Capítulo quinto

La energía nuclear en España: una fuente controvertida

Javier Molina Martínez

Resumen

Los reactores nucleares españoles, herederos de una tecnología devastadora, siguen sumando años de vida operativa y se acercan a cumplir la edad de funcionamiento para la que se habían diseñado. Al mismo tiempo, cada vez son más las voces que claman por la necesidad de su cierre. Sin embargo, otros actores apuestan por la energía nuclear para cumplir con el Acuerdo de París[1], a la vez que aseguran un suministro fiable y cierta prosperidad económica.

Ante esta situación, resulta de interés replantear el debate nuclear, estudiar de manera rigurosa si es aconsejable finalizar con una quinta parte del *mix* energético español, sin la seguridad de su sustitución, y tratar con la cautela necesaria todos los datos que encumbran o vilipendian la generación nucleoeléctrica.

Para ello, cabe plantearse la evolución de sus principales competidoras, como son las plantas de combustibles fósiles y, sobre todo, un tipo de generación en pleno auge y que amenaza con

[1] United Nations, *Acuerdo de París Naciones Unidas 2015*, 2015, p. 29, https://unfccc.int/sites/default/files/spanish_paris_agreement.pdf.

desplazar del tablero de energías con baja huella de carbono a la nucleoeléctrica: las energías renovables.

Palabras clave

Energía nuclear, España, generación, renovables, cambio climático.

Nuclear energy in Spain: a controversial source of energy

Abstract

Spanish nuclear reactors, heirs of a devastating technology, are getting older from their operational point of view and are close to reaching the operating age for which they were designed. At the same time, more and more voices cry out for the need for its closure. However, some players are betting on nuclear energy to comply with the Paris Agreement, while ensuring a reliable supply and economic prosperity.

In this situation, it happens to be interesting to rethink the nuclear debate, rigorously study whether it is advisable to end with a fifth of the Spanish energy mix, without the security of its substitution, and treat with all necessary caution all the data that exalt or vilify the nuclear electric generation.

To do this, it is necessary to consider the evolution of its main competitors such as fossil fuel powerplants and, above all, a type of generation that is booming and that threatens to displace nuclear power from the low-carbon footprint board: energy renewable

Keywords

Nuclear energy, Spain, energy generation, renewables, climate change.

Introducción

Una tecnología que nace como un arma devastadora, sujeta al halo de misterio que le confiere lo específico de su conocimiento, se instala en España prácticamente a la vez que en otros países económica y tecnológicamente más desarrollados.

Se desconoce el motivo por el que una fuente, de por sí controvertida, como la energía nuclear tiene un rechazo tan profundo en nuestro país. Sin embargo, a día de hoy supone una quinta parte de la generación anual y, conforme a los planes del Gobierno, está previsto que vaya desapareciendo paulatinamente del *mix* energético en los próximos años.

Cómo y en qué contexto se puede producir, si es posible, esta desaparición resulta complicado de vislumbrar. Sin embargo, cabe plantearse la evolución de la energía nuclear en España analizando cómo podría ser el desarrollo de sus competidoras, los combustibles fósiles y, sobre todo, las energías renovables.

Inicio de la era nuclear

Entre 1939 y 1945 se produjo una de las mayores carreras tecnológicas de la historia de la humanidad. En plena Segunda Guerra Mundial, las potencias del Eje y los Aliados se afanaban por diseñar el arma definitiva que inclinase la balanza en favor de unos u otros.

En este entorno, a raíz del ataque japonés en Pearl Harbour en 1941, los Estados Unidos se decidieron a tomar parte en la contienda[2]. Los físicos más renombrados del país norteamericano, entre los que se encontraba el propio A. Einstein[3], animaron al presidente Franklin D. Roosevelt a permitir la investigación para el desarrollo del arma nuclear, el conocido como Manhattan Project.

A finales de 1942, un equipo liderado por Enrico Fermi fue capaz de generar una reacción en cadena controlable. Este fue el comienzo del desarrollo de lo que hoy conocemos como energía nuclear[4].

---

[2] Dönitz, Karl, *Diez años y veinte días : memorias del hombre que sucedió a Hitler como jefe del III Reich*, La Esfera de los Libros 2006, p. 313.

[3] A. Laca Arocena, Francisco, *Albert Einstein: Un Sionismo Pacifista*, 2009.

[4] Raymond L. Murray y Keith E. Holbert, *Nuclear energy, an introduction to the concepts, systems, and applications of nuclear processes*, 2009, p. 220.

En principio, y debido a la situación de conflicto en la que se encontraban las potencias del globo, este nuevo tipo de energía se ideó para la creación de un arma[5]. Se pretendía que fuese capaz de disuadir a un enemigo que no la poseyera de continuar con las hostilidades[6].

El 16 de julio de 1945, en algún lugar del desierto de Nuevo México, los científicos estadounidenses probaron con éxito la que sería la primera explosión nuclear de la historia[7]. La Alemania nazi había claudicado, pero el Imperio del Sol Naciente no daba muestras de rendición. Los ciudadanos de cada una de las islas en las que entraban tropas norteamericanas luchaban hasta la extenuación antes de deponer las pocas armas que tenían disponibles.

La iniciativa del nuevo presidente de los Estados Unidos, Harry S. Truman, no se hizo esperar. En la Conferencia de Potsdam, el 26 de julio de 1945, se emitió un ultimátum de los Aliados dirigido al Imperio japonés[8]. Japón hizo caso omiso y, en consecuencia, el 6 de agosto de 1945 el presidente Truman ordenó el lanzamiento de la que sería la primera y penúltima bomba nuclear utilizada sobre población civil. La ciudad de Hiroshima fue el objetivo, Nagasaki tres días más tarde. En menos de una semana, Japón oficializó su rendición, el 15 de agosto de 1945[9].

El uso militar de la tecnología nuclear se había estrenado con un balance de miles de víctimas mortales con el objeto, según la posición oficial de los Estados Unidos, de evitar miles de víctimas más. En este sentido, el historiador supervisor archivístico oficial de la biblioteca Harry S. Truman, S. W. Rushay, declaró en 2019: «There was a widespread belief among American military planners that the Japanese would fight to the last man»[10].

---

5 U.S. Department of Energy, «The History of Nuclear Energy», 2019, https://www.energy.gov/sites/prod/files/The History of Nuclear Energy_0.pdf.

6 Michael Codner, «Defining «Deterrence», en: Anthony C. Cain (ed.), *Deterrence in the twenty-first century*, London: King's College 2009, pp. 19-20.

7 World Nuclear Association, «History of Nuclear Energy», World Nuclear Association Information Library, 2020, https://www.world-nuclear.org/information-library/current-and-future-generation/outline-history-of-nuclear-energy.aspx.

8 Andrew J. Rotter, *Hiroshima, the world's bomb*, Oxford University Press 2008); Max Hastings, *Retribution_ The Battle for Japan*, New York: Alfred A. Knopf 2008.

9 Rotter, *op. cit.*; Hastings, *op. cit.*

10 Ryan Browne y Scottie Andrew, «Why the US dropped an atomic bomb on Hiroshima - CNN», CNN, 2019, https://edition.cnn.com/2019/08/06/us/hiroshima-anniversary-explainer-trnd/index.html.

Esta fue la historia de los únicos ataques que se han realizado hasta la fecha con bombas nucleares. No obstante, el fin de la energía atómica no se limitaría al ámbito armamentístico y pronto empezarían a aparecer otros usos pacíficos de esta nueva tecnología.

Hacia un uso pacífico de la energía nuclear

Desde el comienzo de las investigaciones en este tipo de avances, los científicos fueron conscientes de su potencial para aplicaciones pacíficas. En 1951 se probó en el estado deIdahoel primer reactor nuclear experimental que produjo energía eléctrica[11]. Sin embargo, no sería Estados Unidos el pionero en su explotación industrial.

En 1954, la Unión Soviética creó la primera central nuclear civil del mundo[12]. Evento que no tendría lugar en Occidente hasta 1956, con la puesta en marcha de la central de Calder Hall en el Reino Unido[13].

En 1957 se crea la Agencia Internacional de la Energía Atómica (IAEA en sus siglas en inglés)[14] y en 1958 se crea la Comunidad Europea de la Energía Atómica (EURATOM)[15]. Es a partir de 1960 que poco a poco se va extendiendo el uso de este tipo de centrales de generación eléctrica en Estados Unidos, Japón de manera sustantiva, Suiza, Bélgica, Países Bajos, España, Alemania y Suecia, entre otros[16].

No obstante, no sería hasta la primera crisis del petróleo, en 1973, cuando proliferó la construcción de centrales nucleares. En aquel momento, los países occidentales parecieron tomar conciencia de su vulnerabilidad energética respecto a los hidro-

11 U.S. Department of Energy, «The History of Nuclear Energy».

12 D. Gabrianovich, «Al 50 aniversario de la ciudad de Obninsk», *Вы и Мы*, 29 de septiembre de 2005, https://web.archive.org/web/20070930135945/http://www.ippe.ru/ist/ippe-60/1.php.

13 Bernard I. Spinrad y Wade Marcum, «Nuclear reactor - From production reactors to commercial power reactors», *Encyclopædia Britannica*, 2019, https://www.britannica.com/technology/nuclear-reactor/Growth-of-nuclear-programs.

14 IAEA, «History | IAEA», 2019, https://www.iaea.org/about/overview/history.

15 EURATOM, «Versión consolidada del Tratado constitutivo de la Comunidad Europea de la Energía Atómica» (2012).

16 Juan Pedro Cavero, *HISTORIA DE LA ENERGÍA NUCLEAR* (José Luís Ibáñez Salas, Anatomía de la Historia, 2011), www.anatomiadelahistoria.com.

carburos[17] y la inestabilidad política reinante en los principales países productores. Este podría haber sido uno de los motivos principales por los que en la década de los 70 se pasaría de 84 a unos 245 reactores nucleares operativos y alrededor de 200 en construcción a nivel mundial[18].

Sin embargo, esta proliferación de la energía nuclear no estaría libre de controversias. Ni siquiera el mundo científico se pondría de acuerdo sobre si la expansión de la generación nucleoeléctrica era algo positivo[19], situación que confundiría a la sociedad. Además, los accidentes nucleares de los que el público general comenzó a tener noticia tampoco harían aumentar la popularidad de esta tecnología.

Principales accidentes nucleares

Desde que se inició la explotación de la energía generada por la reacción en cadena atómica se han producido algunas contrariedades, en algunos casos verdaderas catástrofes, que pueden haber influido en la percepción que actualmente tiene la población sobre las centrales nucleoeléctricas.

A continuación se puede observar un cuadro resumen con los accidentes nucleares de mayor trascendencia y sus consecuencias derivadas en términos de víctimas inmediatas y a medio plazo[20].

---

[17] Ferenc L Toth y Hans-Holger Rogner, «Oil and nuclear power: Past, present, and future», *Energy Economics* 28, n.o 1 (2006): 4, https://doi.org/10.1016/j.eneco.2005.03.004.

[18] IAEA-PRIS, «Nuclear Power History and Capacity», The database on Nuclear Power Reactors, 2020, https://pris.iaea.org/pris/.

[19] Murray y Holbert, *op. cit.,* p. 224.

[20] Evelyn 0 Talbott *et al.*, «Mortality among the Residents of the Three Mile Island Accident Area: 1979-1992», *Environ Health Ppect* 108 (2000): 1-8, https://ehp.niehs.nih.gov/doi/pdf/10.1289/ehp.00108545; William G Cross, «The Chalk River accident in 1952», 1980, http://www.nuclearfaq.ca/The_CR_Accident_in_1952_WG_Cross1980.pdf; Evgenia I. Tolstykh *et al.*, «Reconstruction of radionuclide intakes for the residents of East Urals Radioactive Trace (1957–2011)», *Radiation and Environmental Biophysics* 56, n.o 1 (1 de marzo de 2017): 27-45, https://doi.org/10.1007/s00411-016-0677-y; Richard Wakeford, «The Windscale reactor accident—50 years on», *Journal of Radiological Protection*, 2007, https://doi.org/10.1088/0952-4746/27/3/E02; World Nuclear Association, «Three Mile Island Accident», 2012, https://www.world-nuclear.org/information-library/safety-and-security/safety-of-plants/three-mile-island-accident.aspx; Thomas Rabl, «The Nuclear Disaster of Kyshtym 1957 and the Politics of the Cold War» (Environment & Society Portal, Arcadia (2012), n.º 20. Rachel Carson Center for Environment and Society, 2012), https://doi.org/10.5282/RCC/4967;

FECHA	LUGAR	TIPO DE ACCIDENTE	VÍCTIMAS MORTALES INMEDIATAS	VÍCTIMAS MORTALES A MEDIO PLAZO	PERSONAS AFECTADAS
12-12-1952	Chalk River (Canadá)	Destrucción del núcleo del reactor y derramamiento de combustible	0	0	0
29-09-1957	Mayak - Cheliabinsk (Rusia)	Explosión de varios tanques contenedores de residuos radioactivos	No se dispone de datos fiables	No se dispone de datos fiables	270000 aprox.

Ivan Katchanovski, «Fukushima vs. Chernobyl: Coverage of the Nuclear Disasters by American and Canadian Media», *Department of Communication & School of Political Studies University of Ottawa*, 2012; D McGeoghegan y K Binks, «Mortality and cancer registration experience of the Sellafield employees known to have been involved in the 1957 Windscale accident», *Journal of Radiological Protection* 20, n.o 3 (2000): 261, https://doi.org/10.1088/0952-4746/20/3/301; T. V. Azizova *et al.*, «Risk of mortality from circulatory diseases in Mayak workers cohort following occupational radiation exposure», *Journal of Radiological Protection* 35, n.o 3 (1 de septiembre de 2015): 517-38, https://doi.org/10.1088/0952-4746/35/3/517; Keith Baverstock y Dillwyn Williams, «The Chernobyl Accident 20 Years On: An Assessment of the Health Consequences and the International Response», *Environ Health Ppect* 114, n.o 9 (2006): 1312-17, https://ehp.niehs.nih.gov/doi/pdf/10.1289/ehp.9113; Organización Internacional de la Energía Atómica, «Fuentes radiactivas: Enseñanzas extraídas de Goiánia», 1988; T Hirama *et al.*, «Initial medical management of patients severely irradiated in the Tokai-mura criticality accident», *The British Journal of Radiology* 76, n.o 904 (2003): 246-53, https://www.researchgate.net/publication/10789770_Initial_medical_management_of_patients_severely_irradiated_in_the_Tokai-mura_criticality_accident; Atsuko Kitada, «Effects of the accident at Mihama Nuclear Power Plant Unit 3 on the public's attitude to nuclear power generation», *INNS* 37, n.o 29 (2005): 2-26, https://inis.iaea.org/search/search.aspx?orig_q=RN:37067634; Eric Johnston, «Japan's Nuclear Nightmare», *The Asia-Pacific Journal* 3, n.o 5 (2005): 9, https://apjjf.org/-Eric-Johnston/1694/article.pdf; Benjamin K Sovacool, «A Critical Evaluation of Nuclear Power and Renewable Electricity in Asia», *Journal of Contemporary Asia* 40, n.o 3 (2010): 369-400, https://doi.org/10.1080/00472331003798350; Takashi Oda, «Grasping the Fukushima displacement and diaspora», *The 2011 East Japan Earthquake Bulletin of the Tohoku Geographical Association*, n.o August 11th (2011): 7, http://www.tohokugeo.jp/articles/e-contents24.pdf; World Health Organization, «Chernobyl: the true scale of the accident», *World Health Organization*, 2018, https://www.who.int/mediacentre/news/releases/2005/pr38/en/.

FECHA	LUGAR	TIPO DE ACCIDENTE	VÍCTIMAS MORTALES INMEDIATAS	VÍCTIMAS MORTALES A MEDIO PLAZO	PERSONAS AFECTADAS
10-10-1957	Windscale (Reino Unido)	Fuego en el núcleo del reactor con fuga radioactiva	Desconocido	33	200-258
28-03-1979	Three Mile Island (Estados Unidos)	Fuga de materiales radioactivos	0	0	Varios miles de evacuados
26-04-1986	Chernóbil (Ucrania)	Explosión de uno de los reactores de la central	31	48 aprox.; otras fuentes hablan de hasta 4000[21]	200000 personas evacuadas; varios miles de afectados, 6000 aprox. (dependiendo de la fuente consultada)[22]
13-09-1987	Goiania (Brasil)	Contaminación radioactiva por una instalación de radioterapia abandonada	0	4	249 personas contaminadas
30-09-1999	Tokaimura (Japón)	Sobrecarga de uranio	0	3 (entre 8 y 210 días tras el accidente)	1 de manera directa y número indeterminado de trabajadores de la planta
09-08-2004	Mihama (Japón)	Escape de vapor no radioactivo	5	0	12 al menos con quemaduras de diverso grado

[21] Aunque algunos de los autores citados defienden que estas cifras se han exagerado.

[22] Varios estudios citados en la bibliografía argumentan que los tipos de enfermedades provocadas por la exposición a la radiación pueden estar latentes durante décadas, como ocurrió en el caso de Hiroshima y Nagasaki.

FECHA	LUGAR	TIPO DE ACCIDENTE	VÍCTIMAS MORTALES INMEDIATAS	VÍCTIMAS MORTALES A MEDIO PLAZO	PERSONAS AFECTADAS
08-04-2008	Khushab (Pakistán)	Fuga de gas	2	0	Población evacuada residente cerca de la central
11-03-2011	Fukushima (Japón)	Explosiones en los edificios de varios reactores debido a un terremoto y posterior tsunami	0	3 por causas diversas[23]	Miles de evacuados para evitar la radiación y debido a las consecuencias del tsunami

Cuadro 1. Comparativa de los principales accidentes nucleares. Fuentes: citadas en el párrafo anterior. Elaboración del autor.

De entre todos estos accidentes, hay cuatro, sombreados en el cuadro, que han tenido una gran repercusión, unos por la cantidad de víctimas a corto y medio plazo que han provocado y otros por la profunda influencia que tuvieron en la sociedad, tanto en el ámbito de sus propios Estados como a nivel global.

Consecuencia interesante de los accidentes

Todos estos accidentes parecen haber generado una especie de temor generalizado en la conciencia social, especialmente en la española, que incluso antes del accidente de Fukushima en 2011 ya se perfilaba como una de las que más percepción de riesgo tenía, lejos de otras naciones europeas con capacidad nuclear[24].

Esta percepción de riesgo hace que gran cantidad de población rechace la tecnología nucleoeléctrica. Se trata de un miedo que

[23] Oficialmente no existen fallecidos por consecuencia directa del accidente del reactor. Resulta difícil averiguar cuántas víctimas y afectados se deben directamente a los escapes de radiación y cuántos han sido solo desplazados o se han visto afectados debido a episodios de estrés, o incluso falta de acceso a energía para calefacción durante el invierno.

[24] Nuclear Energy Agency, «Public Attitudes to Nuclear Power», 2010, p. 23, www.oecd.org/publishing/corrigenda.

podría tener relación con la falta de control de la situación o, incluso, con el impacto mediático de los accidentes[25].

Otros expertos en energía nuclear también apelan al halo de misterio y desconocimiento que la sociedad asume tener sobre esta tecnología[26].

Con todo, en términos estadísticos, la energía nucleoeléctrica es un fenómeno que ha generado menos muertes y enfermedades que otros del siglo xx como podrían ser la contaminación atmosférica[27], el transporte individual[28] o la obesidad[29].

De entre todas, resulta especialmente llamativa la estadística de accidentes de tráfico. Según la Organización Mundial de la Salud[30], cada año se producen «una media de 1,35 millones de muertes debidas a accidentes de tráfico, y entre 20 y 50 millones de personas al año quedan con algún tipo de traumatismo no mortal». Como contrapartida, entre todas las víctimas mortales de accidentes nucleares en la historia de la humanidad no se llega a un ínfimo porcentaje de las víctimas por accidente de tráfico en un año.

Cabe hacerse la pregunta entonces de si es razonable en general, y de manera concreta en España, atribuir el rechazo a la energía nuclear exclusivamente a los accidentes que se han producido y a las muertes asociadas o, por el contrario, si existe algún motivo subyacente para censurar esta tecnología más allá de sensaciones.

---

[25] Liliana Haydee Aróstegui, «Miedo a volar, abordaje cognitivo», en: Ricardo Vergara (ed.), *Las psicoterápias como camino*, 2004, http://articulos-rvediciones.blogspot.com/2016/12/por-lic-liliana-haydee-arostegui-miedo.html; María González, «Si viajar en avión es lo más seguro, ¿por qué le seguimos teniendo miedo?», Xataka, 2015, https://www.xataka.com/vehiculos/si-viajar-en-avion-es-lo-mas-seguro-por-que-le-seguimos-teniendo-miedo.

[26] Murray y Holbert, *op. cit.*, p. 224.

[27] Jos Lelieveld *et al.*, «Cardiovascular disease burden from ambient air pollution in Europe reassessed using novel hazard ratio functions», *European Heart Journal* 40, n.o 20 (12 de marzo de 2019): 1590-96, https://doi.org/10.1093/eurheartj/ehz135; Philip J. Landrigan *et al.*, «The Lancet Commission on pollution and health», *The Lancet* 391, n.o 10119 (3 de febrero de 2018): 462-512, https://doi.org/10.1016/S0140-6736(17)32345-0.

[28] World Health Organization, «10 datos sobre la seguridad vial en el mundo», 2017, https://www.who.int/features/factfiles/roadsafety/es/.

[29] World Health Organization, «10 datos sobre la obesidad», *World Health Organization*, 2017, https://www.who.int/features/factfiles/obesity/es/.

[30] World Health Organization, «10 datos sobre la seguridad vial en el mundo».

El caso español

El inicio de la tecnología nuclear en nuestro país se produce a lo largo de la década de los sesenta, momento en que comienza el desarrollismo. A pesar de ello, la situación económica española no es comparable, por menos evolucionada, a la de otros Estados que también inician su particular era nuclear[31].

Sin embargo, los proyectos de centrales nucleares españolas no sufren apenas retraso respecto al resto de países desarrollados. Así, en 1968 se inaugura en el municipio de Almonacid de Zorita, provincia de Guadalajara, «José Cabrera», la primera central nuclear en España.

Con la crisis del petróleo de 1973 y la gran dependencia energética española, sale adelante el Plan Energético Nacional de 1975, que trata de reducir al mínimo la dependencia de los combustibles fósiles y promover la construcción de centrales nucleares que asuman hasta un 56%[32] de la generación eléctrica. Sin embargo, en 1978 se redacta un nuevo Plan Energético Nacional, «más realista»[33], que contempla una importante reducción en comparación al de 1975.

Finalmente, tras el éxito electoral del Partido Socialista Obrero Español en 1982, el plan de 1978 es paralizado para aprobar uno nuevo en 1984. Este nuevo Plan Energético solo establecería la puesta en marcha de cuatro centrales nucleares, y cancelaría *per se* la finalización de otras cinco. De este modo quedaría reducida la generación nucleoeléctrica proyectada en cerca de un 38%.

Las inversiones asumidas entre las empresas del sector eléctrico suponían, llegado el momento de la cancelación, unos 4350 millones de euros de la época[34] más intereses. Esto dio lugar a la denominada *moratoria nuclear*, es decir, a una compensación

[31] Joseba de la Torre y M. D. Mar Rubio, «El estado y el desarrollo de la energía nuclear en España», Asociación Española de historia económica, 2014.

[32] Como dato comparativo, la generación eléctrica proveniente de centrales nucleares en el año 2018 ha sido del 20,4°% (Fuente: Eurostat).

[33] C. Espejo, «La producción de electricidad de origen nuclear en España», *Boletín de la Asociación de Geógrafos Españoles*, n.o 33 (2002): 75, https://dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/1122433.pdf.

[34] Unos 729°000 millones de las antiguas pesetas.

estatal a las empresas debido a la inversión realizada. Esta deuda se terminó de pagar en el año 2015[35].

Desde entonces, con un total de siete reactores nucleares en funcionamiento desde 1983, el más antiguo, y 1988 el más moderno[36], ningún partido político ha vuelto a plantear proyecto alguno de construcción de nuevas centrales nucleares y no parece probable que se vaya a plantear en un futuro cercano. Lo que resulta llamativo, sabiendo que constituyen alrededor de una quinta parte de la producción energética en España[37] y que se acercan al fin de su vida operativa.

Muchos son los factores que pueden llevar a fundamentar la anterior afirmación. Sin embargo, para saber cómo pueden influir en la energía nuclear resulta necesario ponderar cómo se comportan sus competidoras, esto es: las renovables y las de combustibles fósiles.

Balance de factores clave en los diferentes tipos de generación

El objetivo de este apartado es el de realizar un análisis comparativo de la situación en la que quedan las diferentes tecnologías en función de los factores que influyen en su proliferación o limitación. De este modo es posible obtener una visión general de cuál será la evolución de la energía nuclear en nuestro país.

Para tal fin se ha realizado una clasificación a gran escala de los sistemas de generación:

- Nucleoeléctrica, de manera independiente a la tecnología en la que se base el reactor.
- Renovable, en la que se aglutinan todos los sistemas de generación eólica, hidroeléctrica y solar.
- Por uso de combustibles fósiles. En este grupo se incluye cualquier tipo de generación que implique el uso de petróleo o sus derivados, gas natural o carbón.

[35] Carmen Monforte, «La moratoria nuclear, aquel rescate financiero de las eléctricas», *El País*, 7 de febrero de 2015, https://cincodias.elpais.com/cincodias/2015/02/05/empresas/1423161623_306949.html.

[36] Foro de la Industria Nuclear Española, «Energía 2019», 2019, p. 99, www.foronuclear.org.

[37] REE, «Informe del Sistema Eléctrico Español 2018», 2018, p. 27.

Durante la búsqueda documental se han identificado una serie de elementos con peso específico en la selección de un tipo de generación eléctrica u otra en un mismo Estado. Una vez identificados, se han agrupado esos elementos en diversos factores de influencia para dividir un problema tan complejo como el *mix* energético en partes más manejables.

De este modo, se ha considerado que *voluntad política, percepción popular, actores sociales, competitividad, riesgo, vulnerabilidad energética, aportación al cambio climático y viabilidad y escalabilidad* son los factores que aglutinan la mayor parte de elementos con importancia para promover uno u otro tipo de tecnología. No obstante, debemos asumir que no se trata de una interpretación infalible y podría surgir algún elemento no contemplado a priori. Un buen ejemplo de esto se ha materializado en la pandemia que hoy en día sufre la humanidad y cuyas consecuencias no parece que vayamos a poder concretar hasta que tengan lugar.

Otra consideración es el peso que cada uno de los factores enumerados debe tener. Se ha decidido proporcionar el mismo peso a todos los factores, toda vez que se encuentran interrelacionados. Así, la voluntad política puede depender de la percepción popular, y esta del riesgo, por ejemplo.

En último lugar, antes de comenzar a valorar los factores, debemos concretar que, en su estudio, nos ceñiremos al análisis del caso español. Muchas de las conclusiones a las que se puede llegar no tienen por qué ser comunes a las que obtendríamos en el supuesto de analizar otros países.

Voluntad política

Conforme a los diferentes programas electorales estudiados[38][39][40][41], resulta posible deducir que el factor común a todos los partidos políticos es el de elaborar un sistema energético «sostenible» a medio plazo, y lo que los diferencia es la manera de entender esa sostenibilidad.

[38] PSOE, «Ahora, progreso. Programa electoral PSOE», 2019, https://www.psoe.es/media-content/2019/10/Ahora-progreso-programa-PSOE-10N-31102019.pdf.

[39] Partido Popular, «Programa electoral 2019, por todo lo que nos une», 2019.

[40] VOX, «100 medidas para la España viva», 2019.

[41] Podemos, «Programa de Podemos, las razones siguen intactas», 2019.

Conforme a la definición de «sostenible»[42], podemos asumir que la proliferación de las centrales térmicas de combustible fósil no parece estar entre las principales opciones, dado que utilizan recursos que son agotables[43] y causan daño al medio ambiente. Luego es de esperar que no sea una opción en la agenda de ningún partido político a medio plazo.

Esto no quiere decir que se vayan a clausurar todas de manera indiscriminada; de hecho, no se está haciendo. Si bien es muy probable que la tendencia sea a cerrarlas, ya que suponen la mayor fuente de emisión de gases de efecto invernadero (GEI)[44] en cuanto a generación eléctrica. Se empezará probablemente, y a la vista de los planes de gobierno como el PNIEC[45] (Plan Nacional Integrado de Energía y Clima), por las de carbón, que son las menos adecuadas para cumplimentar los requerimientos de emisiones.

Las renovables son las grandes ganadoras en este aspecto. En términos de rentabilidad, independencia energética y respeto al medio ambiente son la opción más apropiada, y por ende la más apoyada por la mayoría de los actores políticos. Sin embargo, sería ingenuo pensar que en un espacio de tiempo relativamente corto, de unos diez años, como establece el PNIEC, la instalación neta de potencia de energías renovables[46] va a ser capaz de asumir la generación de las nucleoeléctricas y las de combustible fósil que sea necesario para cumplimentar el Acuerdo de París.

En el caso de la energía nuclear existen dos posiciones más o menos polarizadas. Por una parte, los partidos más conservadores no se comprometen a cerrarlas en un periodo de tiempo determinado; y, por otra parte, los partidos de corte más progresista sí que contemplan fechas límite de funcionamiento. En cualquier caso, ninguno parece dispuesto a iniciar un periodo de construcción de nuevas centrales, por lo que podemos inferir

[42] «Especialmente en ecología y economía, que se puede mantener durante largo tiempo sin agotar los recursos o causar grave daño al medio ambiente» (Fuente: RAE).

[43] A pesar de que en algunos estudios parece que cada vez abunda más el petróleo y las reservas de gas natural BP, «BP Statistical Review of World Energy 2019», 2019, pp. 15-31, https://www.bp.com/content/dam/bp/business-sites/en/global/corporate/pdfs/energy-economics/statistical-review/bp-stats-review-2019-full-report.pdf.

[44] Véase la referencia a los estudios del D. Sovacool en el factor «Aportación al cambio climático».

[45] Ministerio para la Transición Ecológica, «Plan nacional integrado de energía y clima», 2020, p. 17.

[46] Ministerio para la Transición Ecológica, *op. cit.*, p. 241.

que, por esta parte, una vez se pare el último de los reactores, en España habrá finalizado la generación nucleoeléctrica.

Otra cuestión diferente es cuándo se va a producir ese cierre. A día de hoy se trata de una especulación a quince años vista[47], pero podríamos aventurarnos a predecir que es probable que las políticas públicas, a desarrollar en un ambiente de previsible crisis económica[48], cambien de rumbo, incluso en los partidos más progresistas. Así, la opción de prolongar la vida operativa de los reactores que cumplan con las necesarias condiciones de seguridad podría resultar atractiva por su rentabilidad y bajas emisiones[49]. Si bien existen estudios que defienden lo contrario debido a la constante caída de precios en la instalación de renovables[50].

Percepción popular

Más allá de una encuesta del 2015[51] sobre la percepción que la población tiene respecto a la energía nuclear[52], la última encuesta profunda que se realizó sobre este tipo de energía data del año 2011[53]. Para ser precisos, esta encuesta se llevó a cabo en mayo, unos dos meses después del afamado accidente de la central de Fukushima en Japón.

En aquella encuesta se podían apreciar datos tan significativos como los siguientes:

– A la pregunta «En general y por lo que Ud. conoce, ¿Qué valoración le daría a las centrales nucleares en relación a su peligrosidad? Utilice una escala de 0 a 10, en la que el 0 signi-

47 Conforme al PNIEC, el último cierre se dará en 2035.

48 Miguel Ángel Noceda, «Las grandes empresas temen perder el año por la crisis del coronavirus», *El País*, 20 de marzo de 2020, https://elpais.com/economia/2020-03-20/las-grandes-empresas-temen-perder-el-ano-por-la-crisis-del-coronavirus.html.

49 IEA, «World Energy Outlook 2018», 2018, pp. 247-49.

50 Mycle Schneider y Antony Froggatt, «The World Nuclear Industry Status Report 2019 - World Nuclear Industry Status Report», *World Nuclear Report*, n.o septiembre (2019): 239-47, http://www.worldnuclearreport.org/World-Nuclear-Report-2013.html#olkiluoto_and_flamanville.

51 Foro Nuclear, «Resultados nucleares de 2015 y prespectivas para 2016», *Foro de la Industria Nuclear Española*, 2016, p. 60.

52 Se trata de una encuesta realizada por encargo de Foro Nuclear en 2015 que lanzaba unos datos del 60°% de la población contraria a este tipo de fuente de obtención.

53 CIS, «Barómetro de Mayo, Estudio n.o 2888» (Centro de Investigaciones Sociológicas, 2011), http://www.cis.es/cis/export/sites/default/-Archivos/Marginales/2880_2899/2888/Es2888.pdf.

fica "nada peligrosas" y el 10 "extremadamente peligrosas"», los resultados fueron que más del 69% de los encuestados dio una puntuación de 6 o superior.

– Ante el enunciado «Aunque la energía nuclear es una fuente importante de energía, se debería renunciar a su uso por los riesgos que lleva aparejados», un 54,2% respondieron «Mucho» o «Bastante».

Se podría pensar que los resultados son fruto de una reacción social al cercano accidente sufrido en Japón. Sin embargo, en encuestas realizadas en años sucesivos por agencias independientes, como Ipsos Public Affairs, estos resultados no solo se confirman sino que se acentúan[54].

Resulta curioso, no obstante, el verdadero temor que suscita en España la energía nuclear. Sabemos que incluso en las peores estimaciones de muertes producidas por accidentes nucleares, desde el año 1943, no se llega ni a un ínfimo porcentaje de lo que la OMS calcula que los vehículos se llevan en vidas humanas al año[55]. Sin embargo, el coche o la motocicleta no generan esa alarma social.

Como consecuencia de lo que hasta ahora se ha estudiado, podemos deducir que la energía nuclear no recibirá ningún apoyo por parte de la sociedad española para seguir activa más allá de la vida operativa de los reactores en funcionamiento. Es más, sería lícito pensar que el actor político que cumpliese con el objetivo de cerrarlas disfrutaría de un gran apoyo popular a este respecto.

En cuanto a la energía obtenida mediante el uso de combustibles fósiles o las energías renovables, cabe destacar que en la búsqueda realizada no se ha localizado ningún estudio exhaustivo sobre la percepción de la sociedad española a este respecto de manera específica. Sí que se han conseguido datos de la «European Social Survey (ESS) Round 8, 2016-2017»[56]. En ellos se observa un rechazo general en Europa a las centrales de combustibles

[54] Lara Lázaro Touza, Carmen González Enríquez y Gonzalo Escribano Francés, «Los españoles ante el cambio climático. Apoyo ciudadano a los elementos, instrumentos y procesos de una Ley de Cambio Climático y Transición Energética», 2019.

[55] World Health Organization, «10 datos sobre la seguridad vial en el mundo».

[56] Wouter Poortinga *et al.*, «ESS Topline Results Series European Attitudes to Climate Change and Energy», *European Social Survey*, n.o 8 (2018): 11, https://www.europeansocialsurvey.org/docs/findings/ESS8_toplines_issue_9_climatechange.pdf.

fósiles, pero no apuntan resultados concretos de cada país, sino de la región EU/EFTA[57] en general.

Referente a las renovables, existe el estudio sociológico de los profesores Dra. Lázaro, Dra. González y el Dr. Escribano[58] en el que queda patente el apoyo de la población española a las energías renovables. De este estudio se puede deducir que una mayoría de los españoles estarían dispuestos a pagar más por la energía a cambio de su *descarbonización*[59]. Esto contrasta con los datos de la encuesta del ESS, en los que se afirma que los europeos están más preocupados por fuentes económicas de energía que por sus bajas emisiones de GEI[60], lo que no deja de ser una incongruencia con la percepción que se tiene sobre los combustibles fósiles.

En general, podemos interpretar grandes reticencias de la población al uso de combustibles fósiles[61] y, por otra parte, un gran apoyo a la proliferación y uso de las energías renovables. Por tanto, la percepción popular es otro factor en el que el uso de energías renovables gana terreno al resto de tipos de generación.

Actores sociales

En este punto se expone qué actores se han detectado a favor de un uso controlado de la generación nucleoeléctrica y qué actores se han detectado en contra, así como su posición respecto al resto de tecnologías.

En primer lugar, debemos definir a qué actores nos vamos a referir. Nos centraremos en cuatro tipos[62]: *los partidos políticos, los movimientos sociales, los grupos de interés y los medios de comunicación*.

En el caso de los *partidos políticos*, parece que la cuestión es clara: existen dos de los cinco mayoritarios que son abiertamente opuestos a la energía nuclear y a la energía obtenida a partir de

57 European Union and European Free Trade Association.

58 Lázaro Touza, González Enríquez y Escribano Francés, *op. cit.*

59 Término que se utiliza para denotar la desaparición de emisiones de dióxido de carbono dentro de la industria energética.

60 Poortinga *et al.*, «ESS Topline Results Series European Attitudes to Climate Change and Energy», p. 7.

61 Curiosamente menores que al uso de la energía nuclear, a pesar de que genera mucha menor huella de dióxido de carbono.

62 Josep Maria Vallès, *Ciencia política, una introducción*, Madrid: Ariel 2007.

combustibles fósiles, al tiempo que apoyan la generalización del uso de renovables[63]. Por otra parte, existen otros dos partidos que no apoyan sin concesiones la energía nuclear, pero tampoco muestran beligerancia a la ampliación de la vida operativa de los reactores, siempre y cuando cumplan las condiciones que estime el Consejo de Seguridad Nuclear (CSN)[64]. En el caso del partido Ciudadanos se hace más difícil interpretar cuál es su posición a la vista de su programa electoral.

Referente a las otras dos fuentes de obtención, todos los partidos parecen conscientes de la necesidad de abandonar el uso de combustibles fósiles y de fomentar las renovables, pero no a cualquier precio.

Si nos centramos en los *movimientos sociales*, que en este caso hemos de identificar casi de manera exclusiva con las asociaciones ecologistas, el sentimiento está bastante claro. Tanto Greenpeace[65], como Ecologistas en Acción[6667] o Amigos de la Tierra[6869], tres de las asociaciones ecologistas con más peso a nivel nacional, son muy favorables a la transición a las renovables y se muestran totalmente en contra del uso de la nucleoeléctrica

63 PSOE, «Ahora, progreso. Programa electoral PSOE»; Podemos, «Programa de Podemos, las razones siguen intactas».

64 VOX, «100 medidas para la España viva»; Partido Popular, «Programa electoral 2019, por todo lo que nos une».

65 Raquel Montón, «¿Se puede cerrar el carbón y las nucleares a la vez? ¡Sí!», Greenpeace, 2018, https://es.greenpeace.org/es/noticias/se-puede-cerrar-el-carbon-y-las-nucleares-a-la-vez-si/; Greenpeace, «¿La energía nuclear es la solución al cambio climático? - ES | Greenpeace España», Greenpeace, preguntas frecuentes, 2019, https://es.greenpeace.org/es/preguntas-frecuentes/la-energia-nuclear-es-la-solucion-al-cambio-climatico/.

66 Como expone Dña. Cristina Rois en la entrevista disponible en el anexo A al presente documento.

67 Ecologistas en Acción, «Tras 9 años de Fukushima sigue la lucha contra el cementerio nuclear de Villar de Cañas», 2020, https://www.ecologistasenaccion.org/139043/tras-9-anos-de-fukushima-sigue-la-lucha-contra-el-cementerio-nuclear-de-villar-de-canas/.

68 *Friends of the Earth*, en su traducción al inglés.

69 Friends of the Earth Europe, «Friends of the Earth Europe concerned about industry bias of the European Nuclear Energy Forum», 2009, https://www.foeeurope.org/press/2008/May22_Friends_of_the_Earth_Europe_concerned_about_industry_bias_of_the_European_Nuclear_Energy_Forum.html; Friends of the Earth Europe, «Fukushima: Five-years on, yet aftermath unresolved | Friends of the Earth Europe», 2016, https://www.foeeurope.org/fukushima-five-years-on-110316.

y de los combustibles fósiles. Aunque no todos los ecologistas comparten esta opinión[70].

Existen asociaciones ecologistas, como Energy for Humanity,que defienden la energía nuclear como una manera de luchar contra el cambio climático[71]. Sin embargo, no se trata de una asociación representada en el panorama social español, más allá de una entrevista realizada a su directora ejecutiva, Kristy Cogan, y publicada en la web de Foro Nuclear[72].

En cuanto a los *grupos de interés*, un gran candidato en este ámbito sería el Foro de la Industria Nuclear Española o Foro Nuclear. Conforme a lo que exponen en su página web, se trata de una «asociación sin ánimo de lucro que desde 1962 representamos los intereses del sector nuclear español ante las administraciones públicas y otros grupos de interés».

Es decir, podríamos afirmar que esta asociación aglutina a varios sectores relacionados de una u otra manera con la industria nuclear y, por tanto, defensores de su uso con fines pacíficos. En este sentido, hemos de remitirnos a las declaraciones de D. Antonio González, director técnico de la asociación, para evidenciar que ellos asumen que el principal problema de la energía nuclear es el desconocimiento que la sociedad tiene de ella.

Este aspecto explica fenómenos como el que se apunta en el apartado anterior. La población parece temer aquello que no conoce, aunque empíricamente se demuestre que es menos letal que tecnologías que se usan a diario y de manera indiscriminada. Asimismo, el Sr. González nos apunta el exhaustivo control al que la industria nuclear es sometida en el ámbito de los residuos generados, cosa que no ocurre en otros campos de la generación eléctrica como son los combustibles fósiles.

Pero Foro Nuclear no representa el único grupo de interés comprometido en proteger la industria nuclear. Los sindicatos

[70] Luis Meyer, «¿Por qué hay grupos ecologistas que defienden la energía nuclear?», Ethic, 2018, https://ethic.es/2018/08/ecologistas-a-favor-de-energia-nuclear/.

[71] Energy for Humanity, «Renewable and Nuclear Energy, Removing CO_2 from the Power Generation Mix», 2020, http://energyforhumanity.org/news-events/events/2020/renewable-nuclear-energy-removing-co$_2$-power-generation-mix/.

[72] Foro Nuclear, «Interview with Kristy Gogan from Energy for Humanity - «The consequence of the nuclear taboo is to make climate change worse»», 2018, https://www.foronuclear.org/en/news/latest-news/124277-interview-with-kristi-cogan-from-energy-for-humanity-the-consequence-of-the-nuclear-taboo-is-to-make-climate-change-worse.

como Unión General de Trabajadores (UGT) y Comisiones Obreras (CC.OO.) llevan años abogando por una ampliación de la vida operativa de las centrales nucleares que cumplan con los requerimientos adecuados[73]. En consecuencia, ejercen mucha presión sobre las propias empresas gestoras de los reactores para que realicen las inversiones necesarias y así mantener los puestos de los trabajadores[74].

Así, lejos de lo que los partidos normalmente relacionados a dichos sindicatos defienden, nos encontramos con un grupo de presión muy fuerte constituido por personas que literalmente viven de la energía nuclear.

Por su parte, la Confederación Española de Organizaciones Empresariales (CEOE), otro de los grupos de interés, emitió un informe bautizado como «Energía y competitividad: propuestas del sector empresarial»[75], en el que expone:

> «En este sentido, es necesario permitir la extensión de la vida de las centrales nucleares, en tanto reciban el informe positivo por parte del Consejo de Seguridad Nuclear. Mantener y promover el uso de la energía nuclear es vital, ya que contribuye a la lucha contra el cambio climático y la competitividad de la industria».

De este informe se infiere que están a favor de la descarbonización, aunque se matiza que solo sería posible mediante la ampliación de la vida operativa del parque nuclear. En cuanto a las renovables, también se muestra definitivamente a favor.

Otro importante grupo de interés informal, cuya posición a este respecto no suele tener trascendencia pública, son las grandes empresas energéticas. Es de suponer que estas empresas estén a favor de una u otra fuente de obtención en función de su rentabilidad. Esto no quiere decir que necesariamente fomenten la

[73] UGT, «Las negociaciones han avanzado y confiamos en que lleguen a un acuerdo», 2018, https://www.ugt.es/las-negociaciones-han-avanzado-y-confiamos-en-que-lleguen-un-acuerdo.

[74] El Periódico de la Energía, «Los sindicatos se rebelan contra el cierre nuclear: CCOO y UGT convocan concentraciones ante las sedes de Endesa, Iberdrola y Naturgy», 25 de marzo de 2019, https://elperiodicodelaenergia.com/los-sindicatos-se-rebelan-contra-el-cierre-nuclear-ccoo-y-ugt-convocan-concentraciones-ante-las-sedes-de-endesa-iberdrola-y-naturgy/.

[75] CEOE, «Energía y competitividad: propuestas del sector empresarial», 2016, https://contenidos.ceoe.es/CEOE/var/pool/pdf/publications_docs-file-248-energia-y-competitividad-propuestas-del-sector-empresarial.pdf.

tecnología más barata a corto plazo, cuestión difícil de evaluar[76], sino aquella que más convenga a los objetivos empresariales, de ahí su posible opacidad.

En lo que se refiere a los medios de comunicación, no es el objeto de este documento el determinar cuál es el impacto y el tratamiento de la generación nucleoeléctrica en ese ámbito. No obstante, se han realizado estudios que concluyen que, en general, los medios de comunicación españoles no difunden noticias en contra de la energía nuclear y que, de manera habitual, utilizan un enfoque económico más que científico o medioambiental cuando informan sobre ella[77].

Para finalizar este apartado, podríamos afirmar que los principales partidos políticos solo se muestran dispuestos a no cerrar el parque nuclear de manera inmediata en el caso de los partidos conservadores. En ningún caso manifiestan intención alguna de construcción de nuevas centrales.

En cuanto a la generación mediante el uso de combustibles fósiles, cabe decir que no se encuentran actores a favor[78], si bien los posicionamientos en su contra son menos vehementes. Todo lo contrario ocurre en el caso de las energías renovables, no existen actores que se declaren en contra de manera pública, aunque sabemos que en términos de rentabilidad de generación no son el sistema más atractivo en la actualidad para las empresas eléctricas[79]. He aquí un ejemplo de esa opacidad a la que nos referíamos en párrafos anteriores[80].

---

[76] Manuel Conthe Gutiérrez, «Geopolítica de la energía y teoría de juegos», en *Energía y Geoestrategia 2019*, ed. Instituto Español de Estudios Estratégicos. Madrid: Ministerio de Defensa 2019, pp. 37-80.

[77] María Teresa Mercado, Sebastián Sánchez y Àngels Álvarez, «Los científicos como actores y fuentes en el discurso mediático sobre la energía nuclear», *Prisma Social* junio-noviembre, n.o 12 (2014): 544-80, https://repositorioinstitucional.ceu.es/bitstream/10637/7426/1/Los científicos como actores y fuentes en el discurso mediático sobre la energía nuclear.pdf.

[78] Esta situación resulta sorprendente, puesto que son el principal sistema de generación en el *mix* eléctrico nacional con casi un 40°% de la energía total generada en 2018 (Fuente: REE y AELEC).

[79] Conthe Gutiérrez, *op. cit.*, p. 67.

[80] El antiguo secretario de Estado de Economía y presidente de la Comisión Nacional del Mercado de Valores, D. Manuel Conthe Gutiérrez, expone en uno de sus estudios que el sistema «marginalista» de establecimiento del precio de la energía eléctrica en España podría hacer poco atractiva la energía renovable para las empresas energéticas, puesto que resulta demasiado barata y, eventualmente, puede hacer que caiga el precio de la energía en general. Conthe Gutiérrez, *op.cit.* Esta cuestión, por motivos

Sabemos que, cada vez más, las energías renovables van resultando más rentables que las centrales nucleares. Para realizar una comparativa, y apoyándonos en datos de *Bloomberg New Energy Finance*[81] y de la última subasta de energía eólica en España[82], parece ser que en los próximos años el coste de 1 MW de potencia instalada en energías renovables será de unos 1,23 millones de euros[83]. Si calculamos el coste por MW de reactor de 1026,7 MW[84], tendríamos:

$$\frac{6.000\ millones\ de\ €\ ^{8586}}{1.026{,}7\ MW} = 5{,}8\ \frac{millones\ de\ €}{MW}$$

En consecuencia, podemos deducir que la instalación de un MW «nuclear» es unas 4,8 veces más costosa que un MW «renovable»:

$$\frac{5{,}8\ \frac{millones\ de\ €}{MW}}{1{,}23\ \frac{millones\ de\ €}{MW}} = 4{,}8$$

Sin embargo, el planteamiento no resulta tan sencillo como se ha expuesto. Conforme a la comparación de datos de generación del PNIEC, sabemos que un megavatio «nuclear» genera 3,8 veces más GWh que un megavatio «renovable». Así, veamos el problema en términos de generación en lugar de instalación:

---

evidentes, no se encuentra reflejada en ninguna de las fuentes pertenecientes a las grandes energéticas.

81 Seb Henbest *et al.*, «New Energy Outlook 2019», 2019, https://bnef.turtl.co/story/neo2019/?teaser=true.

82 Naturgy, «Gas Natural Fenosa Renovables se adjudica 667 MW de energía eólica», 2017, https://prensa.naturgy.com/gas-natural-fenosa-renovables-invertira-700-millones-tras-adjudicacion-667-mw-energia-eolica/.

83 Se trata de una aproximación que, a pesar de haber sido realizada por analistas de BloombergNEF, podría parecer un poco burda porque no diferencia entre los diferentes tipos de renovables. No obstante, se ajusta bastante al dato de la subasta sobre energía eólica que se hizo en España en 2017 según datos de la compañía Naturgy.

84 Una potencia similar a las de los reactores españoles.

85 Algunas publicaciones sitúan la media de coste de construcción de un reactor en unos 5000 millones de euros, pero esa cifra se queda muy corta comparada con el coste que han tenido las últimas construcciones en Europa. El último reactor francés, todavía en construcción, va por un coste de más de 12°000 millones. Es por ello que un coste de 6000 millones se considera incluso optimista.

86 Ben Wealer et al., «High-priced and dangerous: nuclear power is not an option for the climate-friendly energy mix», DIW Weekly Report, n.o 30 (2019): 236-43, https://doi.org/10.18723/diw_dwr:2019-30-1; Schneid

– 1 MW nuclear cuesta unos 5,8 millones de euros y genera unos 7,8 GWh[87], por lo que 1 GWh de generación nuclear cuesta 0,74 millones de euros:

$$\frac{5{,}8\ \frac{millones\ de\ €}{MW}}{1{,}23\ \frac{millones\ de\ €}{MW}} = 4{,}8$$

– 1 MW renovable cuesta unos 1,23 millones de euros y genera unos 2,06 GWh, por lo que 1 GWh de generación renovable cuesta 0,60 millones de euros:

$$1{,}23\ \frac{millones\ de\ €}{MW} \times \frac{1\ MW}{2{,}06\ GWh} = 0{,}60\ \frac{millones\ de\ €}{GWh}$$

Con este razonamiento sí podemos afirmar que a medio-largo plazo[88], con estudios que abarcan hasta 2050, la energía renovable resultará más barata que la nuclear, deducción a la que también han llegado otros estudios[89].

Esto no quiere decir que no se estén iniciando nuevos proyectos nucleares[90], pues hoy en día no existe una limitación tecnológica a nivel estatal para la construcción de un reactor. Si se dispone de recurso financiero suficiente, cualquier país puede contar con una central nuclear con tecnología externa.

No obstante, se deben contemplar otros aspectos que influyen en la competitividad de cada tecnología, al tiempo que se incluye en la ecuación a los combustibles fósiles.

Cuando se trata de competitividad, en lo referente a una determinada tecnología de generación, se debe hablar de costes en términos globales, tanto de instalación como de la propia gene-

87 Tanto este dato de generación como el de la generación de 1 MW renovable son aproximaciones a datos promedio obtenidos del PNIEC.

88 Debemos tener en cuenta que se basa en datos prospectivos de BloombergNEF. En este tipo de análisis suele resultar que el precio de instalación de energía renovable se va abaratando y el de instalación de centrales nucleares se va encareciendo, a la vista de la tendencia de los últimos cuarenta años.

89 Íñigo Rodriguez Valero, «Análisis del Sector de las Energías Renovables. El caso de la energía solar fotovoltaica», 2019, p. 24; Lazard, «Levelized Cost of Energy Analysis», 2018, pp. 10-12, https://www.lazard.com/media/450784/lazards-levelized-cost-of-energy-version-120-vfinal.pdf; Schneider y Froggatt, «The World Nuclear Industry Status Report 2019 - World Nuclear Industry Status Report», p. 15.

90 IAEA-PRIS, «PRIS - Reactor status reports - Under Construction - By Country», IAEA, 2020, https://pris.iaea.org/PRIS/WorldStatistics/UnderConstructionReactorsByCountry.aspx.

ración y, finalmente, de su desmantelamiento al final de su vida operativa. Por lo que resulta complicado darle un valor numérico fijo al coste de cada GWh de generación en el corto plazo.

Las variaciones del precio del petróleo o del carbón, las condiciones meteorológicas[91] en un determinado periodo del año o el balance importador de uranio son variables que afectan a este coste y que no son predecibles. Como ejemplo de estas variaciones podríamos poner la oscilación del coste de mantenimiento de una central térmica de gas natural cuando se produce un cambio en el precio del diésel que utilizan los vehículos del personal de mantenimiento.

Sin embargo, sí que se puede establecer una comparativa no numérica como la realizada por la revista de internet *Energía y Sociedad* en el año 2016 en la publicación *Manual de la energía*. En dicha publicación[92] se puede consultar un resumen de las principales características en cuanto a costes de los diferentes sistemas de generación eléctrica en España:

TECNOLOGÍA	COSTE DE INVERSIÓN	COSTE FIJO DE EXPLOTACIÓN[93]	COSTE VARIABLE DE GENERACIÓN EN EL CORTO PLAZO[94]
Nuclear	Muy alto	Alto	Muy bajo
Carbón	Alto	Medio	Medio (carbón importado) o alto (carbón autóctono)
Ciclo combinado[95]	Alto	Bajo	Medio

[91] Esta es una de las mayores desventajas que muestran las energías renovables y que podría no resolverse hasta que se ideen sistemas de acumulación de energía eficientes y de un coste moderado.

[92] *Energía y Sociedad*, «Manual de la energía», 2020, http://www.energiaysociedad.es/manenergia/3-1-tecnologias-y-costes-de-la-generacion-electrica/.

[93] «Costes de explotación independientes del nivel de producción (salarios, alquileres, tasas, parte del mantenimiento, etc.)». Fuente: «Manual de la energía», *Energía y Sociedad.*

[94] Esto son los costes de los que se ha hablado en párrafos anteriores: variaciones de los precios de las materias primas, cambios en la carga fiscal, variaciones en las condiciones meteorológicas, etc.

[95] Se trata del tipo de generación por combustibles fósiles más eficiente. Consiste en «combinar» un sistema de generación eléctrica por la combustión de la materia prima y, además, aprovechar ese calor residual bien para calentar agua en los hogares o para producir más energía en otro tipo de turbina de la planta generadora. Se trata de un sistema complejo y caro.

TECNOLOGÍA	COSTE DE INVERSIÓN	COSTE FIJO DE EXPLOTACIÓN[93]	COSTE VARIABLE DE GENERACIÓN EN EL CORTO PLAZO[94]
Hidráulica regulable[96]	Muy Alto	Medio	Muy bajo
Hidráulica fluyente[97]	Alto	Medio	Muy bajo
Eólica	Alto	Bajo	Casi nulo
Fotovoltaica	Alto	Bajo	Casi nulo
Termosolar	Alto	Bajo	Casi nulo

Cuadro 2. Comparativa de costes de los principales sistemas de generación eléctrica en España. Fuente: *Energía y Sociedad*, «Manual de la energía»[98]. Elaboración propia del autor.

En el cuadro 2 anterior podemos confirmar que los combustibles fósiles, sobre todo los de ciclo combinado, presentan un coste moderado tanto fijo como variable y de instalación.

En cuanto a la energía nuclear, podemos inferir que resulta más cara en su instalación y mantenimiento que las renovables, y este coste se ve aumentado en España por la gran fiscalidad a la que está sometida[99], lo que ha hecho que entre los años 2013 y 2016 los ingresos no hayan cubierto los costes de amortización[100].

Además, como indica el mismo *Manual de la energía*, del que se han tomado los datos, se trata de un suministro poco flexible en cuanto a su rendimiento. Es decir, una vez puesto a funcionar un reactor, no es fácil regular su producción[101]. Este aspecto no

[96] Este tipo de tecnología cuenta con agua embalsada cuyo aporte proviene bien exclusivamente de un sistema eléctrico de bombeo, en el que se consume energía, bien de un sistema mixto de aporte natural y de bombeo. El margen de rentabilidad se encuentra en bombear agua cuando el precio de la energía es barato y producir energía mediante la liberación del agua embalsada cuando el precio es más alto, mera especulación que utilizan las empresas para regular el mercado.

[97] En este sistema la cantidad de agua embalsada es limitada y se acumula de manera natural, luego no existe control sobre la producción y esta depende de los recursos hídricos con los que cuente el embalse en cada momento, es decir, el aporte de agua.

[98] *Energía y Sociedad*, «Manual de la energía».

[99] Jefatura del Estado, «Ley 15/2012, de 27 de diciembre, de medidas fiscales para la sostenibilidad energética» (2012).

[100] *Energía y Sociedad*, «Manual de la energía».

[101] Esto, que podría parecer un detalle sin importancia, contiene unas implicaciones a tener en cuenta, pues, como sabemos, las redes eléctricas actuales no cuentan con acumuladores, es decir, la energía que se genera debe ser consumida prácticamente al instante. Por tanto, si la demanda de energía disminuye y el aporte de los reactores

supone una desventaja respecto a las renovables, cuya flexibilidad es nula[102]. Como ventaja, sabemos que la nucleoeléctrica no se encuentra condicionada por las condiciones meteorológicas, cosa que sí ocurre con las renovables.

Para resolver estos problemas de adaptación a la demanda de la red eléctrica, la más ventajosa es la tecnología de combustibles fósiles, que es la que permite mayor regulación en su producción.

En definitiva, en cuanto a competitividad observamos una serie de ventajas en las centrales que funcionan mediante la quema de combustibles fósiles gracias a su flexibilidad de funcionamiento y un coste moderado. En cuanto a las renovables, resultan más baratas de instalar y mantener, pero, respecto a las nucleares, tienen la desventaja de la dependencia meteorológica, por lo que a igual potencia instalada, la energía generada es menor.

Si nos centramos en el coste por GWh de cada una de las tecnologías, una vez instaladas las más baratas son las renovables y la tendencia es a irse abaratando más[103]. Esto, que parece una ventaja, para las empresas eléctricas puede suponer un inconveniente por la manera «marginal» en la que se establece el precio del kWh en España[104].

Explicado de manera muy sencilla, el precio diario del kWh lo establece la última empresa que oferta el precio para cubrir la demanda de esa jornada. Esto quiere decir que, si el porcentaje de generación de renovables es tan alto que cubre la demanda, los precios de la electricidad caen tanto que atentan contra la rentabilidad del resto de sistemas de generación. Una solución que ha adoptado el Estado es la de fijar los precios de las renovables por ley, así se limita el abaratamiento de la energía[105][106].

---

nucleares se mantiene, hay que regular la generación mediante el uso de centrales de combustibles fósiles, cuya flexibilidad es mayor.

102 Esto quiere decir que no hay manera de controlar su producción; el viento sopla, llueve o el día es más claro con independencia de la gestión de las plantas generadoras.

103 IEA, «World Energy Outlook 2018».

104 Conthe Gutiérrez, *op. cit.*

105 Esto puede parecer un verdadero lastre para la proliferación de la energía renovable, al tiempo que resulta sorprendente que se especule a nivel institucional con un bien que se ha convertido en necesidad universal.

106 CNMC, «¡No entiendo nada! ¿Cómo se fija el precio de la luz?», Comisión Nacional de los Mercados y de la Competencia, 2017, https://blog.cnmc.es/2017/12/20/no-entiendo-nada-como-se-fija-el-precio-de-la-luz/; Presidencia del Gobierno, «Real Decreto-ley 17/2019, de 22 de noviembre, por el que se adoptan medidas urgentes para la necesaria adaptación de parámetros retributivos que afectan al sistema eléctrico y por

Habrá que esperar unos años para comprobar si esta medida es suficiente para fomentar la generalización de las energías renovables.

Riesgo

A lo largo de este apartado se estudia la magnitud del riesgo que conlleva el uso de las diferentes tecnologías de generación eléctrica. Este resulta un asunto sumamente complejo, puesto que los riesgos que implica el uso de una u otra tecnología no se limitan de manera exclusiva al de operación de las centrales, sino a ámbitos tan dispares como el cambio climático, la contaminación, la economía, la falta de suministro o incluso la alarma social que pueden generar.

El primero que es susceptible de ser valorado, por evidente alarma social[107], es el inherente a un reactor nuclear. Se trata de cualquier incidente que tenga que ver con el malfuncionamiento del reactor que, a su vez, genere una fuga de más o menos cantidad de elementos radioactivos. Como se puede observar en el estudio de los principales accidentes nucleares, si se realiza un análisis estadístico del número de víctimas, este riesgo resulta bajo o muy bajo.

Comparada con otros tipos de sistemas de generación, las nucleoeléctricas han generado muchos menos muertos. Como ejemplo, en el año 2009 se produjo una explosión en una central hidroeléctrica en Rusia que provocó la muerte a más de 70 personas[108]. Del mismo modo, podemos hablar de un accidente en la central térmica de Teruel en el año 2017[109], con un fallecido, o, en el mismo año, el trabajador de una central térmica en Vitoria que murió electrocutado[110].

---

el que se da respuesta al proceso de cese de actividad de centrales térmicas» (2019), https://www.boe.es/boe/dias/2019/11/23/pdfs/BOE-A-2019-16862.pdf.

107 Esté justificado o no, el temor a un accidente nuclear y las consecuencias de la gestión de los residuos son los principales detractores de esta tecnología.

108 Rodrigo Fernández, «Rusia teme decenas de muertos tras el desastre en la mayor central hidroeléctrica del país», *El País*, 2009, https://elpais.com/internacional/2009/08/18/actualidad/1250546413_850215.html.

109 El Periódico de la Energía, «Endesa investiga las causas del accidente mortal en la térmica de Andorra (Teruel)», 2017, https://elperiodicodelaenergia.com/endesa-investiga-las-causas-del-accidente-mortal-en-la-termica-de-andorra/.

110 EFE, «Muere electrocutado un trabajador en la central eléctrica de Murga en Álava», SER Vitoria, 2017, https://cadenaser.com/emisora/2017/05/31/ser_vitoria/1496225406_203807.html.

Existe un informe de la Organización Internacional de la Energía Atómica (OIEA) en el que se cuantifica una *tasa de mortalidad normalizada para los accidentes graves*, en la que se relaciona el número de fallecidos en centrales eléctricas entre 1969 y 1986 a nivel mundial por tipo de tecnología y luego se divide entre el número de GWh producidos[111]. Contrariamente a lo que se podría suponer, el menor ratio en accidentes en plantas generadoras lo tenían las centrales nucleares, con una tasa menor a la mitad del siguiente tipo, que son las térmicas del petróleo, y muy por debajo de las más peligrosas, al parecer, las hidroeléctricas[112].

El informe de la OIEA no solo estudia la mortalidad inmediata, sino que trabaja conceptos como el *riesgo profesional tardío*, es decir, dilatado en el tiempo, y el *riesgo público tardío*, dilatado en el tiempo para la población. En el primero se establece que la principal *letalidad tardía* la sufren los trabajadores de las minas subterráneas de carbón y uranio en términos absolutos; sin embargo, cuando este dato se relaciona con la cantidad de energía generada, resulta que las minas de carbón son más peligrosas por GWh obtenido de esta materia prima.

En cuanto al *riesgo público tardío*, el estudio establece que la energía nuclear y el gas se encuentran en el mismo nivel. Este nivel de riesgo es unas diez veces menor que la generación mediante petróleo o carbón[113], corroborando así los datos de uno de los últimos estudios del World Wide Fund for Nature (WWF), por el que se calcula que en España se producen unas mil muertes al año relacionadas con la polución generada por las centrales de carbón[114].

No obstante, el estudio de la OIEA adolece de dos problemas a la vista del autor. El primero es que solo evalúa centrales de las que se conocen datos; no tenemos manera de conocer cuántas bajas se produjeron en aquella época en países de la órbita soviética. De hecho, de manera relativamente reciente, hemos sabido de un accidente nuclear de magnitudes similares a Chernóbil en el

111 S. Haddad y R. Dones, «Comparación de los efectos de diversas fuentes de energía en el medio ambiente y la salud», *Boletín del OIEA*, n.o 3 (1991): 14-19.

112 El estudio parece apuntar a la generación hidroeléctrica como la más peligrosa, consideración que el accidente ruso de 2007 podría apoyar.

113 El propio informe de la OIEA establece que en este caso los datos deben tomarse con ciertas reservas porque existen muchas variables en juego.

114 Dave Jones *et al.*, «Europe's dark cloud, how coal-burning countries are making their neighbours sick.», 2016, https://d80g3k8vowjyp.cloudfront.net/downloads/dark_cloud_full_report.pdf?53061/Informe-Carbon-y-salud.

año 1957 en las instalaciones rusas de Mayak[115], del que todavía no tenemos datos concluyentes[116].

Otro problema añadido es que, de entre todas las tecnologías, aquella de la que se realizan más estudios rigurosos de impacto en el riesgo a la salud de las personas, que no se encuentran directamente relacionadas con el sistema de generación, es la nuclear[117]. Es decir, los estudios de afección de otras tecnologías a las personas son, en el mejor de los casos, recientes y no excesivamente exhaustivos[118].

Hoy día existen serias sospechas de que el riesgo no solo para la salud, sino para la integridad física en general de la humanidad, viene de la mano de la emisión de GEI. Calentamiento global, grandes sequías, súbitas tormentas y todo tipo de fenómenos meteorológicos adversos, que generan grandes áreas de devastación y no pocas víctimas, son atribuidos, cada vez más, a los gases producidos en el seno de las centrales alimentadas con combustibles fósiles[119].

---

115 Lucia Blasco, «El desastre de Kyshtym, el accidente nuclear previo a Chernobyl que la URSS mantuvo en secreto durante dos décadas», *BBC News Mundo*, 2 de junio de 2019, https://www.bbc.com/mundo/noticias-48460210.

116 Según el testimonio del disidente, científico e historiador ruso Zhores Medvedev.

117 V. P. Kozheurov *et al.*, «Evaluation of uncertainties in 90Sr-body-burdens obtained by whole-body count: Application of Bayes' rule to derive detection limits by analysis of a posteriori data», *Applied Radiation and Isotopes* 57, n.o 4 (2002): 525-35, https://doi.org/10.1016/S0969-8043(02)00129-X; E. Ostroumova *et al.*, «Risk analysis of leukaemia incidence among people living along the Techa River: a nested case-control study.», *Journal of radiological protection : official journal of the Society for Radiological Protection* 26, n.o 1 (2006): 17-32, https://doi.org/10.1088/0952-4746/26/1/001; Tolstykh *et al.*, «Reconstruction of radionuclide intakes for the residents of East Urals Radioactive Trace (1957-2011)»; S. J. Schonfeld *et al.*, «Solid Cancer Mortality in the Techa River Cohort (1950-2007)», *Radiation Research* 179, n.o 2 (febrero de 2013): 183-89, https://doi.org/10.1667/rr2932.1; A. V. Akleyev *et al.*, «Consequences of the radiation accident at the Mayak production association in 1957 (the 'Kyshtym Accident')», *Journal of Radiological Protection* (Institute of Physics Publishing, 25 de septiembre de 2017), https://doi.org/10.1088/1361-6498/aa7f8d; World Health Organization, «Chernobyl: the true scale of the accident»; Steve Wing *et al.*, «A reevaluation of cancer incidence near the Three Mile Island nuclear plant: The collision of evidence and assumptions», *Environmental Health Perspectives* 105, n.o 1 (1997): 52-57, https://doi.org/10.1289/ehp.9710552; McGeoghegan y Binks, «Mortality and cancer registration experience of the Sellafield employees known to have been involved in the 1957 Windscale accident».

118 Por ejemplo, no se han encontrado estudios sobre los fallecimientos provocados por la minería y extracción de *tierras raras* para la construcción de paneles fotovoltaicos.

119 Maarten K. van Aalst, «The impacts of climate change on the risk of natural disasters», 2006.

En definitiva, podemos inferir que el riesgo de las diferentes tecnologías sobre la vida humana, ateniéndonos exclusivamente a los hechos, dejaría, en primer lugar de peligrosidad, a los combustibles fósiles; en segundo lugar, a la energía nuclear; y, en tercer lugar, es decir, con menor riesgo implícito, a las energías renovables. A pesar de que, hasta la fecha, los accidentes de mayor impacto inmediato sobre la vida humana los han protagonizado las centrales hidroeléctricas, no es así con los aerogeneradores ni las plantas solares, y parece que el *riesgo público tardío* es más acusado en el ámbito nuclear comparado con las renovables.

Vulnerabilidad energética

Conforme establece la Estrategia de Seguridad Nacional de 2017 (ESN), publicada por Presidencia del Gobierno: «La energía es un elemento fundamental para la prosperidad, el bienestar de la sociedad y la propia soberanía y continuidad del Estado». Así, se puede asumir que, para el poder ejecutivo, uno de los actores principales y partícipe en la toma de decisiones[120], el Estado debe cuidar de manera escrupulosa el abastecimiento energético.

Si se consultan diferentes fuentes sobre el significado de *vulnerabilidad energética*, o *energy vulnerability* en su traducción al inglés, en la mayoría se observa que el sentido que se da es el de «pobreza energética» a nivel particular[121]. Cabe aclarar en este punto que esa no es la definición con la que se va a trabajar en este apartado. De acuerdo a lo que establece la ESN[122], o la Estrategia de Seguridad Energética Nacional 2015 (ESEN)[123], el concepto de vulnerabilidad energética está relacionado con la capacidad de suministro y con la seguridad física[124] de las infraestructuras energéticas.

[120] Como se establece en el apartado 1, cap. II, p. 32 del presente documento.

[121] EU Energy Poverty Observatory, «Energy Vulnerability Across Member States A guide for regulators and suppliers», 2019, p. 4, https://ec.europa.eu/energy/sites/ener/files/documents/INSIGHT_E_Energy Poverty_Appendices.pdf.

[122] Gobierno de España, «Estrategia de Seguridad Nacional 2017. Un proyecto compartido de todos y para todos», Presidencia del Gobierno § (2017), https://www.dsn.gob.es/es/estrategias-publicaciones/estrategias/estrategia-seguridad-nacional-2017.

[123] Presidencia del Gobierno, «Estrategia de Seguridad Energética Nacional 2015», Gobierno de España § (2015).

[124] Se trata de un concepto que regula qué medidas de protección se deben adoptar para evitar, por ejemplo, un ataque terrorista a una planta generadora, por lo que queda fuera de la presente investigación.

Relacionado de manera estrecha con esta capacidad de suministro, tenemos el concepto de *dependencia energética*, puesto que la facultad de un país para mantener el suministro energético a sus ciudadanos depende, directamente, de su potencial para llevarlo a cabo sin injerencias externas.

Desde el punto de vista del suministro, sabemos que España es un país a día de hoy muy dependiente. Alrededor de un 70%[125] de la energía que se consume ha de ser importada[126]. Este asunto deja al Estado en una situación de potencial inferioridad respecto a los países suministradores, sobre todo si se trata de combustibles gestionados de manera corporativista desde organizaciones supranacionales como puede ser la OPEP (Organización de Países Exportadores de Petróleo).

Si bien la diversificación de importaciones de petróleo crudo es extensa, tanto desde países pertenecientes a la OPEP como desde países que no lo son[127], factor común a la importación de carbón, no ocurre lo mismo con las importaciones de gas natural, en las que la dependencia del gaseoducto argelino asciende a más del 50%[128].

Pero la vulnerabilidad del suministro no se limita a los combustibles fósiles; el uranio usado como combustible en las centrales nucleares también ha de ser importado. Así las cosas, podríamos deducir que tanto el uso de combustibles fósiles como el de combustible nuclear son susceptibles de verse afectados por las fluctuaciones de precios o por los problemas de suministro a nivel internacional.

En cuanto a las energías renovables, hemos de decir que se trata del único recurso independiente de factores geopolíticos externos. El único riesgo de suministro de un aerogenerador es que no haya viento que lo mueva, y de una central solar es que el día sea más o menos soleado. Deducimos así que, con una buena planificación geográfica de las instalaciones y buenos sistemas de

[125] Datos disponibles en línea Eurostat, «Energy statistics - an overview - Statistics Explained», Eurostat, 2019, https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php?title=Energy_statistics_-_an_overview#Energy_dependency.

[126] En ese porcentaje se incluye el combustible dedicado al transporte individual y colectivo, así como cualquier otro *sumidero* energético no asociado a las plantas eléctricas.

[127] CORES, «Estadísticas», Estadísticas importaciones de hidrocarburos, 2020, https://www.cores.es/es/estadisticas; Foro de la Industria Nuclear Española, «Energía 2019», p. 155.

[128] Foro de la Industria Nuclear Española, «Energía 2019», p. 179; CORES, «Estadísticas».

interconexión, puede asumirse que la vulnerabilidad de suministro afecta mucho menos a las renovables.

Esas interconexiones que se han mencionado, llegado el caso, se podrían considerar como otro tipo de defensa ante la vulnerabilidad energética, puesto que, si permiten el enlace con la energía generada en otros países, se obtendría una opción más de suministro. Tanto es así que el propio PNIEC contempla el aumento de las interconexiones en el seno de la Unión Europea, aunque esto también precisa de una inversión importante.

Desde el punto de vista de la vulnerabilidad, seguridad física, de las instalaciones podríamos llegar más o menos a las mismas conclusiones. Resulta evidente que un ataque a cualquier instalación energética afectaría a la capacidad generadora. Sin embargo, no se puede igualar en trascendencia una explosión que afecte a un reactor nuclear o a un gaseoducto, con una que destruya un aerogenerador.

A priori, para que las consecuencias, en términos puramente energéticos, de un ataque a una central nuclear o una térmica fósil fuesen comparables a las de un campo de aerogeneradores, dicho ataque tendría que afectar a varias decenas de generadores eólicos[129]. Es decir, en términos logísticos es mucho más complicado un ataque a las plantas eólicas o solares, lo que aporta más resiliencia al sistema eléctrico y, por tanto, lo hace menos vulnerable.

Aportación al cambio climático

Muchos de los compromisos a los que se han sumado numerosos países, como el Acuerdo de París[130], establecen una relación directa entre la emisión de GEI y el cambio climático producido por el calentamiento global, que es lo que vamos a tratar en este apartado.

[129] Recordemos que nuestra potencia de reactor nuclear medio es de unos 1000 MW instalados y un aerogenerador medio tiene una potencia de unos 12 MW. Además, en este caso la escalabilidad de la energía eólica juega a su favor, ya que, para producir energía con la misma estabilidad que una nuclear hemos de instalar unas tres veces más potencia. En el caso de las térmicas de carbón la potencia instalada oscila entre 500 y 1200 MW por central y las de ciclo combinado entre 400 y unos 1600 MW. Referencia: Foro de la Industria Nuclear Española, «Energía 2019», pp. 180 y 202.

[130] United Nations, «Acuerdo de París Naciones Unidas 2015».

Las diferentes cantidades de emisiones de GEI por tecnología se pueden obtener de un estudio del Dr. B. Sovacool con diversas fuentes[131]. El estudio no solo tiene en cuenta lo emitido durante la fase de generación de una central, sino todo el ciclo de construcción, generación, mantenimiento y desmantelamiento.

Así, tenemos que la generación nucleoeléctrica es del orden de seis veces más emisora de CO_2 que la eólica y la hidroeléctrica, cinco veces más que la solar térmica, entre tres y cuatro veces más que la de biomasa o el doble que la solar fotovoltaica. Si bien es cierto que la nuclear tiene siete veces menos huella de CO_2 que las centrales de gas natural, diez veces menos que las de célula de combustible, doce veces menos que las que utilizan diésel o catorce veces menos que las de carbón.

También sabemos que la parte de *operación* de una central nuclear genera CO_2 al mismo nivel que una central eólica[132], por lo que no parece descabellada la idea de intentar prolongar la vida operativa de un reactor ya construido, en la medida en que lo permitan unas condiciones de seguridad adecuadas.

Sin intentar profundizar más allá de lo que ya se ha hecho, resulta evidente que las centrales de combustibles fósiles se encuentran en clara desventaja a este respecto. Incluso las «menos» productoras de CO_2 se posicionan en un orden de emisión de estos gases muy superior a las nucleares y, por supuesto, a las renovables[133].

Es decir, que si se tiene en cuenta todo el ciclo de generación energética, las menos emisoras de GEI serían las renovables, seguidas de cerca por las nucleares y, en una situación de mucha desventaja, las de combustibles fósiles.

---

131 Bejamin Sovacool, «Valuing the greenhouse gas emissions from nuclear power: A critical survey», *Energy Policy*, n.o 36 (2008): 2950, https://doi.org/10.1016/j.enpol.2008.04.017; Martin Pehnt, «Dynamic life cycle assessment (LCA) of renewable energy technologies», *Renewable Energy* 31, n.o 1 (1 de enero de 2006): 55-71, https://doi.org/10.1016/j.renene.2005.03.002; Luc Gagnon, Camille Bélanger y Yohji Uchiyama, «Life-cycle assessment of electricity generation options: The status of research in year 2001», *Energy Policy* 30, n.o 14 (1 de noviembre de 2002): 1267-78, https://doi.org/10.1016/S0301-4215(02)00088-5; Vasilis M. Fthenakis, Chul Kim Hyung y Erik Alsema, «Emissions from photovoltaic life cycles», *Environmental Science and Technology* 42, n.o 6 (15 de marzo de 2008): 2168-74, https://doi.org/10.1021/es071763q.

132 Sovacool, *op. cit.*, p. 2949.

133 Como apunta el estudio del D. Sovacool, cualquiera de las emisiones de las centrales de combustibles fósiles supera con creces a la suma de las «menos» emisoras de CO_2.

Esta situación deja al Estado ante una elección en la que los objetivos climáticos y la capacidad financiera deben combinarse a la hora de cumplir el calendario de cierre de los reactores que establece el PNIEC. A criterio del autor, aparecen cuatro opciones:

Orientar todos los recursos económicos de los que se disponga a la expansión de las renovables a un ritmo superior al que se ha conocido hasta ahora.

Arriesgarse a asumir el déficit que puede generar el cierre de las nucleares mediante el aumento de la generación en las centrales de combustibles fósiles, experimento que en Alemania se saldó con un aumento en las emisiones[134].

Invertir en mejorar la interconexión con el resto de la Unión Europea, lo que atentaría contra la independencia energética y supondría, como en el caso de las renovables, una fuerte inversión.

En último lugar, asumir que no es posible cumplir el calendario objetivo de cierre de los reactores y aumentar su vida operativa. Opción que parece conjugar rentabilidad y contención en la emisión de GEI[135].

Viabilidad y escalabilidad[136]

En este apartado no solo evaluaremos la viabilidad y escalabilidad de la energía nuclear, quizás la más llamativa para los medios, sino la de las tecnologías renovables y combustibles fósiles.

El caso «nuclear» se puede encontrar profundamente desarrollado en un estudio del profesor Dr. Abbot en el que cuestiona la escalabilidad a nivel global de esta energía[137]. De hecho, no solo cuestiona la energía nuclear de fisión sino también la de fusión. El sistema de *fusión nuclear* tampoco lo ve escalable el Dr. Abbot, no por la peligrosidad de los residuos generados[138], sino por otros dos motivos que comparte con la tecnología de fisión: la necesidad de contar con gran cantidad de

134 Fuente consultada en la página web de Eurostat «Greenhouse gas emissions table», Eurostat, 2019, https://ec.europa.eu/eurostat/tgm/table.do?tab=table&init=1&plugin=1&language=en&pcode=sdg_13_10.

135 IEA, «World Energy Outlook 2018», pp. 247-49.

136 Entendidas como la posibilidad de generalizar el uso de las diferentes tecnologías para asumir la demanda energética por sí mismas.

137 Derek Abbott, «Is Nuclear Power Globally Scalable?» (Proc. IEEE, 2011), p. 7, https://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?arnumber=6021978.

138 La energía de fusión solo produce como subproducto helio molecular, que es un gas noble inerte e inocuo para un ecosistema.

tierras raras en la construcción de la central y la corrosión que las reacciones a nivel atómico producen en los materiales que las contienen.

En términos generales y a nivel español, podemos concluir que no es viable asumir la demanda de energía que vamos a necesitar en los próximos diez o quince años mediante la construcción de reactores nucleares. Incluso si existiese voluntad por parte de los decisores y una amplia aceptación social, las limitaciones espaciales, geográficas, de suministro, de gestión de residuos y, sobre todo, las de tipo económico[139][140] no hacen escalable la opción nuclear.

A este respecto, se debe destacar la combinación del factor económico con el de gestión de residuos y desmantelamiento de las centrales que se cierren. En las fechas actuales todavía no está aprobado el VII Plan General de Residuos Radioactivos (PGRR), no está demasiado claro cómo se van a conseguir los cerca de 16.000 millones de euros que se necesitan para desmantelar los reactores nucleares[141][142] y, tanto el proyecto del Almacén Temporal Centralizado (ATC) como el de un futuro Almacén Geológico Profundo (AGP), se encuentran en el aire[143]. Esta situación hace todavía más utópico, si cabe, un futuro de renovación del parque nuclear español.

Pero, además, si tenemos en cuenta el periodo que se necesita para construir una central nuclear en Occidente, de unos diez años[144], ya sería tarde para asumir la demanda energética necesaria en el año 2030 que establece el PNIEC para reducir emisiones.

---

139 Como es el caso del próximo reactor que entrará en funcionamiento en Francia, Flamanville, que va por más de 12°000 millones de euros de presupuesto y parece que no se ha finalizado la inversión, a pesar de la gran experiencia que posee el país galo en este tipo de tecnología.

140 Noelia López Redondo, «Más problemas para el reactor nuclear de nueva generación de Francia», *Energy News Todo energía*, 2019, https://www.energynews.es/reactor-nuclear-nueva-generacion-francia/.

141 Noelia López Redondo, «En España no salen las cuentas: falta el 70°% de la inversión necesaria para el cierre de las nucleares», *Energy News Todo energía*, 2019, https://www.energynews.es/en-espana-no-salen-las-cuentas-falta-el-70-de-la-inversion-necesaria-para-el-cierre-de-las-nucleares/.

142 Ministerio de Transición Ecológica y el Reto Demográfico, «Borrador de 7.o Plan General de Residuos Radioactivos», 2020, p. 100.

143 Esther de Aragón, «ENRESA prevé un almacén temporal de residuos nucleares en 2028», *Energy News Todo energía*, 2020, https://www.energynews.es/enresa-preve-un-atc-residuos-nucleares-en-2028/.

144 International Energy Agency, «Nuclear Power in a Clean Energy System», 2019, p. 51; Schneider y Froggatt, «The World Nuclear Industry Status Report 2019 - World Nuclear Industry Status Report», p. 18.

En cuanto a la energía generada por combustibles fósiles, parece poco probable que alguien en Occidente se plantee un aumento en este tipo de instalaciones, cuando la tendencia es precisamente a lo contrario. En este caso no se trata de una limitación en la materia prima[145][146], ni de problemas de espacio o económicos, sino de un objetivo de sostenibilidad climática autoimpuesto en aras de no comprometer el futuro de la vida humana en la Tierra[147]. Se asume a nivel internacional que la única manera de combatir el cambio climático, o acotarlo, es controlar las emisiones de GEI y, por tanto, disminuir la generación eléctrica procedente de centrales generadoras de CO_2.

Las energías renovables vuelven a ser las grandes ganadoras en este aspecto. La generación indirecta de CO_2 asociada a la construcción y mantenimiento de estas instalaciones es mínima[148] y, a medida que se vaya generalizando su aportación al *mix* energético, esta huella de emisiones se va a ir reduciendo. Además, los materiales necesarios para su construcción son, en su mayoría, abundantes en el globo[149]. Y, por si fueran pocas ventajas, se trata de una energía sin problemas de escalabilidad, tanto a nivel de generación de tipo particular como en términos de generación industrial; es decir, se trata de un tipo de energía de muy fácil acceso[150].

Pero no todo es perfecto en cuanto a las renovables, hay un problema de tipo económico que los Estados tendrán que afrontar en la medida en que se vayan haciendo con la porción más grande del entramado energético: su rentabilidad. Al parecer, la manera de «vender» esta energía es poco atractiva para las grandes empresas. El caso es que se trata de una energía barata, tan barata que su coste de generación puede llegar a cero o ser incluso negativo.

145 Cada vez existen más combustibles fósiles disponibles en el mundo y la tendencia en los próximos años, entre la mayoría de países desarrollados, será a reducir el consumo, con lo que todavía habrá más disponible y es posible que esto se traduzca en una bajada importante de los precios.

146 BP, «BP Statistical Review of World Energy 2019», pp. 15 y 31.

147 United Nations, «Acuerdo de París Naciones Unidas 2015».

148 Benjamín K Sovacool, «Valorando las emisiones de gases de efecto invernadero de la energía nuclear: una revisión crítica», *Energy Policy* 36 (2008), 2940-53, https://doi.org/10.1016/j.enpol.2008.04.017.

149 Abbott, *op. cit.*

150 Incluso con la tecnología actual cualquiera puede disponer de placas solares térmicas o fotovoltaicas y un pequeño aerogenerador en su domicilio.

El fenómeno está relacionado con la nula flexibilidad en la generación que se apunta en el apartado de «Competitividad». Un aerogenerador produce energía de manera independiente a la demanda de la red, de modo que si no hay mucha demanda, la única manera de disminuir la intensidad de la red, y no sobrecargarla, es bien parar el aerogenerador[151], o bien consumir esa energía a coste cero. Es decir, en los momentos de sobrecarga de la red, cosa que se puede dar a menudo con un *mix* energético basado en renovables, las empresas eléctricas no ganarían dinero, o no tanto como con la distribución actual[152].

Así las cosas, uno de los próximos retos que tendrán que afrontar los Estados que apuesten por las renovables será modificar la normativa de rentabilidad energética, en la que se fijan los precios de la generación renovable para que sean «rentables». La nueva legislación debería hacer sostenible tanto para las empresas como para los usuarios, desde el punto de vista económico, la generación mediante el uso de renovables. De otro modo es previsible que las «grandes eléctricas»acoten el despliegue de este tipo de generación energética.

En España ya se ha tomado alguna medida a este respecto. Se ha establecido una tasa mínima de rentabilidad para las renovables mediante el Real Decreto Ley 17/2019[153]. Un posible punto de controversia, que sería digno de un estudio en profundidad, es si resulta moralmente aceptable permitir que las grandes empresas tengan un beneficio mínimo regulado de manera independiente al coste que les genere su producción eléctrica. Y es que en este ámbito no cabe ser ingenuo, pues ese coste será sufragado por el usuario final, es decir, el consumidor de la energía.

Comparativa de factores por tecnología de generación

A estas alturas del texto nos encontramos en disposición de obtener una tabla, a modo de resumen, de la posición en la que queda cada una de las tecnologías en función de los diferentes factores expuestos. En esta tabla se da un valor entre *0* y *3* a las diferentes tecnologías conforme a lo apoyadas que se vean por cada uno

151 Operación que requiere un coste adicional.

152 Conthe Gutiérrez, *op. cit.*

153 Presidencia del Gobierno, Real Decreto Ley 17/2019, de 22 de noviembre, por el que se adoptan medidas urgentes para la necesaria adaptación de parámetros retributivos que afectan al sistema eléctrico y por el que se da respuesta al proceso de cese de actividad de centrales térmicas.

de los factores, donde *0* es «nada apoyadas» y *3*, «muy apoyadas». Finalmente se sumarán todos los valores para comprobar qué tipo de sistema de generación tiene más posibilidades de expansión y cómo afecta a la evolución de la nucleoeléctrica. Cada uno de los valores concedidos según factor se corresponde a lo inferido de los apartados anteriores.

FACTOR	ENERGÍA NUCLEAR	ENERGÍAS RENOVABLES	COMBUSTIBLES FÓSILES
Voluntad política	1	3	1
Percepción popular	0	3	1
Actores sociales	2	3	0
Competitividad	2	2	3
Riesgo	2	3	1
Vulnerabilidad energética	2	3	2
Aportación al cambio climático	3	3	0
Viabilidad y escalabilidad	1	2	0
Total	13	22	9

Tabla 1. Comparativa de los sistemas de generación eléctrica en función de su valoración conforme a los factores establecidos en el estudio. Fuente: elaboración propia.

A la vista de la tabla anterior, las conclusiones son evidentes. La expansión de las energías renovables en nuestro país es muy probable. Es posible que, debido a situaciones económicas coyunturales[154][155], ese crecimiento se demore un poco más de lo previsto y los objetivos establecidos para 2030, 2035 y 2050 tarden algún año más en alcanzarse[156]. Pero es muy improbable

[154] Aquí nos referimos a la incierta crisis económica que se prevé generen las medidas tomadas, tanto a nivel internacional como nacional, contra la el contagio y expansión del COVID-19, virus protagonista de la pandemia más reciente sufrida por la humanidad.

[155] Raymond Torres y María Jesús Fernández, «La política económica española y el COVID-19», *Cuadernos de Información Económica*, n.o 275 (2020), https://www.funcas.es/covid-19/pdf/275art02.pdf.

[156] Ilaria Grasso Macola, «What is the impact of Covid-19 on the power sector?», Power Technology, 2020, https://www.power-technology.com/features/impact-covid-19-power-sector/; Sujay Shah, «Covid-19 and the clean energy challenges and opportunities», Standard Chartered, 2020, https://www.sc.com/en/trade-beyond-borders/covid-19-clean-energy-challenges-and-opportunities/; Peter Fox-Penner, «COVID-19 will slow the global shift to renewable energy, but can't stop it», The Conversation, 2020, https://theconversation.com/covid-19-will-slow-the-global-shift-to-renewable-energy-but-cant-stop-it-133499.

que la energía nuclear o la generada a partir de combustibles fósiles tengan un desarrollo comparable al de las renovables a medio plazo.

En definitiva, todo apunta a que el objeto de este documento, la energía nuclear en España, no parece que vaya a tener una segunda oportunidad de desarrollo. Sin embargo, también parece probable que la vida operativa de alguna, o todas, las centrales actuales, se prolongue más allá de lo que contempla el actual PNIEC. Esto se debería principalmente al déficit en el ritmo real de expansión de las renovables y la necesidad de controlar las emisiones de GEI.

Conclusiones

Fin de la generación por fisión en España

Una vez analizados y evaluados los aspectos y factores que pueden influir en la dilatación en el tiempo de las infraestructuras nucleoeléctricas del Estado, estamos en disposición de asumir, con cierta precisión, que la pregunta adecuada a plantear quizás no sea si van a seguir existiendo este tipo infraestructuras sino cuándo van a desaparecer.

Se trata de una energía mayoritariamente rechazada por la población, con un exiguo apoyo desde contados partidos políticos y con verdaderos dilemas en cuanto a su expansión y financiación. Únicamente teniendo en cuenta estas premisas de partida, cualquiera apostaría por un futuro poco halagüeño para este tipo de generación eléctrica.

Accidentes como el afamado de Chernóbil, Fukushima o el recientemente accesible de Mayak en los años 50 del siglo pasado, no han hecho sino extender un halo de temor sobre la sociedad mundial y que en España ha calado especialmente. Hemos visto que las estadísticas no justifican esta inquietud, o por lo menos no más que la que deberían generar otros tipos de avances.

También sabemos que desde el punto de vista tecnológico es posible construir nuevos reactores, pero es demasiado tarde para asumir la demanda energética y el objetivo de emisiones de 2030.

Además de todo esto, las competidoras de la energía nuclear son las, cada vez más eficientes, energías renovables. Un tipo de energía más barata de instalar y de producir, con menor huella de GEI, prácticamente inocua para la población, resiliente, indepen-

diente del suministro exterior y totalmente escalable. A pesar de todo, las renovables tienen un punto débil: parece que es un tipo de generación que abarata tanto el coste del GWh que compromete la rentabilidad de la producción en las empresas del sector. No obstante, la normativa española parece que está en vías de solucionar este problema.

En suma, las posibles ventajas que tiene la generación nucleoeléctrica no compensan todos los inconvenientes que habría que superar. Así pues, se debe asumir que la generación eléctrica a partir de una planta nuclear previsiblemente finalizará en España con la parada del último reactor de los siete operativos a día de hoy.

La cuestión sobre cuándo se va a producir la parada y cierre del último de los reactores en funcionamiento es un asunto más esquivo. El ritmo de instalación de renovables no resulta suficientemente alto para asumir el déficit energético que generarán los cierres de los reactores. En consecuencia, y en aras de mantener unas emisiones de GEI controladas, parece razonable que se amplíe la vida operativa de las centrales nucleares actuales, puesto que, en la fase de generación, su nivel de emisiones es comparable al de los aerogeneradores.

El decisor ante el cambio climático

En lo referente a la generación eléctrica y al cambio climático, sabemos que las proyecciones del PNIEC muestran una realidad no demasiado esperanzadora para la sustitución de las plantas de combustibles fósiles por renovables. Situación que se podría acentuar de cumplirse los plazos establecidos de parada de reactores hasta el año 2030.

Así, los decisores, es decir, el poder ejecutivo apoyado por el legislativo, parece que tendrán que plantearse a lo largo de la próxima década qué opción elegir entre las siguientes:

- Volcar los recursos que le queden al Estado en la instalación masiva de renovables.
- Aumentar la producción de las centrales térmicas de combustibles fósiles, con las consecuencias que sabemos de aumento de emisiones GEI y las mayores importaciones de hidrocarburos de los países productores, aumentando así la dependencia energética.
- Invertir en un aumento de infraestructura de conexión con Europa, como apunta el PNIEC, y comprar la energía «libre de

GEI» en el exterior, acentuando también así la dependencia energética.

– Aprobar la extensión de la vida operativa de los reactores nucleares.

Sabemos que es poco probable que se alcance el ritmo necesario de instalación de energías renovables. Luego parece poco realista que, dada la situación económica que se cierne sobre la nación, esto vaya a ser posible. Así, la primera opción no parece válida.

Por otra parte, uno de los mayores riesgos para la población es mantener el nivel de emisiones de GEI actual. Es por ello que la segunda opción no resulta aconsejable.

En tercer lugar, el invertir en infraestructura de conexión con el resto de Europa precisa, una vez más, de un dispendio económico que no se encuentra con la mejor situación financiera del país para llevarse a cabo, situación susceptible de empeorar como consecuencia de la pandemia sufrida a nivel mundial. Es más, se trataría de mejorar la interconexión para comprar energía en el exterior, lo que profundizaría el ya acusado problema de la dependencia y, por tanto, de vulnerabilidad energética. Así, la tercera opción tampoco parece la más apropiada.

En consecuencia, y a pesar de lo promulgado por algunos partidos políticos, es muy posible que los decisores tengan que valorar si es aceptable prolongar la vida operativa de las instalaciones nucleares para no comprometer lo establecido en el Acuerdo de París en cuanto al control de emisiones de GEI.

En definitiva, estamos en disposición de afirmar que el «apagón nuclear» se va a producir, salvo cambios impredecibles. El momento en que se vaya a ejecutar depende de varios factores, por lo que cualquier información a este respecto debe tomarse con la correspondiente cautela. Incluso aunque las instituciones públicas emitan planes que determinen el final de la energía nuclear, como hemos visto, es posible que haya que prolongar la vida operativa de algunos reactores, si no todos. El objetivo de esta prolongación no sería otro que el de mantener un suministro eléctrico fiable mientras se cumplen los compromisos de control de emisiones de GEI.