	RWE	PWR	1.167	36	2011	Lic. Desmantelamiento*
Biblis B (KWB B)	RWE	PWR	1.240	34	2011	Lic. desmantelamiento
Brunsbüttel (KKB)	Vattenfall	BWR	771	30	2007	Apagada
Krömmel (KKK)	Vattenfall	BWR	1.260	25	2009	Apagada
Isar 1 (KKI)	E.ON	BWR	878	32	2011	Lic. desmantelamiento
Unterweser (KKU)	E.ON	PWR	1.345	32	2011	Apagada
Phillipsburg 1 (KKP)	EnBW	BWR	890	31	2011	Lic. desmantelamiento
Phillipsburg 2 (KKP)	EnBW	PWR	1.392	35	2019	Lic. desmantelamiento
Neckarwestheim 1 (GKN)	EnBW	PWR	785	34	2011	Lic. desmantelamiento
Grafenrheinfeld (KKG)	E.ON	PWR	1.275	33	2015	Apagada
Gundremmingen B (KRB-B)	RWE	BWR	1.284	33	2017	Apagada
Total (11)			12.287			

Fuente: Elaboración propia a partir de datos de World Nuclear Association (2019).

*Las primeras licencias de desmantelamiento se comenzaron a conceder en 2017.

Sin embargo, desde un principio se observaba la complejidad del objetivo de un cambio tan drástico con un plazo relativamente corto, unido a la desnuclearización, a la “menor dependencia del gas y el petróleo importado del extranjero” (BMW, 2018: 5;

Ministerio de Relaciones Exteriores de Alemania, 2015: 3) y a la confianza principalmente en las renovables. En particular, el giro anti-nuclear entraba en contradicción con los precios bajos asegurados en el Energiekonzept, redactado tan sólo un año antes.

2. Metodología y métodos

Este artículo tiene por objeto el análisis de una compleja realidad como lo es la aplicación de una macro-política pública alemana en materia energética. Por tanto, y dado que no partimos de una hipótesis inicial sobre el efecto de la política, debido a la novedad de la temática, y a la debilidad que implicaría pretender generar modelos teóricos a partir del resultado, se tratará de un estudio de caso descriptivo-analítico, centrado en la relación en la variación de cifras y en la exposición de los distintos motivos posibles de dichas variaciones, así como en apuntar posibles alternativas que se podrían haber adoptado.

Para la elaboración de este artículo se han repasado las principales fuentes primarias (informes profesionales privados e informes públicos) y secundarias (literatura científica y prensa) disponibles en torno a la energía que se produce y utiliza en Alemania, a las emisiones carbónicas del país y a los precios del consumidor privado medio, por el cual se entenderá en este artículo el hogar privado alemán, excluyéndose el consumo de la industria privada.

De destacan como estas fuentes; (BMW i y BMU, 2010; BMW i, 2018 y BMU, 2014, y Agora “Energiewende”, 2015; 2016; 2017; 2018; 2019 y 2020, así como Knopf et Al. (2012), Weber (2012), Knopf et Al. (2014), Sinn (2017), Jarvis et al. (2019), Rehner y McCauley (2016), Keppler (2012), Vivoda (2017) y Cunningham (2017).

Dadas las pequeñas diferencias entre los datos que se pueden encontrar sobre la energía que usa Alemania, y para asegurar la correcta aproximación a dichos datos, se utilizarán principalmente dos fuentes para elaborar medias estadísticas respecto a las distintas matrices energéticas:

- 1) En primer lugar, los informes anuales de Agora “Energiewende” (2015, 2016, 2017, 2018, 2019, y 2020). En concreto sus matrices energéticas para los años 2013 a 2019. Se trata de un instituto de políticas públicas y think tank independiente cuyo objeto es apoyar la transición energética reduciendo las emisiones de CO₂, entre otras externalidades, formada por la Fundación Stiftung Mercator y la European Climate Foundation.
- 2) En segundo lugar, la tabla de producción energética de Arbeitsgemeinschaft Energiebilanzen (AG Energiebilanzen). Se trata de una Asociación formada por 7 federaciones de empresas alemanas, con científicos y técnicos provenientes del sector energético y productivo privado, cuyos balances energéticos anuales y monitoreo del proceso de transición son usados por el BMW i³.

Para determinar la relación de precios interanuales, así como para visualizar las emisiones de CO₂, nos basaremos en Agora Energiewende (2020) y Jarvis et al. (2019).

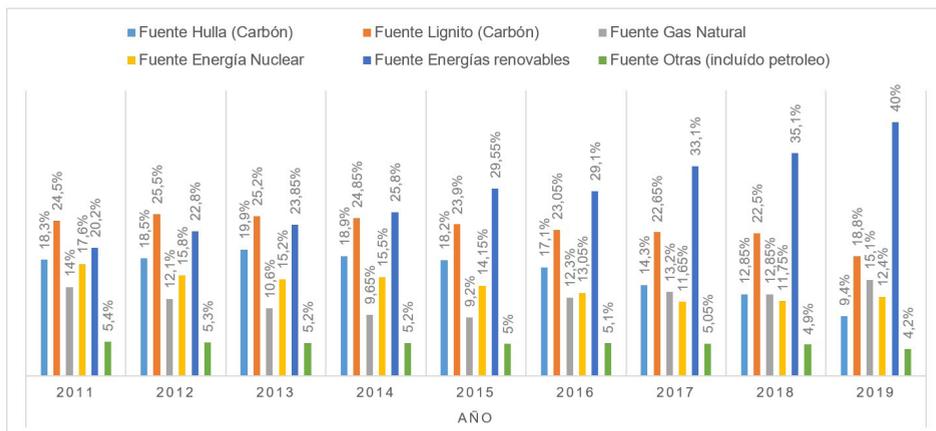
3 Ministerio Federal de Economía y Energía (Bundesministerium für wirtschaft und energie).

3. Resultados

3.1 Evolución del uso de la energía en Alemania por origen

El Gráfico 1 muestra la evolución del uso de seis categorías de energía en Alemania, en función de su origen, desde el año 2011 hasta el 2019. Al mismo le siguen los Gráficos 2, 3 y 4 para facilitar la comprensión de los datos, pero reproduciendo el mismo contenido.

Gráfico 1: Generación de energía consumida en Alemania por fuentes (en porcentajes)



Fuente: Elaboración propia a partir de los datos de Arbeitsgemeinschaft Energiebilanzen (2020) y Agora Energiewende (2015, 2016, 2017, 2018, 2019, 2020).

Las categorías de todos los gráficos son:

- Hulla, también conocido como carbón Negro (Steinkohle) o carbón bituminoso: combustible fósil, no renovable, y sólido, de calidad media-alta con una concentración de carbono entre el 60 y el 80%, y una de las fuentes menos limpias con respecto a sus emisiones de CO₂.
- Lignito, o carbón marrón (Braunkohle): combustible fósil sólido de mediana calidad con una menor concentración de carbono (entre el 60 y el 75%), y menor capacidad calorífica que la hulla. Alemania es el segundo mayor productor mundial de lignito tras China (Knoema, 2021), por lo que emite niveles particularmente altos de CO₂, y todavía tiene grandes depósitos (Wettengel, 2019).
- Gas natural (Erdgas): combustible fósil gaseoso, de menor impacto en el ecosistema que el carbón y el petróleo, aunque sigue siendo una fuente contaminante. Proviene en gran parte de gaseoductos desde Rusia y Noruega, si bien también se incluye en los datos el gas natural licuado (GNL).
- Energía nuclear (Kernenergie): aquella producida gracias a los generadores de fisión nuclear a partir de uranio enriquecido. Contempla la electricidad producida por los Reactores de Agua a Presión (PWR) así como los Reactores de Agua en Ebullición (BWR). Es conocida por ser relativamente limpia en términos de emisión de CO₂, pero por el contrario genera residuos radiactivos, y se la suele señalar como fuente de peligros a raíz de incidentes como el de Chernóbil o

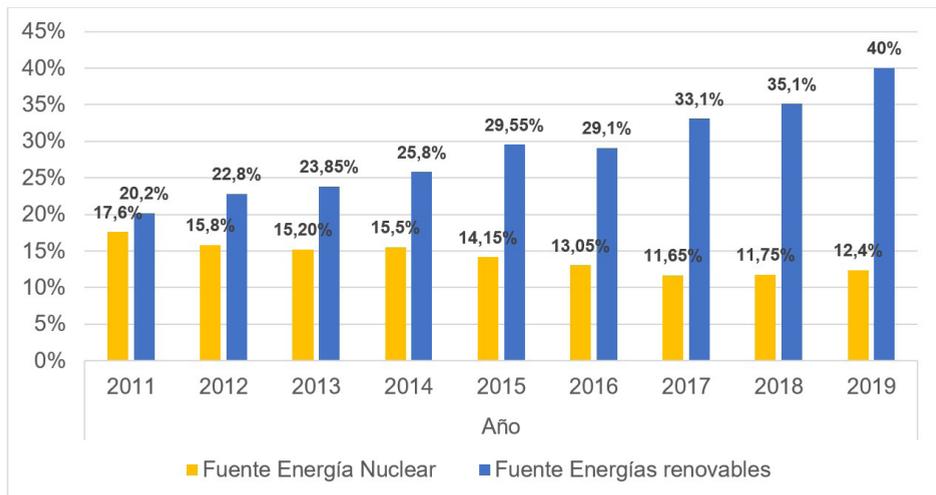
Fukushima, o de consecuencias de pruebas nucleares como las que se desarrollaron en Semipalátinsk⁴ -hoy Semey, Kazajistán- (Bauer et Al., 2005).

- Energías renovables (Erneuerbare energien): contempla energía eólica, marina y terrestre, la fotovoltaica, la biomasa y energía hidráulica. Téngase en cuenta que la incineración de la biomasa, así como la energía hidráulica, son fuentes de energía renovables, pero no limpias, ya que también generan impacto en el medio ambiente. La energía eólica y la solar son los principales protagonistas de la Energiewende.
- Otras: se contemplan aquí otras fuentes como la antracita (carbón de alta calidad) pero, sobre todo, la energía producida a partir de petróleo, combustible fósil líquido cuya quema resulta más contaminante que el gas natural, pero menos que la de carbón.

Procedemos a trasladar los resultados con los siguientes gráficos, que simplifican lo ya mostrado en el Gráfico 1.

El Gráfico 2 muestra la evolución durante el periodo 2011-2019 del peso de la energía nuclear en la generación alemana (en amarillo), y el conjunto de energías renovables (en azul).

Gráfico 2: Generación de energía consumida en Alemania: energía nuclear y energías renovables



Fuente: Elaboración propia a partir de los datos de Arbeitsgemeinschaft Energiebilanzen (2020) y Agora Energiewende (2015, 2016, 2017, 2018, 2019, 2020).

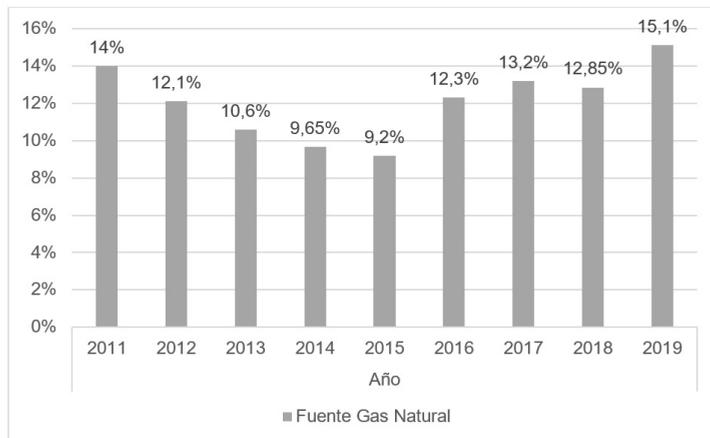
El uso de energía nuclear para las necesidades energéticas alemanas constituía un 17,6% del total en el año 2011, año de inicio de la “Energiewende” de Merkel. Durante el periodo ya recorrido por la “Energiewende”, el peso de la energía nuclear se ha reducido en Alemania un 29,55% en términos relativos (5,2% absoluto).

Por el contrario, el papel de las energías renovables ha aumentado interanualmente de manera constante, salvando el año 2016. En total, el peso del conjunto de

4 Principal campo de prueba de armas nucleares soviéticas, las cuales dejaron huella en parte de la población de la región, especialmente debido a unos ejercicios militares realizados en 1956.

energías renovables se ha acrecentado un 98,02% relativo (19,8 puntos) desde 2011 hasta 2019.

Gráfico 3: Generación de energía consumida en Alemania: gas natural

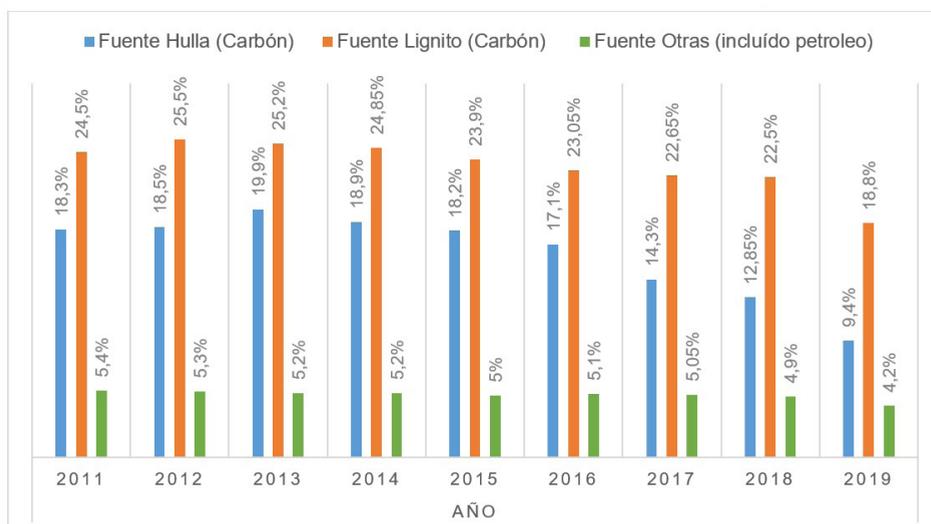


Fuente: Elaboración propia a partir de los datos de Arbeitsgemeinschaft Energiebilanzen (2020) y Agora Energiewende (2015, 2016, 2017, 2018, 2019, 2020).

Como se aprecia en el Gráfico 3, la evolución del peso del gas natural en el sector energético alemán ha transcurrido en forma de “V”, con un pico inferior en el año 2015. Es decir, su peso decreció hasta dicho año, y aumentó desde entonces, con una salvedad de escasa relevancia en 2018. El balance desde 2011 hasta 2019 es una subida de un 7,86% (1,1%) del uso del gas en el total del país.

Dentro del Gráfico 4 encontramos los datos concretos de la hulla, el lignito y otras.

Gráfico 4: Generación de energía consumida en Alemania: carbón y otras



Fuente: Elaboración propia a partir de los datos de Arbeitsgemeinschaft Energiebilanzen (2020) y Agora Energiewende (2015, 2016, 2017, 2018, 2019, 2020).

En cuanto al carbón negro o hulla, su importancia se mantiene relativamente estable hasta la segunda mitad de la década, durante la cual desciende hasta casi un 50% con respecto al año de inicio. El valor final en el año 2019, 9,4%, implica que la caída total con respecto a 2011 es de un 48,63% (8,9% en términos absolutos).

Por su parte, el peso del lignito en el consumo energético alemán es superior al de la hulla, lo cual resulta lógico dado que tiene menor calidad y por tanto menor costo, así como a las altas reservas alemanas de este tipo de recurso natural. En 2011, un 24,5% de la energía usada en Alemania provenía del lignito, es decir, casi un cuarto de su producción provenía exclusivamente de este tipo de carbón (42,8% si lo sumamos a la hulla). Resulta, por tanto, sorprendente que no sea hasta 2019 cuando podamos ver un descenso significativo interanual del uso de esta fuente de energía, teniendo en cuenta el contexto de la “Energiewende”. Indican Weber y Cabras (2017):

Apenas unos meses antes de los accidentes de Fukushima en 2011, el gobierno alemán (re)inventó la idea de 30 años de Energiewende que incluye la retirada del lignito y de la energía nuclear. Sin embargo, a pesar de estos ambiciosos planes el gobierno no ha suavizado el regreso de la generación de energía con lignito. En muchas ciudades alemanas y pueblos, las iniciativas ciudadanas y las organizaciones sociales se han opuesto a la minería del lignito y a la generación de energía relacionada con ella, pero también a los proyectos relacionados con la energía que se consideran necesarios para desarrollar una economía energética basada en las energías renovables (Weber y Cabras, 2017: 1227).

Para 2012, su participación aumentó un 1% (25,5%), bajando un 0,3% en 2013 (25,2%), y un 0,35% en 2014 (24,85). Para 2015, bajó un 0,95% (23,9%), para 2016, un 0,85% (23,05%), para 2017 un 0,4% (22,65%), y para 2018 un 0,15% (22,5%). Es en 2019 donde se encuentra la caída más significativa del valor de esta, altamente contaminante, energía, ya que se reduce su peso en un 3,7% (18,8%). El resultado entre 2011 y 2019 es una reducción del 23,27% de la entidad del lignito en el consumo energético alemán (5,7% absoluto).

El peso de las demás energías, incluyendo el petróleo, se mantiene a nivel general con una ligera bajada en torno al 5%. En 2011 significaban el 5,4% de la energía consumida en Alemania, sufriendo una bajada de 0,1% en 2012 (5,3% del total), otra similar en 2013 (5,2%), y manteniéndose igual en 2014. En 2015 este conjunto sufrió otra caída de un 0,2% (5%), seguida de una subida de 0,1% en 2016 (5,1%), y un nuevo descenso de 0,05% en 2017 (5,05%). En 2018 se registró otra bajada, de 0,15% (4,9%), y en 2019 se dio el último descenso, de 0,7%, resultando que las demás energías suponían un 4,2% del consumo alemán. La diferencia entre el inicio y el final del periodo es de una reducción del 22,22% (1,2% absoluto).

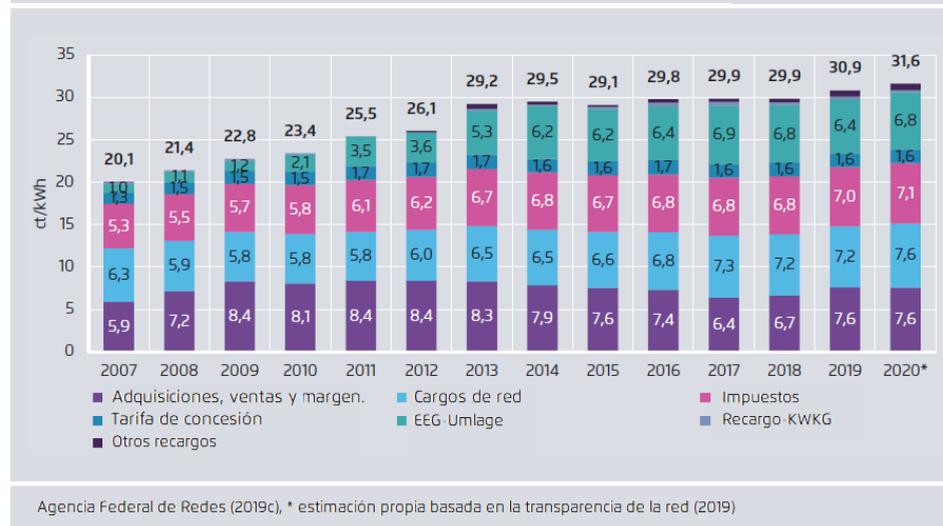
3.2 Evolución del precio de la electricidad para el consumidor doméstico alemán

El Gráfico 5 recoge el precio total y desglosado que paga el consumidor privado (hogar) alemán desde el año 2007 hasta el pasado 2019. Las cifras indican céntimos por kilovatio-hora (en adelante, cts/kWh), y como se puede ver sin dificultad, los precios no han parado de subir desde hace más de una década, prácticamente por todos los factores. Llama la atención también que el Estado tiene una fuerte presencia en

dicho precio, mediante cargos de red, el Recargo KWKG⁵, el EEG-Umlage⁶ (Bundesnetzagentur, 2020), otros impuestos, y otros recargos.

Gráfico 5: Precio de la electricidad para los hogares alemanes

Los costos de electricidad para los hogares privados continúan aumentando en un 2.6 por ciento: Precios de electricidad de los hogares para los años 2007 a 2020



Fuente: Agora Energiewende (2020): 38 [Traducción propia].

De este Gráfico se debe resaltar, en primer lugar, la subida total de 10,8 cts/kWh (un aumento total del 53,71%) desde 2007 hasta 2019, o si se quiere calcular desde 2011, fecha que decidió definitivamente la desnuclearización, la subida de 5,4 ct/kWh (un aumento del 21,18%). El precio en la actualidad ronda los 31 céntimos por kilovatio-hora, lo que, comparado con los 18 de Francia, los 23 de Italia, los 29 de Dinamarca, o los 24 de España, convierte a la factura alemana en la más cara de Europa (Eurostat, 2020). En total desde 2011, el precio de la luz ha subido un 23,92%.

En segundo lugar, destaca la relevancia (a modo de intervención) del Estado en el precio de la luz en varios años, agrupando las siguientes categorías: cargos de red, el Recargo KWKG, EEG-Umlage, (otros) impuestos, y otros recargos. El peso del Estado (y de la “Energiewende”) en la factura es de 12,9 ct/kWh en 2007 (64,18% del total), 15,4 ct/kWh en 2011 (60,39%), 19,2 ct/kWh en 2013 (65,75%), 20,7 ct/kWh en 2016 (69,46%), y 21,7 ct/kWh en 2019 (70,23%). Es decir, la tendencia del precio no es sólo cada vez mayor, sino que, en líneas generales, cada vez más parte del precio viene de recargos e impuestos estatales, o aumentos debido a la instalación de las energías renovables, o a la necesidad de satisfacer las carencias energéticas de las mismas. Como indican Weber y Cabras (2017):

Las subvenciones a las energías renovables las pagan los hogares según la Ley de Energías Renovables alemana (EEG) (...). Los precios de la electricidad para los hogares han aumentado un 100% en los últimos 15 años (...) aumentando la pobreza energética especialmente en las zonas urbanas densamente pobladas,

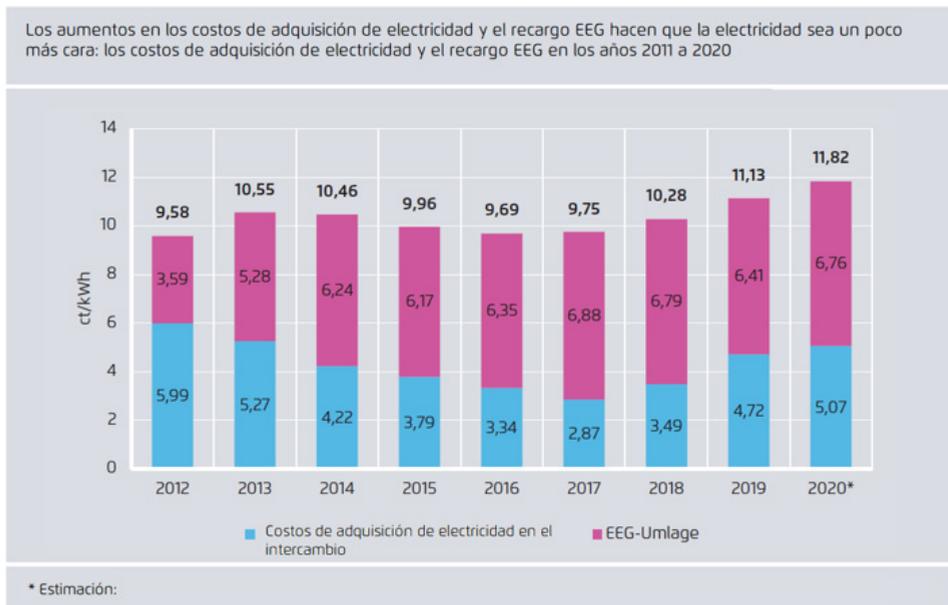
5 Recargo derivado de la Ley Combinada de Calor y Energía (Kraft-Wärme-Kopplungsgesetz).

6 Impuesto especial para la expansión de las energías renovables (Erneuerbare-Energien-Gesetz).

donde los habitantes tienen pocas posibilidades de instalar instalaciones de energía eólica o solar subvencionadas. Por el contrario, la frontera de la extracción minera sigue expandiéndose en las zonas rurales de Alemania, borrando del mapa pueblos y tierras de cultivo. A pesar de estas contradicciones e incoherencias, los responsables políticos alemanes parecen estar comprometidos con una economía de bajas emisiones de carbono que tenga en cuenta las necesidades de los distintos actores del sector (Weber y Cabras, 2017: 1227).

Dado que este artículo tiene por objeto centrarse en el efecto más directo de la desnuclearización y su sustitución por, principalmente, energías renovables, el análisis de la gráfica se centrará en describir la evolución de dos categorías que recoge la Tabla 6: EEG-Umlage y cambios en el valor de la adquisición de la electricidad (en los cargos de red), que incluye los aumentos derivados de “los mayores gastos para la expansión de la red y para el equipo para integrar la generación de electricidad renovable” (Agora Energiewende, 2020: 38).

Gráfico 6: Repercusión de la “Energiewende” en el precio



Fuente: Agora Energiewende (2020): 37 [Traducción propia].

Como indica el Gráfico 6, el consumidor alemán, independientemente de su condición social, ya que se trata de un impuesto indirecto, y de un aumento en los cargos de red, soporta más de 10 ct/kWh para pagar la transición energética alemana, lo que supone alrededor de un 30% del precio total, en ocasiones más (y es la tendencia que sigue actualmente) dependiendo del año. El menor peso de la energía nuclear en el consumo alemán, cuya naturaleza la hace perfecta para suplir los problemas de las energías renovables, afecta directamente a la segunda categoría, ya que dicho complemento se acaba consiguiendo a través del gas natural (normalmente importado y, por tanto, más caro), e incluso del lignito, cuya producción prácticamente no ha bajado hasta 2019.

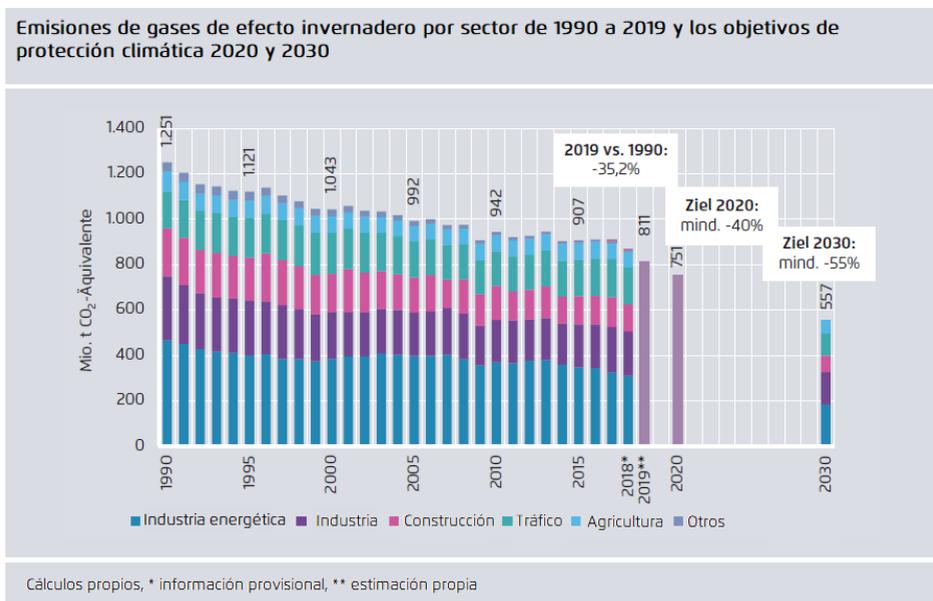
Ha de añadirse, que dentro de la dinámica entre privatizaciones y desprivatizaciones que aún existe en Alemania, la “Energiewende” implica una fuerte inversión pública

en contra de las tendencias neoliberales imperantes durante varias décadas (Weber, Cabras y Frahm, 2019: 8) y, sin embargo, sus principales beneficiarios, al menos según la teoría de la “Energiewende”, serían las cooperativas de campesinos (Bürgereigenossenschaft) y las organizaciones de justicia ambiental, que lucharían por una reforma del sistema eléctrico alemán (Weber, Cabras y Frahm, 2019: 8) en detrimento de las clases medio-bajas urbanitas y las grandes empresas tecnológicas.

3.3 Evolución de las emisiones de CO₂ de Alemania

En el Gráfico 7 se expone la bajada generalizada de gases de efecto invernadero (incluido CO₂) de la República Federal Alemana desde el año 1990, fecha de inicio y de referencia para la “Energiewende”, hasta 2019 (con resultados provisionales), así como objetivos para el año 2020 y para 2030. Simplificaremos los datos que ofrece, partiendo desde el año 2010 (un año antes del giro antinuclear de Merkel), y enlazaremos con los datos del Gráfico 8, donde se desglosa el peso de las diferentes fuentes de energía en las emisiones de CO₂, Gráfico en la que no se halla la energía nuclear debido a su relativa limpieza.

Gráfico 7: Emisiones de CO₂ de Alemania*



Fuente: Agora Energiewende (2020): 25 [Traducción propia].

*Ziel significa objetivo

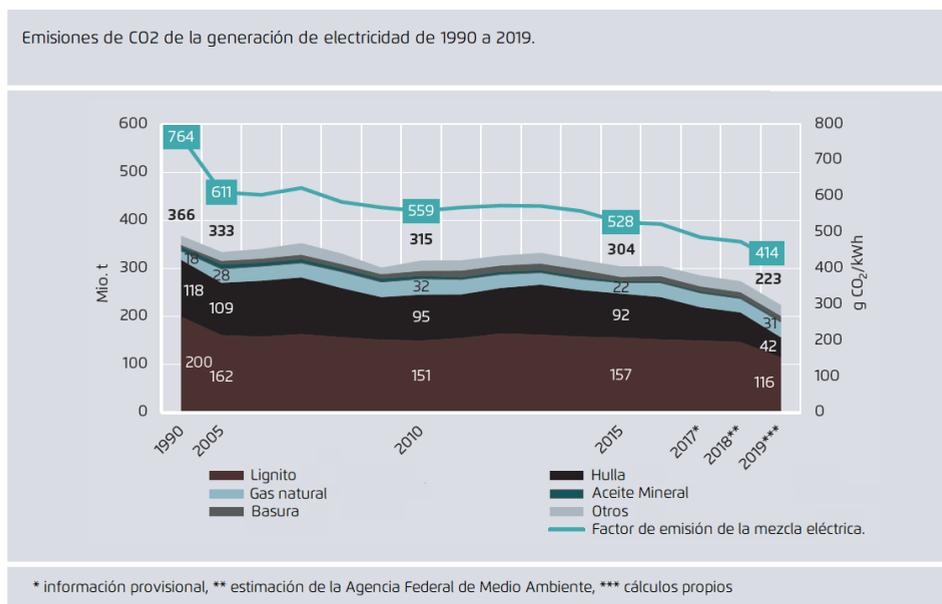
El gráfico representa las emisiones de gases de efecto invernadero en términos de Millones de toneladas de CO₂ (Mill. T CO₂). En el año 1990 Alemania emitió 1.251 Mill. T. CO₂, bajando estas emisiones para el 2010 año (nuestro punto de partida), a 942 Mill. T CO₂, lo que supuso una reducción de un 24,7%. En el año 2015, las emisiones bajaron a 907 Mill. T CO₂, reducción, por tanto, de un 27,49% con respecto a 1990, pero de un leve 2,79% con respecto a 2010.

Para los datos de 2019, dado que en la tabla son provisionales, se usará el dato final de 805 Mill. T CO₂ (Camino, 2020). Este nivel de emisiones implicó una reducción

con respecto a 1990 del 35,65% (grande, pero no es seguro si se alcanzará el objetivo del 40% para 2020), y una reducción del 8,16% con respecto a 2015.

Además de una gran caída de las emisiones desde principios de los años 90 ha ido vinculado a la desaparición de la RDA y su industria, ha de señalarse que el periodo objeto de estudio, desde 2010 hasta 2019, muestra dos tendencias en la tabla: una primera bajada muy ligera, prácticamente imperceptible, durante 7 años; y una segunda tendencia desde 2018, en la que se muestran grandes bajadas de emisiones interanuales, a diferencia del primer tramo. En total, desde 2019 se han reducido las emisiones un 29,2%. Como se ha dicho ya, es posible que se cumpla el objetivo del 40% de reducción de emisiones para 2020, aunque lo más seguro es que Alemania quede cerca del mismo, ya que en 2020 habría que reducir un 4,35% con respecto a 2019, diferencia de cierta envergadura.

Gráfico 8: Emisiones de CO₂ de la generación de electricidad de 1990 a 2019



Fuente: Agora Energiewende (2020): 27 [Traducción propia].

El Gráfico 8 muestra, en el eje vertical izquierdo, Mill. T CO₂, como anteriormente, mientras que el eje vertical derecho muestra emisión de CO₂ por Kilovatio generado (g CO₂/kWh), que ignoraremos para facilitar la exposición de los datos de la gráfica, referidos al primer eje.

Resulta fácilmente apreciable que, en el periodo estudiado para las emisiones carbónicas (2010-2019), hay tres tramos generales claramente visibles: uno desde 2010 hasta 2013, donde las emisiones han aumentado subsecuentemente al cierre de varios reactores nucleares (una reducción del peso de las nucleares de al menos un 2,4% con respecto a 2010), cuando las renovables aún no superaban el 23,9% del consumo de electricidad. De 2013 en adelante se produce una pronunciada bajada de las emisiones en general, incluyéndose la reducción de la hulla. Por último, desde 2018 a 2019 (primeras dos columnas desde la derecha), se produce una muy acuciante caída en todos los factores, incluyéndose, por primera vez desde 1990, el lignito.

4. Discusión de los resultados

4.1 Consumo energético en Alemania por fuente

El abandono total de la energía nuclear parece ser sólo una cuestión de tiempo para la República Federal Alemana, lo que excluye del sector una energía que “produce emisiones mínimas de carbono en condiciones normales de operación” (Jarvis et al., 2019: 2). Por el contrario, el mantenimiento de la quema de combustibles fósiles como el lignito para producir electricidad emite contaminantes globales que contribuyen al cambio climático y contaminantes locales que tienen consecuencias negativas para la salud humana (Jarvis et al., 2019: 2).

Curiosamente, el gobierno alemán ha clausurado centrales o reactores nucleares, a la vez que compraba acciones de empresas como la española Iberdrola, la italiana Enel o la francesa Engie, con importancia en los sectores energéticos de sus países (en particular en su porción nuclear), e incluidas en el índice bursátil Dow Jones EURO STOXX 50 (Mas, 2018). Esta ambigüedad en su acción exterior parece indicar que Alemania pretende “limpiar” su país de nucleares al tiempo que se asegura un posible suministro energético desde fuera de la República Federal, aun proviniendo de la nuclear, aprovechando su posición en el mercado europeo.

Por tanto, no es viable un complemento nuclear a las energías renovables, que adolecen de una debilidad estructural, como recuerda Reichmuth (2016):

[D]e acuerdo con las leyes de la física, la electricidad alimentada y la electricidad demandada deben coincidir en todo momento, de lo contrario habrá apagones. En caso de desequilibrios inminentes, los operadores de redes alemanes deben (...) instruir a las plantas de gas, carbón o energía nuclear para que inicien o reduzcan su alimentación de electricidad (Reichmuth, 2016).

La imprevisibilidad de generación de las renovables, y la incapacidad relativa para almacenar la energía sobrante una vez satisfecha la demanda, provocan que, descartada la energía nuclear, y teniendo en mente el objetivo de descarbonizar Alemania antes de 2030, sólo haya hueco para complementar las energías renovables con gas natural u otros combustibles de actualmente mucho menor peso.

En definitiva, el peso de la energía nuclear ha sido sustituido principalmente por una conjunción de energías renovables, carbón (lignito) y gas natural.

Además, existe un importante factor territorial en el despliegue de la energía eólica y solar en Alemania, dado que la red eléctrica del país carece de la infraestructura de transmisión para llevar la energía eólica producida en el norte de Alemania a los consumidores industriales en el sur (Cunningham, 2017: 7). Como resultado, la electricidad sobrante tras satisfacer la demanda del norte:

[S]e introdujo en los países vecinos, particularmente en Polonia, la República Checa y los Países Bajos, lo que (...) [obliga] a las redes eléctricas de esos países a adaptarse a la afluencia de energía, tensar los lazos políticos y las interconexiones eléctricas (Cunningham, 2017: 8).

Esta exportación de energía, aunque no se puede determinar en esta sede si podrá suplir económicamente las carencias energéticas de los *Länder* meridionales, es posible que palié el efecto económico de importar más gas natural desde el extranjero, materia sin duda para un futuro estudio. En cualquier caso, el impacto de la desigualdad territorial en un Estado Federal como Alemania es un factor con importantes consecuencias sociales.

Alemania utiliza sus plantas existentes de combustibles fósiles y algunas plantas hidroeléctricas y de bioenergía para amortiguar los impactos resultantes de la inserción de energía eólica y solar en la red eléctrica. Las centrales eléctricas de gas son más útiles para amortiguar las fluctuaciones a corto plazo, pero, como dichas plantas producen electricidad a un coste bastante alto, la mayor parte de la amortiguación la realizan las centrales eléctricas de carbón duro (antracita, el tipo de carbón de mayor calidad y precio) (Sinn, 2017: 137). Además, la “Energiewende” ha llegado a amenazar la existencia de grandes compañías eléctricas como Eon o RWE, por lo que se entiende la razón de las demandas contra el Estado como la de Vattenfal.

No debe perderse de vista que la eficiencia energética no se puede asegurar con la rápida implementación de las energías renovables sin más inversión tecnológica y un suministro complementario seguro y estable:

Mientras que la capacidad de producción de energía eólica instalada fue de 35,92 GW (para 2017), la producción promedio fue de 5,85 GW, solo el 16,3% de la capacidad, y la producción asegurada que estaba disponible en el 99,5% de las horas, fue de 0,13 GW, o 4 por mil de capacidad. A 37,34 GW, la capacidad solar instalada era casi la misma que en el caso de la energía eólica. Sin embargo, la producción promedio fue de solo 3,7 GW, que es el 9,9% de la capacidad y, por supuesto, la producción asegurada fue cero. En promedio, una planta de energía eólica en Alemania produjo 241,4 kW, y una planta de energía solar 2,55 kW (Sinn, 2017: 132).

En términos de eficiencia, existen grandes dudas sobre las plantas de energías renovables:

Desde un punto de vista nacional, sin tener en cuenta las consideraciones ecológicas, la instalación de nuevas plantas eólicas y solares vale la pena si y solo si su costo promedio está por debajo del costo marginal de producir electricidad a partir de combustibles fósiles. Hoy, las plantas eólicas y solares están muy lejos de satisfacer esta condición (Sinn, 2017: 148).

No cabe duda alguna, en cualquier caso, de que se ha producido un espectacular crecimiento de la energía fotovoltaica y eólica en el consumo alemán, y que dichas energías han contribuido parcialmente a emitir menos CO₂, aunque no hayan tenido el gran impacto que se preveía desde la administración (véase el crecimiento de las renovables en el Gráfico 2 y las emisiones en el Gráfico 7). Sí es evidente que en el futuro las grandes reducciones de emisiones tendrán una base en esta implementación masiva, e incluirán varios elementos como la compra de energía del extranjero o los parques de centrales eléctricas (“Kraftwerkspark”).

Lo cierto es que el gas ocupa un papel un tanto ambiguo en la transición energética alemana. Desde un principio, aunque no es de las medidas estrella, sí hay un compromiso del Gobierno Federal por “reducir la demanda de energía primaria de petróleo y gas (...) en un 80 por ciento para 2050” (Ministerio de Relaciones Exteriores de Alemania, 2015: 6), pero en los mismos documentos suele apuntarse que el gas será fundamental para complementar a las renovables, en particular, para el calentamiento de los hogares (Ministerio de Relaciones Exteriores de Alemania, 2015: 7).

Llama, además, poderosamente la atención el retorno al gas en el mix energético alemán, ya que, tras un decrecimiento inicial, parecería que Alemania se ha replanteado su uso como energía, vista la desnuclearización y la intención de reducir el

peso del lignito. El país importó 5,419 petajulios (PJ)⁷ de gas natural en 2019, exclusivamente por gasoducto, ya que “el país actualmente no tiene infraestructura para la importación directa de gas natural licuado” (Wettengel, 2019). Un elemento que nos muestra la importancia de este cambio es la determinación de Alemania por finalizar el proyecto del gasoducto Nord-Stream 2 con Rusia, proyecto fuertemente criticado por otros países europeos y por Estados Unidos (Hasselbach et al., 2019).

Motivos geopolíticos a un lado, lo cierto es que:

[M]uchos expertos ven el gas natural como un puente hacia una economía baja en carbono porque produce mucho menos emisiones de CO₂ cuando se quema que el carbón o el petróleo (...). El gas complementa bastante bien el suministro de energía fluctuante de las energías renovables, ya que las modernas centrales eléctricas a gas (a diferencia del carbón) pueden cambiar de inactivo a plena potencia en cuestión de minutos si es necesario, por ejemplo, cuando la energía solar y eólica escasean (Wettengel, 2019).

La “Energiewende” ha resultado, hasta ahora, en la sustitución de la producción nuclear de bajo costo por fuentes más caras, como los combustibles fósiles (gas y lignito) y las importaciones netas (de gas), obviando el papel de las renovables ya destacado. Estas fuentes:

[A]umenta los costos operativos promedio en Alemania en 1.6 mil millones de dólares por año. Si bien no es trivial, estos costos privados son pequeños en relación con los costos externos asociados con la eliminación. Específicamente, la quema de combustibles fósiles para producir electricidad en lugar de usar plantas nucleares emite contaminantes globales como el CO₂, así como contaminantes locales como PM_{2.5}, SO₂ y NO₂⁸ (Jarvis et al., 2019: 29).

4.2 Precios de la electricidad para los hogares

El futuro cercano no parece muy alentador para el bolsillo del consumidor privado alemán. Así, la agencia de calificación Standard & Poor's estimó en 2019 que el precio de la energía en Europa podría aumentar en un 30% los siguientes seis años, incluyendo en sus causas, en especial, a las políticas alemanas: la desnuclearización y la posterior bajada del uso del carbón hasta 2025 (Goulard, 2019).

Tras visualizar los costos directos, han de mencionarse otros costos indirectos, a modo de indemnizaciones, que Alemania tendrá que pagar a empresas operantes de centrales nucleares que se han visto obligadas a cerrar, en ocasiones, contraviniendo la ley (World Nuclear News, 2013; Tribunal Constitucional de Alemania, 2016: párrafo 396-398), además de inclusiones en los presupuestos públicos de “partidas que las empresas se niegan a asumir, entre ellas el desguace de las centrales, la limpieza del suelo, transporte de residuos, tratamiento y pago de cementerios nucleares, algunos de ellos en el extranjero” (Valero, 2016). Sólo la empresa Vattenfal, reclama 4,7 mil millones de euros en indemnización, y las últimas resoluciones en su

7 Un petajulio equivale a mil billones (o un billardo) [10¹⁵] de julios en escala larga (la que se usa en castellano), o un cuatrillón en escala corta (la que se utiliza en idioma inglés). Es una escala para medir importaciones y exportaciones de energía (especialmente gas), basada en el aporte energético en lugar del volumen de la fuente (que se suele usar en estudios energéticos, como el bcm –billion of cubic meters). Un bcm puede equivaler a 38,2 petajulios de gas ruso, o 41,4 de gas catarí (International Energy Agency, 2011: 304).

8 Respectivamente: partículas en suspensión de menos de 2,5 micras, Dióxido de azufre, y Dióxido de nitrógeno.

caso indican que puede obtener una buena parte de esta, aunque la cifra concreta no se podrá conocer hasta más adelante (Deutsche Welle, 2020 y Graupner, 2020).

Por su parte, el Instituto de Economía de la Competencia de la Universidad de Düsseldorf (Institut für Wettbewerbsökonomie an der Universität Düsseldorf) ha fijado un coste total de 520 mil millones de euros para la “Energiewende”, comprendiendo desde el año 2000 hasta el 2025, de los cuales, para el año 2015, ya se ha gastado 150 mil millones. El EEG-Umlage implica un 80% de este gasto, que supondrá para cada habitante alemán 6.300 euros, y 25.000 para una familia de cuatro miembros, según el instituto (Wetzel, 2020). Otros investigadores han cifrado el coste anual de (sólo) la desnuclearización en 12 mil millones de euros anuales (Jarvis et al., 2019: 31-32). Estos altos gastos, sumados al constante aumento del precio de la electricidad en Alemania, tiene evidentes consecuencias sociales: en el año 2017, **más de 330.000 hogares alemanes vieron como las eléctricas les cortaban la luz** (Reichmuth, 2016). No es menos cierto, sin embargo, que esta gran inversión deberá tener grandes beneficios a medio plazo en términos laborales, medioambientales y de redistribución, que deberán estudiarse para tener una visión diacrónica completa de un proceso de desnuclearización.

Como señalan Rehner y McCauley (2016):

En el contexto de una transición efectiva hacia un futuro de energía renovable, que implica la desconexión de la energía nuclear, el discurso político alemán está dominado por el triángulo de la política (...). Esto consta de tres aspectos: (1) seguridad energética, (2) viabilidad económica y (3) compatibilidad ambiental (...). [R]esulta sorprendente que el triángulo, utilizado para guiar las decisiones de política energética, no contenga explícitamente una dimensión social (Rehner y McCauley, 2016: 2).

En conclusión, se detecta la carencia de una dimensión social en la planificación del legislador germano desde 2011, unida a la especificación que recoge el Energiekonzept de 2010 de que la energía nuclear tendría un gran valor en la transición energética dado que su uso abarata la energía, y al repunte del gas para suplir las carencias de las energías renovables. Ello nos indica que la “Energiewende” se ha impuesto al Energiekonzept, en cierta manera, ante los consumidores/contribuyentes alemanes (y sus condiciones de vida), en gran parte mediante impuestos. En definitiva, no parece que copiar el modelo alemán adoptado tras Fukushima, ignorando el alza de precios y el uso del carbón y el gas, sea compatible con políticas sociales que pretendan mantener bajos precios de energía y seguridad energética para los ciudadanos.

4.3 Emisiones de CO₂

Dados los resultados efectivos en la bajada de emisiones carbónicas de Alemania hasta la actualidad, acercándose a su objetivo de 2020, podemos concluir que la “Energiewende” se ha planteado como una desnuclearización y una descarbonización con un orden concreto por motivos políticos (el miedo provocado por el accidente de Fukushima), debido que el país sigue manteniendo un importante peso del lignito en su producción energética.

La problemática del orden de prioridades en lo relativo a la energía nuclear y al uso del carbón, en relación al accidente de Fukushima y el cortoplacismo político, ha sido remarcada por varias personalidades de la sociedad civil alemana, como Herbert Diess, CEO del grupo Volkswagen:

Las prioridades se establecieron incorrectamente: primero se debería haber salido del carbón y luego de la energía nuclear. Si la protección del clima es importante para nosotros, las centrales nucleares deberían funcionar por más tiempo. En la lucha contra el calentamiento global, uno tiene que comenzar con las grandes palabras, es decir, evitar los combustibles fósiles: carbón, petróleo, gas (Mortsiefer y Tartler, 2019).

Quemar lignito genera más emisiones de CO₂ que quemar hulla, y genera entre 3 y 7 veces más emisiones que el gas. Además, con la quema de ambos tipos de carbón se emite mercurio. Por otro lado, el uso de lignito choca directamente con el objetivo de la eficiencia energética de la “Energiewende” (vid. Gráfico 8), ya que es un tipo de carbón relativamente húmedo (en porcentajes que dependen de la variante de Lignito), lo que deriva de su menor cantidad de carbono, y, por tanto, mayor de oxígeno e hidrógeno, empeorando más las emisiones de su quema. La condición inherentemente “húmeda” del lignito conlleva que sea ineficiente quemar este tipo de carbón, especialmente las variantes con menos porcentaje de carbono, en comparación con variantes más “secas”. Si bien, secar el lignito antes de quemarlo implica necesariamente usar más combustible para obtener la misma cantidad de energía, así como más actividad minera (Kahya, 2014).

Por último, las emisiones han derivado en otros costes que recogen algunos especialistas como Jarvis et al. (2019):

Los daños climáticos producidos sólo por los aumentos de emisiones de CO₂ derivados de la salida (de la energía nuclear) aumentan a un total de 1,8 mil millones de dólares por año. Sin embargo, los mayores impactos de la salida han sido, por mucho, los costes externos de las emisiones locales de contaminación del aire. Específicamente, una mayor exposición a la contaminación del aire local resulta en un exceso adicional de 1,100 muertes debido a una peor calidad del aire. Estimamos que el impacto de la mortalidad monetizada es de 8.7 mil millones de dólares por año cuando se usan emisiones reportadas, con otros 0.2 mil millones de dólares por año en costos de morbilidad. La reducción promedio en los costos externos de los desechos nucleares y los riesgos de accidentes son pequeños en comparación con \$ 0.2 mil millones por año. En general, estimamos que los costos anuales continuos de la eliminación nuclear son de aproximadamente \$ 12,2 mil millones por año (Jarvis et al., 2019: 29).

4.4 Problemática de la desnuclearización a corto plazo.

Existe una clara aversión al riesgo de los políticos alemanes respecto a la energía nuclear y su papel en el futuro energético de Europa, aún dada la baja probabilidad de que ocurra un accidente como el de Fukushima, tanto a nivel general, como, especialmente, en Alemania.

Un accidente nuclear es un evento altamente visible, pero de baja probabilidad, que puede vincularse claramente con el reactor nuclear infractor. Esto puede llevar a los encargados de formular políticas y al público a sobreestimar la probabilidad ex ante de que ocurran accidentes nucleares, así como los costos de estos accidentes (Jarvis et al., 2019: 34).

Aunque muchos expertos en el cambio climático han argumentado que la energía nuclear es una parte necesaria para la transición de los combustibles fósiles, intensivos en emisiones de carbono, a energías más limpias, la actitud del gobierno alemán hacia la energía nuclear ha generado una política en la que no se ha actuado todo lo racionalmente que se podría, si nos atenemos a las bajas posibilidades de replicarse

un accidente como el de Fukushima en Alemania (Jarvis et al., 2019: 32-33) y los objetivos que el propio gobierno estableció para una transición a corto plazo.

Como señalan Rehner y McCauley (2016) en su estudio comparativo de modelos:

En términos de impactos ambientales, la pérdida de capacidad eléctrica de la eliminación parcial de Alemania en 2011 resultó en una mayor combustión de carbón en la segunda mitad de 2011 y 2012 para compensar la pérdida de capacidad eléctrica (...). Por lo tanto, hubo un aumento a corto plazo en las emisiones de CO₂, en comparación con el escenario en el que se empleó la producción de energía nuclear (...). A mediano y largo plazo, se espera que las emisiones de CO₂ disminuyan a un nivel más bajo que en un escenario que emplea la producción de energía nuclear, ya que la eliminación gradual de la energía nuclear fomenta la expansión de Energías Renovables más allá del nivel de capacidad necesaria para reemplazar simplemente nuclear (Rehner y McCauley, 2016: 10).

Queda claro que otros modelos para la desnuclearización, como los modelos estudiados por Knopf et al. (2012 y 2014), que plantean que una salida más tardía de las nucleares, como 2038, habrían permitido un escenario con menores emisiones de CO₂ y menores precios finales para el consumidor (Knopf et al., 2012: 9-14, 21-22; Knopf et al., 2014: 92-96).

Se puede pensar, por tanto, que la decisión de desnuclearizar Alemania en el plazo de 11 años tomada en 2011 por la administración de Angela Merkel, a raíz del accidente de Fukushima, no obedeció tanto a razones de transición hacia una economía “verde”, ni, por supuesto contempló el impacto social de dicha política. Por el contrario, ha quedado demostrado que todos los objetivos planteados por el gobierno alemán (reducción de importaciones de gas, aumento de renovables, o precios asequibles, entre otros) son mutuamente excluyentes, máxime cuando se pretende eliminar con uno de los elementos relevantes del mix energético.

5. Conclusiones

El proyecto de transición hacia un mix energético verde alemán, conocido como “Energiewende”, que hemos elegido como objeto de análisis, no se puede considerar cerrado ni completo.

Hasta ahora, se puede afirmar sobre la desnuclearización alemana lo siguiente:

- 1) Los problemas inherentes a las energías renovables han llevado a Alemania a recurrir al gas natural (importado) para suplir la carencia producida por el apagón nuclear, así como de lignito, si bien es cierto que las llamadas energías verdes han crecido espectacularmente. Los problemas de eficiencia energética de las renovables aún están lejos de estar solucionados, y existe una cierta brecha territorial entre el norte y el sur del país en la implementación y el transporte de esta energía. El gas natural sigue siendo un hidrocarburo, aunque es mucho menos contaminante que el carbón y el petróleo. Por último, llama la atención el peso del lignito (más contaminante que la hulla) hasta el año 2019.
- 2) El precio para el consumidor privado alemán ha aumentado vertiginosamente en 10,8 cts/kWh desde 2007, o 5,4 cts/kWh desde 2011 para el año 2019 (un aumento de un 21,18%), convirtiendo a la electricidad de Alemania en la más cara de Europa. Dicho aumento es multicausal, contándose entre ellas impuestos indirectos como el EEG-Umlage, el recargo KWKG, y otros recargos derivados de

otros impuestos y de gastos de mantenimiento de infraestructuras. La transición energética alemana ocupa alrededor de un 30% del precio total de la factura de la luz del consumidor privado alemán. Además, deben integrarse gastos indirectos derivados de subvenciones, indemnizaciones, entre otros factores. El coste total para la transición hacia un mix “verde” se ha llegado a costear en hasta 520 mil millones para todo el proceso desde el 2000 hasta el 2025. La aceleración del apagón nuclear, en definitiva, sólo ha acrecentado este costo debido al efecto sustitución energético.

- 3) Los objetivos de emisiones carbónicas para 2020 se han cumplido gracias al papel de las renovables (aunque la crisis del Covid-19 puede interferir en los datos de ese año en concreto). Sin embargo, priorizar la desnuclearización a la descarbonización no sólo tiene efectos económicos, sino también sanitarios y ecológicos debido a las emisiones producidas por el uso del carbón. Alemania ha priorizado la desnuclearización debido a sus reservas de lignito y a la presión de la opinión pública tras el accidente de Fukushima, y tras analizar los resultados, se hace evidente que un (relativamente) rápido apagón nuclear puede ser nocivo para los objetivos verdes de las políticas de transición energética.

En cuanto al futuro, Alemania tiene varias opciones aún por delante, dentro de las cuales entran los combustibles sintéticos (en especial el gas sintético). Así, una vez vistos los efectos de la “Energiewende” hasta el momento, podemos concluir que las siguientes son sus posibilidades a corto y medio plazo:

- 1) Alemania puede reducir sus emisiones de CO₂ sustituyendo el carbón por gas natural, pasando a ser ésta última la energía fundamental del país, por suplir al carbón y por complementar a las renovables. Es una opción menos limpia que usar los reactores nucleares, pero más que seguir usando carbón.
- 2) Alemania podría replantearse finalmente la opción nuclear, en particular tras la salida de Angela Merkel de la cancillería (poco probable con los verdes en el nuevo gobierno), dados los elevados precios de la electricidad en Alemania y los posibles avances en reactores de fusión. De hecho, el consorcio internacional ITER en Ginebra, así como el proyecto Stellerator de Alemania en Greifswald, han logrado avances significativos en los últimos años. También se puede considerar una confianza en reactores de fisión seguros, como ha hecho Suecia, que revocó su decisión de abandonar las nucleares, tomada en la década de los 80, (Sinn, 2017: 68).
- 3) Puede terminar la desnuclearización y promover una fuerte descarbonización, con relativamente baja dependencia del gas, sosteniendo el sistema energético alemán fundamentalmente en energía solar, eólica, otras energías menores y los avances que se desarrollen en los combustibles sintéticos. Esta opción, la más “verde” de todas, resulta problemática porque no se resuelven los problemas estructurales de las energías renovables, y porque aún se necesita investigación para plantear un despliegue masivo de combustibles sintéticos.

Para finalizar las conclusiones, y habiendo analizado las consecuencias de la desnuclearización a corto plazo de la “Energiewende” alemana, se pueden extraer las siguientes lecciones en forma de opciones de transición energética para otros países con unas características económicas y un mix energético relativamente parecido:

- 1) Una implementación de un plan similar a la “Energiewende”, basado en un fuerte retroceso de las nucleares, con vistas a que éstas desaparezcan antes de 2031 o 2032, y no preocuparse por reducir el peso del carbón y el petróleo.

Este plan implicaría (i) mayores precios para el consumidor, ya que la energía nuclear es la que más abarata los costes, (ii) una necesaria sustitución de una parte de la energía nuclear producida gracias a una subida de las renovables, que, de no poder realizarse óptimamente, conllevaría recurrir al gas, al carbón o al petróleo, y por consiguiente, (iii) unas posibles mayores emisiones debido a la sustitución (aun por un tiempo relativamente corto).

- 2) Implementar una desnuclearización a medio plazo (20 o 30 años), asegurando primero la descarbonización, y el avance de las renovables, no teniendo que consumir más gas para suplir la energía nuclear. Este modelo alternativo basado en los errores (o ausencias en las políticas públicas) de la “Energiewende” (altos precios y prácticamente similar contaminación durante años), permitiría mantener (i) unos precios relativamente más bajos con respecto al primer escenario gracias a la participación de las nucleares, (ii) una sustitución mucho más paulatina y segura de la energía nuclear por energías renovables, por lo que (iii) no sería necesario aumentar la importación de gas o petróleo, e (iv) implicaría unas emisiones de CO₂ descendientes.
- 3) No abandonar la energía nuclear, haciendo que sea el complemento para las energías renovables, siendo la más limpia de las energías que pueden hacerlo. Mantener la energía nuclear hasta descarbonizar por completo el país y decidir, posteriormente, si es mejor complementar la implantación de las renovables con gas natural (contaminante), o con energía nuclear relativamente limpia, garantizaría: (i) unos precios considerablemente menores a los que podrían generarse de la explotación masiva de gas (sobre todo si es importado) (ii) una sustitución del carbón y el petróleo (e incluso el gas) por energías renovables, y (iii) unas emisiones de CO₂ cada vez menores.

En definitiva, la experiencia alemana demuestra que descartar la energía nuclear como fuente al comenzar una transición energética (una desnuclearización a corto plazo) no siempre es la opción más lógica, tanto en términos de sustitución de fuentes, como en orden de prioridad (ya que el carbón debería ser la primera fuente en ser eliminada), así como por el impacto en los precios para los ciudadanos. La energía nuclear (de fisión) puede ser útil como herramienta transitoria a medio y largo plazo para la consolidación de una economía “verde”, en el marco del esfuerzo global como es el de tener un mundo con menos emisiones contaminantes, y con energía tanto de suministro seguro como asequible para toda la población.

6. Bibliografía

- ABC. (15 de marzo de 2011). Merkel cierra las centrales nucleares anteriores a 1980. *ABC Internacional*. Recuperado de https://www.abc.es/internacional/rc-merkel-cierra-centrales-nucleares-201103150000_noticia.html
- Agencia EFE. (27 de junio de 2015). Alemania cierra otra central nuclear y mantiene el apagón total para 2022. *EFE.com*. Recuperado de <https://www.efe.com/efe/espana/economia/alemania-cierra-otra-central-nuclear-y-mantiene-el-apagon-total-para-2022/10003-2650621>
- Agora Energiewende. (2015). Die “Energiewende” im Stromsektor: Stand der Dinge 2014. Rückblick auf die wesentlichen Entwicklungen sowie Ausblick auf 2015. Recuperado de https://www.agora-energie.de/fileadmin2/Projekte/2014/Jahresrueckblick-2014/Agora_Jahresauswertung_2014_Aktualisierung_Sep_2015.pdf

- Agora Energiewende. (2016). Die "Energiewende" im Stromsektor: Stand der Dinge 2015. Rückblick auf die wesentlichen Entwicklungen sowie Ausblick auf 2016. Recuperado de https://www.agora-energies.de/fileadmin2/Projekte/2016/Jahresauswertung_2016/Agora_Jahresauswertung_2015_web.pdf
- Agora Energiewende. (2017). Die "Energiewende" im Stromsektor: Stand der Dinge 2016. Rückblick auf die wesentlichen Entwicklungen sowie Ausblick auf 2017. Recuperado de https://www.agora-energies.de/fileadmin2/Projekte/2017/Jahresauswertung_2016/Agora_Jahresauswertung-2016_WEB.pdf
- Agora Energiewende. (2018). Die "Energiewende" im Stromsektor: Stand der Dinge 2017. Rückblick auf die wesentlichen Entwicklungen sowie Ausblick auf 2018. Recuperado de https://www.agora-energies.de/fileadmin2/Projekte/2018/Jahresauswertung_2017/Die_energies_energies_im_Stromsektor_2017.pdf
- Agora Energiewende. (2019). Die "Energiewende" im Stromsektor: Stand der Dinge 2018. Rückblick auf die wesentlichen Entwicklungen sowie Ausblick auf 2019. Recuperado de https://www.agora-energies.de/fileadmin2/Projekte/2018/Jahresauswertung_2018/125_Agora-JAW-2018_WEB.pdf
- Agora Energiewende. (2020). Die "Energiewende" im Stromsektor: Stand der Dinge 2019. Rückblick auf die wesentlichen Entwicklungen sowie Ausblick auf 2020. Recuperado de www.agora-energies.de/fileadmin2/Projekte/2019/Jahresauswertung_2019/171_A-EW_Jahresauswertung_2019_WEB.pdf
- Anduiza, E. y Bosch, A. (2004). *Comportamiento político y electoral*. Barcelona: Ariel.
- Arbeitsgemeinschaft Energiebilanzen. (2020): Bruttostromerzeugung in Deutschland ab 1990 nach Energieträgern. Recuperado de https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=&ved=2ahUKEwjPz5vdm97qAhXC8eAKHri6AsEQFjAAegQIBBAB&url=https%3A%2F%2Fag-energiebilanzen.de%2Findex.php%3Farticle_id%3D29%26fileName%3D20181214_brd_stromerzeugung1990-2018.pdf&usq=AOvVaw2j0xw-SD3BpEDLuCWkeWbY
- Bauer, S., Gusev, B. I., Pivina, L. M., Apsalikov, K. N., y Grosche, B. (2005). Radiation exposure due to local fallout from Soviet atmospheric nuclear weapons testing in Kazakhstan: solid cancer mortality in the Semipalatinsk historical cohort, 1960–1999. *Radiation research*, 164(4), 409–419. DOI: <https://doi.org/10.1667/RR3423.1>
- BMU. (2014). A good piece of work. A good piece of work. The Energy of the *Future*. Recuperado de https://www.bmwi.de/Redaktion/EN/Publikationen/fortschrittsbericht-kurzfassung-en.pdf?__blob=publicationFile&v=7
- BMWi y BMU. (2010): Energiekonzept für eine umweltschonende, zuverlässige und bezahlbare Energieversorgung. Recuperado de https://www.bmwi.de/Redaktion/DE/Downloads/E/energiekonzept-2010.pdf?__blob=publicationFile&v=5
- BMWi. (2018). Sixth Energy Transition Monitoring Report: The Energy of the Future. Recuperado de https://www.bmwi.de/Redaktion/EN/Publikationen/Energie/sexster-monitoring-bericht-zur-energies-energies-kurzfassung.pdf?__blob=publicationFile&v=7
- Bundesnetzagentur. (2020). Details zu Abgaben und Umlagen. Recuperado de <https://www.bundesnetzagentur.de/DE/Sachgebiete/ElektrizitaetundGas/Verbraucher/PreiseRechnTarife/preiseundRechnungen-node.html>

- Camino, J. (16 de marzo de 2020). Climate change: Germany cuts carbon emissions by 6.3% in 2019. *Deutsche Welle*. Recuperado de <https://www.dw.com/en/climate-change-germany-cuts-carbon-emissions-by-63-in-2019/a-52791753>
- Cunningham, T. (2018). "Energiewende": From Germany's Past to Europe's Future? En Cunningham, T., Hedberg, A., Nazakat, S., y Yao, L. (2018). Assessing the "Energiewende": An international expert review. *Konrad Adenauer Stiftung*. Recuperado de <http://www.jstor.org/stable/resrep17543.4>
- Deggerich, M. (15 de junio de 2000): Konsens bei Atomgesprächen Der Ausstieg kommt, aber keiner weiß wann. *Der Spiegel*. Recuperado de <https://www.spiegel.de/politik/deutschland/konsens-bei-atomgesprachen-der-ausstieg-kommt-aber-keiner-weiss-wann-a-80879.html>
- Deutsche Welle (5 de septiembre de 2018). US arbitration court rejects Germany's plea in nuclear phaseout compensation case. *Deutsche Welle*. Recuperado De <https://www.dw.com/en/us-arbitration-court-rejects-germanys-plea-in-nuclear-phaseout-compensation-case/a-45362256>
- Deutsche Welle. (9 de junio de 2008). Merkel apuesta por el retorno de Alemania a la energía nuclear. *Deutsche Welle*. Recuperado de <https://www.dw.com/es/merkel-apuesta-por-el-retorno-de-alemania-a-la-energ%C3%ADa-nuclear/a-3399405>
- Eurostat. (2020). Electricity price statistics. Recuperado de https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php/Electricity_price_statistics
- Goulard, H. (15 de noviembre de 2019). La transition énergétique va gonfler les prix de l'électricité en Europe. *Les echos*. Recuperado de <https://www.lesechos.fr/industrie-services/energie-environnement/la-transition-energetique-va-gonfler-les-prix-de-lelectricite-en-europe-1146881>
- Graupner, H. (23 de junio de 2018). German government approves nuclear phaseout compensation. *Deutsche Welle*. Recuperado de <https://www.dw.com/en/german-government-approves-nuclear-phaseout-compensation/a-43892394>
- Hasselbach, C., Romaniec, R., Soric, M., von Nahmen, A. y Sheiko, I. (4 de febrero de 2019). Nord Stream 2 pipeline row highlights Germany's energy dependence on Russia. *Deutsche Welle*. <https://www.dw.com/en/nord-stream-2-pipeline-row-highlights-germanys-energy-dependence-on-russia/a-47344788>
- Hockenos, P (22 de junio de 2015). "Energiewende" – the first four decades. The history of "Energiewende". *Journalism for the energy transition*. Recuperado de [https://www.cleanenergywire.org/dossiers/history-"Energiewende"](https://www.cleanenergywire.org/dossiers/history-)
- Hoerber, T., Weber, G., & Cabras, I. (2020). The Role of Sustainability as Ideology in shaping Collaborative Governance within the European Union. *International Public Management Review*, 20(2).
- International Energy Agency. (2011). *World Energy Outlook 2011*. Recuperado de: <https://www.iea.org/reports/world-energy-outlook-2011>
- International Energy Agency. (2020): Countries: Spain. Recuperado de <https://www.iea.org/countries/spain>
- Jarvis, S., Deschenes, O., y Jha, A. (2019). *The Private and External Costs of Germany's Nuclear Phase-Out*. National Bureau of Economic Research.NBER Working Paper No. 26598. DOI: <https://doi.org/10.3386/w26598>

- Kahya, D. (28 de agosto de 2014). Five reasons why expanding brown coal mines might be a problem. *Greenpeace*. Recuperado de <https://unearthed.greenpeace.org/2014/08/28/five-reasons-expanding-brown-coal-mines-might-problem/>
- Keppler, J. H. (2012). The economic costs of the nuclear phase-out in Germany. *NEA News; Issy-les-Moulineaux*, 30(1), 8-14.
- Knoema. (2021). Production de lignite noir. Recuperado de: <https://knoema.fr/atlas/topics/%c3%89nergie/Charbon/Production-de-lignite-noir#:~:text=The%20world's%20total%20production%20of,thousand%20short%20tons%20in%202019.>
- Knopf, B., Pahle, M., Kondziella, H., Joas, F., Edenhofer, O., y Bruckner, T. (2012). Germany's nuclear phase-out: Impacts on electricity prices, CO2 emissions and on Europe. *Potsdam Institute for Climate Impact Research, Institute for Infrastructure and Resource Management* (University Leipzig), Germany.
- Knopf, B., Pahle, M., Kondziella, H., Joas, F., Edenhofer, O., y Bruckner, T. (2014). Germany's Nuclear Phase-out: Sensitivities and Impacts on Electricity Prices and CO₂ Emissions. *Economics of Energy & Environmental Policy*, 3(1), 89-106. DOI: <http://dx.doi.org/10.5547/2160-5890.3.1.bkno>
- Ley 40/1994, de 30 de diciembre, de ordenación del Sistema Eléctrico Nacional. Recuperado de <https://www.boe.es/buscar/doc.php?id=BOE-A-1994-28966>
- Mas, A. (19 de noviembre de 2018). Alemania cierra sus centrales nucleares pero apuesta por la energía atómica en bolsa. *El diario.es*. Recuperado de https://www.eldiario.es/economia/alemania-cerrara-centrales-nucleares-apostando_1_1829266.html
- Ministerio de Relaciones Exteriores de Alemania. (2015). La "Energiewende" alemana. Recuperado de http://www.congreso.es/docu/docum/ddocum/dosieres/sleg/legislatura_12/spl_28/pdfs/9.pdf
- Mortsiefer, H. y Tartler, J. (31 de mayo de 2019). Die Kernkraftwerke sollten länger laufen. *Die Tagesspiegel*. Recuperado de <https://background.tagesspiegel.de/mobilitaet/die-kernkraftwerke-sollten-laenger-laufen>
- Ongena, J. P. H. E., y Oost, G. V. (2002). Energy for future centuries: will fusion be an inexhaustible, safe, and clean energy source?. *Fusion science and technology*, 45(2T), 3-14. DOI: 10.13182/FST02-A11963498
- Ongena, J. P. H. E., y Oost, G. V. (2012). Energy for future centuries: Prospects for fusion power as a future energy source. *Fusion Science and Technology*, 61(2T), 3-16.
- Poch, R. (16 de marzo de 2011). Alemania cierra siete de sus 17 centrales nucleares. *La Vanguardia*. Recuperado de <https://www.lavanguardia.com/economia/20110316/54127427566/alemania-cierra-siete-de-sus-17-centrales-nucleares.html>
- Rehner, R., y McCauley, D. (2016). Security, justice and the energy crossroads: Assessing the implications of the nuclear phase-out in Germany. *Energy Policy*, 88, 289-298. DOI:<http://dx.doi.org/10.1016/j.enpol.2015.10.038>
- Reichmuth, A. (6 de enero de 2018). Kosten für "Energiewende" explodieren. *Basler Zeitung*. Recuperado de [https://www.bazonline.ch/ausland/europa/kosten-fuer-"Energiewende"-explodieren/story/13230493](https://www.bazonline.ch/ausland/europa/kosten-fuer-)

- Roca, R. (10 de enero de 2018). La transición energética en Alemania, el gran fracaso de Angela Merkel. *El periódico de la energía*. Recuperado de <https://elperiodicodelaenergia.com/la-transicion-energetica-en-alemania-el-gran-fracaso-de-angela-merkel/>
- Sinn, H. W. (2017). Buffering volatility: A study on the limits of Germany's energy revolution. *European Economic Review*, 99: 130-150. DOI:<http://dx.doi.org/10.1016/j.euroecorev.2017.05.007>
- Tribunal Constitucional de Alemania. (2016). Sentencia de la Sala Primera de 6 de diciembre de 2016 (1 BvR 2821/11). Recuperado de: https://www.bundesverfassungsgericht.de/SharedDocs/Entscheidungen/DE/2016/12/rs20161206_1bvr282111.html [Bundesverfassungsgericht. (2016). Urteil des Ersten Senats vom 6. Dezember 2016 (1 BvR 2821/11). Erholt von: https://www.bundesverfassungsgericht.de/SharedDocs/Entscheidungen/DE/2016/12/rs20161206_1bvr282111.html]
- Valero, C. (12 de marzo de 2016). Juicio en Alemania al 'cerrojazo' nuclear de Merkel. *El Mundo*. Recuperado de www.elmundo.es/economia/2016/03/12/56e326fb22601dae268b45a5.html
- Vallès, J.A. (2006). *Ciencia Política: Una introducción*. Barcelona: Ariel.
- Vivoda, V. (2017). Australia and Germany: A New Strategic Energy Partnership. Australian Strategic Policy Institute. Recuperado de <http://www.jstor.org/stable/resrep04255>
- Weber, G. (2012). La ecología política de la «Energiewende» (transición energética) en Alemania. *Ecología Política*, (44), 61-68.
- Weber, G., & Cabras, I. (2017). The transition of Germany's energy production, green economy, low-carbon economy, socio-environmental conflicts, and equitable society. *Journal of Cleaner Production*, 167, 1222-1231. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.07.223>
- Weber, G., Cabras, I., & Frahm, L. G. (2019). De-privatisation and remunicipalisation of urban services through the pendulum swing: Evidence from Germany. *Journal of Cleaner Production*, 236, 117555. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.07.030>
- Wettengel, J. (2019). "Germany's dependence on imported fossil fuels", *Clean Energy Wire*. Recuperado de: <https://www.cleanenergywire.org/factsheets/germanys-dependence-imported-fossil-fuels>
- Wetzel, D. (10 de octubre de 2016). "Energiewende" kostet die Bürger 520.000.000.000 Euro – erstmal. *Die Welt*. Recuperado de <https://www.welt.de/wirtschaft/article158668152/>"Energiewende"-kostet-die-Buerger-520-000-000-000-Euro-erstmal.html
- World Nuclear Association. (2019). NuclearPower in Germany. Recuperado de <https://www.world-nuclear.org/information-library/country-profiles/countries-g-n/germany.aspx>
- World Nuclear Association. (2020). Nuclear Generation by Country. Recuperado de <https://www.world-nuclear.org/information-library/facts-and-figures/nuclear-generation-by-country.aspx#UkrawYakrOM>
- World Nuclear News. (28 de febrero de 2013). Court rules Biblis closure unlawful. *World Nuclear News*. Recuperado de https://www.world-nuclear-news.org/NP-Court_rules_Biblis_closure_unlawful-2802137.html



© 2022 por el autor. Licencia a ANDULI, Editorial Universidad de Sevilla. Este artículo es un artículo publicado en acceso abierto bajo los términos y condiciones de la licencia Creative Commons Attribution (CC BY) (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/>).