

# Centrales nucleares, emisiones de CO<sub>2</sub> y cambio climático

*Existe una gran preocupación sobre el cambio climático y sus efectos entre la población. Desde hace años la industria nuclear se postula como una solución a las emisiones de gases de efecto invernadero, alegando que la producción de electricidad a partir de la energía nuclear está libre de emisiones de CO<sub>2</sub>. En este artículo comentamos diversos estudios que muestran que la energía nuclear no está exenta de emisiones de CO<sub>2</sub>, tanto si analizamos todo el ciclo de vida de una central nuclear, como si nos restringimos a la fabricación del combustible nuclear. Estas emisiones son menores que las producidas por las industrias eléctricas basadas en el carbón, petróleo o gas, pero, por otro lado, son mayores que las producidas por las industrias que utilizan energías renovables. La energía nuclear no es una alternativa para mitigar el cambio climático, pues tiene enormes inconvenientes en comparación con la opción de las energías renovables.*

**E**n los últimos años está creciendo entre la ciudadanía la preocupación respecto al cambio climático. Ha contribuido, seguramente, la difusión de los estudios científicos sobre el tema y sobre sus consecuencias en los fenómenos atmosféricos. Es habitual encontrar en la prensa artículos de divulgación sobre los orígenes y los efectos del cambio climático. También se trata frecuentemente el tema en programas de televisión y de radio. Podemos afirmar que el grado de sensibilización de la población sobre el cambio climático y sus efectos es notable, a pesar de las opiniones que lo nieguen o lo ridiculicen.

En noviembre de 2016, se celebró en Marrakech la vigésima segunda Conferencia de las Partes (COP22) con la participación de unos doscientos países que integran la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático. En la reunión se aprobaron diferentes documentos que se incorporarán al Acuerdo de París de 2015 sobre la reducción de las emisiones de gases de efecto invernadero. En esa reunión, el representante de la Organización Meteorológica Mundial anunció que en el año 2016 se volvería a batir el récord de temperatura media a nivel planetario. Las estimaciones indicaban que a finales de 2016 la temperatura media del planeta se habrá

Xavier Bohigas,  
Departament de  
Física, Universitat  
Politècnica de  
Catalunya (UPC)

situado 1,2°C por encima de la temperatura de la era preindustrial. Así, parece que nos acercamos, de una forma mucho más rápida de lo que se había estimado hace años, a una temperatura media de 2°C por encima de la era preindustrial. Valor que se considera una frontera, de manera que un aumento de temperatura superior podría provocar situaciones atmosféricas con consecuencias imprevisibles y, muy probablemente, irreversibles.

Por otro lado, el observatorio de Mauna Loa en Hawái registró<sup>1</sup> durante el 2015 una concentración de dióxido de carbono superior a 400 ppm, la mayor concentración registrada hasta la fecha. El observatorio de Mauna Loa mantiene la serie más larga de registros de CO<sub>2</sub>, y se ha convertido en una referencia para evaluar la concentración mundial de CO<sub>2</sub>.

Ambos datos, el aumento de la temperatura media de la Tierra y la concentración de dióxido de carbono, fueron ampliamente difundidos por los medios de comunicación.

El aumento de la temperatura media de la Tierra se debe, fundamentalmente, al aumento de la concentración de los gases de efecto invernadero. El dióxido de carbono, el CO<sub>2</sub>, contribuye en más de un 75% al efecto invernadero. Las emisiones de este gas provienen, mayoritariamente, de la combustión de combustibles fósiles: petróleo, gas y carbón, así como de sus derivados. Este proceso tiene lugar en diversos sectores económicos.

La preocupación para reducir la emisión de gases de efecto invernadero es generalizada, si bien, de momento, los gobiernos no han llegado a los acuerdos y medidas oportunas para conseguirlo. La reducción del uso de los combustibles fósiles parece que es una de las medidas más eficientes. La generación de electricidad tiene un papel importante, pues representa un porcentaje importante de las emisiones, debido a que el 66% de la electricidad producida en el mundo es de origen fósil.<sup>2</sup> En la Unión Europea es menor, algo menos del 50%.<sup>3</sup>

## La industria nuclear afirma que la energía nuclear ayuda a mitigar el cambio climático

La industria nuclear ha aprovechado este contexto para reivindicar su papel en el sector de la generación de electricidad, como una opción necesaria para reducir las emisiones de

<sup>1</sup> R. Molar-Candanosa, «2015 State of the Climate: Carbon Dioxide», *National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA)*, 2 de Agosto de 2016 [en línea], disponible en: <https://www.climate.gov/news-features/featured-images/2015-state-climate-carbon-dioxide>.

<sup>2</sup> Según señalan los datos de distribución de la generación de electricidad por fuente energética proporcionados por The Shift Data Project [disponible en: <http://www.tsp-data-portal.org/Breakdown-of-Electricity-Generation-by-Energy-Source#tspQvChart>].

<sup>3</sup> Tal y como muestran los datos del mercado eléctrico que facilita Eurostat [disponibles en: [http://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php/Electricity\\_production,\\_consumption\\_and\\_market\\_overview](http://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php/Electricity_production,_consumption_and_market_overview)].

gases de efecto invernadero a nivel global. Insiste en afirmar que la producción de energía eléctrica a partir de la energía nuclear es una energía limpia, que no emite gases de efecto invernadero y, en particular, que no emite CO<sub>2</sub>. Y, por tanto, que la energía nuclear contribuye a mitigar el cambio climático.

Poco antes de la Conferencia de París sobre el Cambio Climático, que tuvo lugar en diciembre de 2015, la industria nuclear presentó una declaración firmada por diferentes sociedades y organizaciones dedicadas al desarrollo de la energía nuclear con finalidades pacíficas.<sup>4</sup> En esta declaración se reconoce que las actividades humanas contribuyen al cambio climático y que se deben reducir las emisiones de gases de efecto invernadero en el mundo. Se afirma que la energía nuclear es parte de la solución en la lucha contra el cambio climático. Finalmente, se hace un llamamiento a la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático para que reconozca la energía nuclear como una tecnología con bajas emisiones de carbono y se incluya en sus mecanismos de financiación climática. La presión de la industria nuclear sobre las Naciones Unidas fue al máximo nivel, con una intervención del director del Organismo Internacional de Energía Atómica (OIEA) para que se tuviese en cuenta esta energía como instrumento para combatir el cambio climático.<sup>5</sup> Más claro no lo pueden decir, piden reconocimiento y financiación.

Desde hace años la industria nuclear está llevando a cabo una importante campaña de incidencia para reivindicarse como una energía limpia. Ya en el año 2000, en la sexta reunión de la Conferencia de las Partes, la industria nuclear intentó que se reconociese ésta como una tecnología libre de emisiones de CO<sub>2</sub>. Después del accidente de Fukushima, en 2011, la insistencia se redujo y, desde hace algo más de un año, parece que vuelve a intensificarse. Si consiguen el reconocimiento por parte de las Naciones Unidas, habrían conseguido su objetivo, como mínimo en el ámbito institucional. Pero, además y no menos importante, se les abriría una puerta a la financiación de la industria, pues podrían optar a ayudas económicas como actividad que ayuda mitigar el cambio climático.

Estas declaraciones de la industria nuclear no son nuevas, vienen sucediéndose desde hace años, pero recientemente han aumentado su intensidad. Las declaraciones en la prensa internacional son frecuentes. También en el Estado español la industria nuclear se muestra muy activa en este sentido. En el caso internacional el objetivo parece ser la obtención de financiación para iniciar nuevos proyectos nucleares. Pero en el caso español la razón, seguramente, es otra pues no está previsto ningún proyecto de construcción de nuevos reactores nucleares. Esta campaña podría tener como objetivo crear un estado de opinión

---

<sup>4</sup> El documento Nuclear for Climate Declaration puede consultarse en [www.nss.si/1novice/Declaration.pdf](http://www.nss.si/1novice/Declaration.pdf)

<sup>5</sup> M. Planelles, «La industria nuclear se reivindica en la lucha contra el cambio climático», *El País*, 25 de noviembre de 2015 [en línea], disponible en: [http://internacional.elpais.com/internacional/2015/11/25/actualidad/1448448547\\_173605.html](http://internacional.elpais.com/internacional/2015/11/25/actualidad/1448448547_173605.html).

favorable a la energía nuclear. Con ello preparan el terreno para el momento en que soliciten la prórroga de los permisos de explotación de las centrales nucleares, que finalizan entre 2020 y 2023. Conseguirían, así, prolongar la vida de los reactores sin oposición ni rechazo social.

La producción de electricidad en un reactor nuclear consiste, básicamente, en calentar el agua a partir del calor liberado en las reacciones nucleares que tienen lugar en el interior del reactor. Esta agua se hace circular por un circuito (primario), cede calor a uno segundo (secundario) que hace mover unos alternadores que transforman el trabajo mecánico en electricidad. En el proceso de generación de electricidad en una central nuclear no hay combustión de productos químicos orgánicos, por lo que durante este proceso las emisiones de CO<sub>2</sub> son insignificantes. Pero a nadie se le escapa que un reactor nuclear necesita un combustible para generar electricidad y la fabricación de este combustible sí emite gases de efecto invernadero, como veremos a continuación.

## Combustible nuclear y minería del uranio

El uranio es un elemento muy poco abundante en la naturaleza. Se presenta en forma de óxidos de tres isótopos diferentes. El isótopo más abundante es el U-238, que representa el 99,28% del total de uranio. El U-235 supone un 0,71% y el U-234 una proporción ínfima. De los dos isótopos más abundantes solo el U-235 es fisionable, y, por tanto, es el que se utiliza en la preparación del combustible nuclear. El mineral que se extrae de las minas contiene entre un 0,05 y un 0,3% de uranio. Y de éste, sólo el 0,71% corresponde al isótopo U-235 adecuado para el combustible que usan las centrales nucleares de generación de energía eléctrica.

Esto nos indica que se necesitan cantidades ingentes de mineral para obtener el combustible nuclear. Además, la fabricación del combustible nuclear es larga y compleja, por lo que parece evidente que la fabricación de este combustible pide un gasto importante de energía a la vez que se emiten gases de efecto invernadero.

En las minas convencionales el mineral extraído es triturado y sometido a un proceso de lixiviación con ácido sulfúrico para disolver los óxidos de uranio que contiene el mineral. Tras un proceso de secado y filtrado se obtiene una sustancia conocida como torta amarilla (*yellow cake*), que contiene entre el 75 y el 85% de óxido de uranio (U<sub>3</sub>O<sub>8</sub>). En el proceso de extracción del mineral se acumulan en el exterior de la mina gran cantidad de escombros, altamente contaminantes, que quedan expuestos a la lluvia y el aire. El movimiento de esta enorme cantidad de material es una de las causas del aumento de la radioactividad ambien-

tal, juntamente con las pruebas de explosiones nucleares que se han realizado a lo largo de la historia.

La producción de uranio procedente de minas fue, en 2015, de más de 60.000 toneladas, que equivalen a 71.000 toneladas de U<sub>3</sub>O<sub>8</sub>. El mayor productor de uranio fue Kazajistán con el 39% de la explotación minera del total mundial y le siguieron Canadá con el 22% y Australia con el 9%. Los métodos de minería han cambiado. En 1990 el 55% de la producción mundial provenía de minas subterráneas, actualmente cerca del 50% de la producción es en minas a cielo abierto. Cuatro compañías acaparan el 70%, aproximadamente, de la producción de uranio.<sup>6</sup> Parece claro que todo este proceso no está exento de emisión de gases de efecto invernadero.

Se han realizado estudios para estimar la cantidad de CO<sub>2</sub> emitido a la atmosfera asociado a la minería del uranio. Los datos, evidentemente, dependen de la mina pues no todos los yacimientos tienen la misma riqueza de uranio y las técnicas y condiciones de extracción son diferentes. Las emisiones se distribuyen entre las 10 y las 50 toneladas de CO<sub>2</sub> para obtener una tonelada de U<sub>3</sub>O<sub>8</sub>, dependiendo de la mina,<sup>7</sup> si bien en alguna se alcanzan las 250 toneladas de CO<sub>2</sub> emitido. Si, como promedio, consideramos que se emiten 40 toneladas de CO<sub>2</sub> por cada tonelada de U<sub>3</sub>O<sub>8</sub> producida, y tenemos en cuenta que la producción anual de 2015 fue de 71.000 toneladas de U<sub>3</sub>O<sub>8</sub>, obtenemos que ese año se emitieron cerca de tres millones de toneladas de CO<sub>2</sub>, únicamente en la actividad minera de extracción de uranio. A modo de comparación nos servirá saber que las emisiones totales de Luxemburgo fueron en 2015 de diez millones de toneladas,<sup>8</sup> o que las emisiones de gases de efecto invernadero, atribuibles a la movilidad, de las seis mayores áreas metropolitanas del Estado español (Madrid, Barcelona, Valencia, Sevilla, Málaga y Bilbao) alcanzaron los 12 millones de toneladas.<sup>9</sup>

Otra característica de la minería del uranio es la enorme cantidad de agua que utiliza. Se ha calculado que para obtener una tonelada de óxido de uranio (U<sub>3</sub>O<sub>8</sub>), que representa unos 6 kg de U-235 útil para el combustible nuclear, se emplea<sup>10</sup> alrededor de un millón de litros de agua por término medio (entre 200.000 litros y más de ocho millones de litros,

<sup>6</sup> Según los datos de la producción mundial de uranio que proporciona la World Nuclear Association [información disponible en: <http://www.world-nuclear.org/information-library/nuclear-fuel-cycle/mining-of-uranium/world-uranium-mining-production.aspx>].

<sup>7</sup> G. M. Mudd y M. Diesendorf, «Sustainability of Uranium Mining and Milling: Toward Quantifying Resources and Eco-Efficiency», *Environmental Science & Technology*, Vol. 42, núm. 7, 2008, pp. 2624-2630.

<sup>8</sup> Como reflejan los datos sobre emisiones de CO<sub>2</sub> (kt) del Banco Mundial [disponibles en: <http://datos.bancomundial.org/indicador/EN.ATM.CO2E.KT>].

<sup>9</sup> Greenpeace, *El transporte en las ciudades. Un motor sin freno del cambio climático*, Greenpeace, mayo, 2016 [disponible en: <http://www.greenpeace.org/espana/es/Informes-2016/Mayo/El-transporte-en-las-ciudades-Un-motor-sin-freno-del-cambio-climatico/>].

<sup>10</sup> G. M. Mudd y M. Diesendorf, *op. cit.*

dependiendo del yacimiento). Este promedio representa el agua contenida en la mitad de una piscina olímpica (de 50 metros de largo) aproximadamente. Este aspecto de la minería es especialmente relevante si tenemos en cuenta las previsibles reducciones de agua disponible a causa del cambio climático.

Actualmente, las diez mayores minas de producción de uranio obtienen mineral de uranio con una riqueza promedio superior al 0,10% de uranio. Otras minas están funcionando con riqueza por debajo del 0,02%.<sup>11</sup> La calidad del mineral extraído va disminuyendo desde hace tiempo en la mayoría de yacimientos. Por lo que los consumos energéticos, las necesidades de agua y también la emisión de CO<sub>2</sub> para obtener uranio aumentarán en los próximos años. Se ha calculado que las emisiones de gases de efecto invernadero del ciclo nuclear serán menores que las producidas con combustibles fósiles, mientras el mineral de uranio tenga una proporción de uranio superior al 0,001%.<sup>12</sup>

Así pues, podemos afirmar que la minería del uranio contribuye a la emisión de gases de efecto invernadero. Además, tengamos en cuenta que los datos comentados hacen referencia únicamente al proceso de extracción del uranio en la mina. Para obtener un valor más ajustado a la realidad de las emisiones de CO<sub>2</sub> de un reactor nuclear en funcionamiento, deberemos añadir las emisiones debidas a las otras fases de la fabricación del combustible nuclear.

Recordemos que el uranio natural contiene únicamente el 0,71% de U-235 y que los reactores nucleares funcionan con un combustible que contiene entre un 4 y un 5% de U-235; así pues la torta amarilla debe someterse a un proceso de enriquecimiento. Previamente a dicho proceso, el óxido de uranio (U<sub>3</sub>O<sub>8</sub>) de la torta amarilla se transforma en fluoruro de uranio (UF<sub>6</sub>). Hay dos métodos típicos para enriquecer el uranio: la difusión gaseosa –técnica utilizada fundamentalmente en EE UU– y la centrifugación –utilizada en Europa y Rusia–. Del material tratado, solo el 15% servirá para fabricar las barras del combustible nuclear (uranio enriquecido) que se introducirá en los reactores y el 85% restante será un residuo conocido como uranio empobrecido. Un reactor de 1GW necesita aproximadamente unas 27 toneladas de uranio enriquecido fresco cada año.<sup>13</sup>

La fabricación del combustible nuclear abarca diferentes fases: la extracción del mineral, la conversión en torta amarilla, su traslado desde la zona de extracción a las instalaciones destinadas al enriquecimiento del uranio, la fabricación del combustible nuclear, el traslado del combustible a la central nuclear y el traslado del combustible gastado a los almacenes. En todas y cada una de estas fases se emiten gases de efecto invernadero. Hasta el

---

<sup>11</sup> *Ibidem*.

<sup>12</sup> T. Norgate, N. Haque y P. Koltun, «The impact of uranium ore grade on the greenhouse gas footprint of nuclear power», *Journal of Cleaner Production*, Vol. 84, 2014, pp. 360-367.

<sup>13</sup> Véase [www.world-nuclear.org/information-library/nuclear-fuel-cycle/introduction/nuclear-fuel-cycle-overview.aspx](http://www.world-nuclear.org/information-library/nuclear-fuel-cycle/introduction/nuclear-fuel-cycle-overview.aspx)

momento hemos comentado las emisiones de CO<sub>2</sub> asociadas únicamente a la extracción del mineral, por lo que parece claro que la fabricación del combustible nuclear producirá unas emisiones nada despreciables.

Un reactor nuclear como el de Vandellós con una potencia de 1GW aproximadamente, contiene 157 elementos de combustible. El sistema está diseñado para substituir parcialmente estos elementos, en lugar de realizar una substitución completa, a medida que el combustible se va gastando. En cada recarga se suelen cambiar 64 de estos elementos. Considerando el proceso completo de fabricación del combustible (extracción del mineral, fabricación y transporte), se ha calculado<sup>14</sup> que cada proceso de recarga parcial de combustible de un reactor de las características de Vandellós implica la emisión, como mínimo, de 1.800 toneladas de gases de efecto invernadero.

## Emisiones en el proceso global de generación de electricidad a partir de la energía nuclear

Para evaluar si la energía nuclear contribuye o no a mitigar el cambio climático es necesario valorar no solo el proceso de fabricación del combustible nuclear, sino que debe analizarse el proceso completo de la generación de electricidad a partir de la energía nuclear. Es decir, también se deben tener en cuenta la construcción de la central nuclear; el funcionamiento y mantenimiento de la misma en su fase operativa; el acondicionamiento, reprocesado y almacenado del combustible gastado y, finalmente, la clausura y desmantelamiento de la central una vez ha dejado de funcionar, así como la recuperación de las minas. Obviar alguno de estos aspectos sería falsear el cálculo real de las emisiones de CO<sub>2</sub> de la generación de electricidad a partir de la energía nuclear. En definitiva, hay que analizar el ciclo de vida de una central nuclear para realizar una evaluación correcta.

Se han realizado multitud de estudios que evalúan la emisión de gases de efecto invernadero en todo el ciclo nuclear. Comentaremos algunos trabajos publicados en revistas de reconocido prestigio que aportan datos contrastados sobre las emisiones de gases de efecto invernadero de las centrales nucleares.

En uno de los trabajos más relevantes de síntesis realizado,<sup>15</sup> se analizaban 103 estudios previos sobre las emisiones de CO<sub>2</sub> de la vida completa de las centrales nucleares. Una

<sup>14</sup> M. Muñiz, «La energía nuclear civil, tan peligrosa como la militar: 3. Emisiones de CO<sub>2</sub> de las nucleares de Cataluña», *Revista Mientras Tanto*, núm. 127, 2014 [disponible en: <http://www.mientrastanto.org/boletin-127/notas/la-energia-nuclear-civil-tan-peligrosa-como-la-militar-3>].

<sup>15</sup> B. K. Sovacool, «Valuing the greenhouse gas emissions from nuclear power: A critical survey», *Energy Policy*, núm. 36, 2008, pp. 2940-2953.

vez descartados aquellos estudios que no utilizaban datos bien contrastados o cuya publicación tenía más de diez años de antigüedad, se concluía que se emiten a la atmósfera entre 1,4 y 288 gramos de CO<sub>2</sub> por cada kWh generado en la central, con un valor medio de 66 gramos de CO<sub>2</sub> por cada kWh. Los estudios analizados obtienen, aparentemente, resultados muy dispares. Las diferencias se deben a diversas causas: alcance del estudio (algunos incluyen únicamente una parte del ciclo nuclear); suposiciones sobre la calidad del mineral de uranio; supuestos relativos al tipo de minería y al método de enriquecimiento; suposiciones sobre el tipo de reactor, la selección del sitio y la vida operacional; y el tipo de análisis del ciclo de vida.

Estas emisiones se distribuyen de forma que la fase de fabricación del combustible es responsable del 38% de las emisiones, la construcción de la central representa el 12% de las emisiones, la fase de funcionamiento el 17%, el tratamiento del combustible gastado el 15% y la fase de desmantelamiento el 18%. Estos porcentajes equivalen (véase la tabla 1) a unas emisiones de CO<sub>2</sub> de 25,09 CO<sub>2</sub>/kWh en la fase de fabricación del combustible; 8,20 gCO<sub>2</sub>/kWh en la construcción; 11,58 gCO<sub>2</sub>/kWh en la fase de operación; 9,20 gCO<sub>2</sub>/kWh en el tratamiento del combustible y 12,01 gCO<sub>2</sub>/kWh en el desmantelamiento. Lo que equivale, para el proceso completo, a un total de 66,08 gramos de CO<sub>2</sub> emitidos a la atmósfera por cada kWh generado de electricidad.

**Tabla 1. Cantidades de CO<sub>2</sub> emitidas a la atmósfera en la producción de 1kWh de electricidad, para cada una de las fases de la vida de un reactor nuclear**

Fase	Cantidad de CO <sub>2</sub> emitido (gramos)	Porcentaje respecto el total (%)
Fabricación del combustible	25,09	38
Construcción del reactor	8,20	12
Funcionamiento	11,58	17
Tratamiento del combustible gastado	9,20	15
Desmantelamiento	12,01	18
Total	66,08	

Fuente: B. K. Sovacool, *op. cit.*

Otros trabajos de síntesis llegan a resultados muy similares (65gCO<sub>2</sub>/kWh),<sup>16</sup> si bien este último trabajo (véase la nota anterior) da unos resultados algo superiores a los que aca-

<sup>16</sup> Como, por ejemplo, en M. Lenzen, «Life cycle energy and greenhouse gas emissions of nuclear energy: A review», *Energy Conversion and Management*, núm. 49, 2008, pp. 2178-2199 y J. Beerten, E. Laes, G. Meskens y W. D'haeseleer, «Greenhouse gas emissions in the nuclear life cycle: A balanced appraisal», *Energy Policy*, núm. 37, 2009, pp. 5056-5068.

bamos de presentar y los autores señalan que las emisiones de CO<sub>2</sub> asociadas al procesamiento, almacenamiento y eliminación de los residuos, en general, están infravaloradas.

La construcción de una central nuclear necesita de largos y costosos procesos, la mayoría de los cuales emiten cantidades importantes de CO<sub>2</sub>. Así, por ejemplo, se estima que una central típica de 1GW de potencia necesita 170.000 toneladas de hormigón, 32.000 de acero, 1.363 de cobre y un total de 205.464 de otros materiales. Es fácil imaginarse que la gestión de esta ingente cantidad de materiales genera emisiones de gases de efecto invernadero.

---

### La producción de electricidad a partir de la energía nuclear no está libre de emisiones de gases de efecto invernadero

---

Actualmente, el combustible nuclear gastado se almacena durante un periodo aproximado de diez años en las piscinas de las centrales, y, posteriormente, en almacenes temporales individuales a la espera de tener un almacén temporal centralizado, que de momento no existe.

La última fase del ciclo nuclear consiste en el desmantelamiento de la central. Primero el reactor debe enfriarse. Posteriormente, hay que descomponerlo en piezas que se empaquetarán en pequeños contenedores para su almacenaje. Esto requiere disponer de los almacenes adecuados, tanto para el material altamente radioactivo como para los materiales (que son la mayoría) de radioactividad media y baja. El gran problema de estos últimos, más que sus emisiones radioactivas, es su enorme volumen. El tiempo necesario para liberar completamente el emplazamiento de una central nuclear supera los 100 años. A modo de ejemplo, para hacernos una idea de lo que representa desmantelar una central nuclear, damos algunos datos sobre el desmantelamiento de Vandellós I, cerrada en 1990 a causa de un accidente.<sup>17</sup> En 1994 se retiraron los elementos radioactivos que se trasladaron a Francia para su reciclado. Se han generado 16.500 toneladas de chatarra y 277.000 de hormigón hasta la fecha, además de 2.000 toneladas de residuos radioactivos que se han trasladado al almacén de residuos de baja y media actividad de El Cabril (Córdoba).

Así pues, podemos afirmar que la producción de electricidad a partir de la energía nuclear no está en absoluto libre de emisiones de gases de efecto invernadero, y en particular de CO<sub>2</sub>, si consideramos el ciclo completo de generación de electricidad. Es cierto que las emi-

---

<sup>17</sup> Consejo de Seguridad Nuclear, *Desmantelamiento y clausura de centrales nucleares*, Consejo de Seguridad Nuclear, 2008 [disponible en: <https://www.csn.es/documents/10182/914805/Desmantelamiento%20y%20clausura%20de%20centrales%20nucleares>].

siones en la fase de generación de electricidad a partir de la energía nuclear (66 gCO<sub>2</sub>/kWh) son menores que las producidas si la electricidad se obtiene a partir de carbón (1.000 gCO<sub>2</sub>/kWh), diésel (778 gCO<sub>2</sub>/kWh), o gas natural (440 gCO<sub>2</sub>/kWh). Pero, por otro lado, debemos destacar que son mucho mayores que las producidas con energías renovables, como la fotovoltaica (30 gCO<sub>2</sub>/kWh) o la eólica (9 gCO<sub>2</sub>/kWh). Y recordemos, aunque sea obvio, que estas últimas no generan residuos radioactivos.

En la tabla 2 presentamos las cantidades estimadas de CO<sub>2</sub> emitidas para generar 1kWh de electricidad en función de la tecnología o el combustible utilizado.

**Tabla 1. Cantidades de CO<sub>2</sub> emitidas a la atmósfera en la producción de 1kWh de electricidad, según el tipo de combustible utilizado**

Fuente de energía	Emisiones de CO <sub>2</sub> (gramos)
Carbón	1.000
Diésel	778
Gas natural	443
Energía nuclear	66
Geotérmica	38
Fotovoltaica	32
Biomasa	30
Térmica solar	13
Hidroeléctrica	13
Eólica	9

Fuente: Sovacool

La central nuclear de Garoña ha producido, desde su inauguración en 1971 hasta su cese de actividad en 2012, 133 TWh de electricidad.<sup>18</sup> Por lo que, según los datos presentados más arriba, habrá emitido casi nueve millones de toneladas de CO<sub>2</sub> a la atmósfera en todo su ciclo de vida, incluyendo su desmantelamiento. No parece que sea una cantidad nada despreciable. Además, hemos de tener en cuenta que este reactor es el de menor potencia (466 MW) de los instalados en España. Los otros tienen una potencia de alrededor de los 1.000 MW, prácticamente el doble.

<sup>18</sup> Información operativa de Santa María de Garoña, Nuclenor ([www.nuclenor.org/oper\\_mes.htm](http://www.nuclenor.org/oper_mes.htm)).

## La energía nuclear no es la solución al cambio climático

La energía nuclear y las energías renovables serían las principales opciones para reducir las emisiones de gases de efecto invernadero en la producción de electricidad. Escoger entre las dos opciones pide un análisis de los costes y beneficios de cada una de ellas.

---

### Una implantación masiva de la energía nuclear para producir electricidad reduciría las emisiones de CO<sub>2</sub> pero generaría otros problemas

---

La industria nuclear propone aumentar la producción de electricidad de origen nuclear a costa de las energías de materiales fósiles, con el objetivo de reducir las emisiones de CO<sub>2</sub>. Pero para que la energía nuclear ayudase a mitigar el cambio climático sería necesario un aumento importante de la energía nuclear en el mix energético mundial.

La energía nuclear tuvo una contribución del 9,5% en la generación de electricidad en 2015 en el mundo, si bien representó únicamente el 4,4% de la energía primaria consumida.<sup>19</sup> Actualmente hay 402 reactores nucleares en funcionamiento para generar electricidad, repartidos en 31 países.

El sector eléctrico y de producción de calor es responsable del 25% de las emisiones de gases de efecto invernadero.<sup>20</sup> Así pues, si para reducir las emisiones de CO<sub>2</sub>, substituyésemos las tecnologías que utilizan materias primas que más gases emiten (carbón, petróleo y gas) por energía nuclear para producir electricidad, se deberían construir gran cantidad de centrales nucleares. Para ello se deberían destinar grandes inversiones. Un mayor número de reactores nucleares para producir electricidad implicaría un aumento considerable de las extracciones de uranio y la contaminación asociada a su minería. A la vez, aumentarían enormemente los residuos radioactivos generados. Ambas consecuencias serían de difícil solución.

Los costes financieros son uno de los mayores obstáculos para que la industria nuclear se decida a construir nuevas centrales nucleares. En la mayoría de los Estados estos costes son altos, circunstancia que, juntamente con los retrasos y encarecimientos habituales en este tipo de proyectos, hace que la industria nuclear no se decida a iniciar nuevos proyectos

---

<sup>19</sup> British Petroleum, *BP Statistical Review of World Energy*, 65th Edition, junio, 2016 [disponible en: <http://www.bp.com/en/global/corporate/energy-economics/statistical-review-of-world-energy.html>].

<sup>20</sup> Según los datos globales de emisión de efecto invernadero que proporciona la Agencia de Protección del Medio Ambiente de Estados Unidos (EPA, por sus siglas en inglés) que pueden consultarse en [www.epa.gov/ghgemissions/global-greenhouse-gas-emissions-data](http://www.epa.gov/ghgemissions/global-greenhouse-gas-emissions-data).

de centrales. Este riesgo puede ser menor en los Estados en los que las empresas son estatales o bien los mercados están regulados.<sup>21</sup> Así pues, una implantación masiva de la energía nuclear para producir electricidad reduciría las emisiones de CO<sub>2</sub> pero generaría otros problemas medioambientales y financieros que hacen que esta opción no sea nada recomendable. Si el objetivo real fuese la reducción de emisiones de CO<sub>2</sub>, la opción más acertada sería la construcción de instalaciones que produzcan la menor cantidad posible de emisiones. Y estas son las energías renovables y no la nuclear, como se deduce de los datos presentados en la tabla 2.

---

### Las energías renovables representan un menor coste para el contribuyente que la energía nuclear

---

Tanto la energía nuclear como las energías renovables son, actualmente, unas tecnologías muy dependientes de las subvenciones, si bien por causas diferentes. La energía nuclear requiere de enormes inversiones iniciales para la instalación de centrales que, en general, resultan insuficientes debido al aumento de costes y el retraso de la instalación. Sirva de ejemplo la construcción del reactor nuclear en Flamanville (Francia) cuyo coste estimado inicialmente fue de 3.000 M\$ y cuya puesta en marcha estaba prevista para 2013. Pero, a mediados de 2015, el coste ya se elevaba a los 11.800 M\$ y la nueva previsión de funcionamiento se había retrasado hasta finales de 2018, de momento.<sup>22</sup> Una historia parecida sucede con la construcción del reactor en Olkiluoto (Finlandia). En cambio, las energías renovables han requerido subvenciones en la etapa inicial de desarrollo, pues al ser una tecnología nueva, necesitaba cierto tiempo para alcanzar su madurez. Lo cierto es que los costes de las instalaciones renovables se han reducido enormemente en los últimos años. Y las previsiones son halagüeñas en este aspecto para este tipo de tecnología de generación de electricidad.

En un reciente estudio de la Carbon Tracker Initiative<sup>23</sup> se afirma que se está en un punto de inflexión y que las proyecciones muestran que las instalaciones que utilizan el viento o el sol serán unas inversiones más rentables que las que utilizan gas o carbón. Otro estudio<sup>24</sup> compara las subvenciones recibidas en cada una de las dos opciones, nuclear y reno-

---

<sup>21</sup> H. Khatib y C. Difiglio, «Economics of nuclear and renewable», *Energy Policy*, núm. 96, 2016, pp. 740-750.

<sup>22</sup> World Nuclear Association, «Flamanville EPR timetable and costs revised», *World Nuclear News*, 3 de septiembre de 2015 [en línea], disponible en: <http://www.world-nuclear-news.org/NN-Flamanville-EPR-timetable-and-costs-revised-0309154.html>.

<sup>23</sup> P. Dowling y M. Gray, *End of the Load for Coal and Gas?: Challenging Power Technology Assumptions*, Carbon Tracker, Londres [disponible en: <http://www.carbontracker.org/report/the-end-of-the-load-for-coal-and-gas/>].

<sup>24</sup> D. Suna y G. Resch, «Is nuclear economical in comparison to renewables?», *Energy Policy*, núm. 98, 2016, pp. 199-209.

vables, respecto la generación de electricidad generada. Se llega a la conclusión de que las subvenciones a las tecnologías de renovables son más rentables. Por lo que, en definitiva, las energías renovables representan un menor coste para el contribuyente que la energía nuclear.

La elección de la tecnología más adecuada para generar electricidad debería cumplir, además, una serie de requisitos de sostenibilidad. La energía nuclear no cumple los criterios de sostenibilidad debido, fundamentalmente, a los riesgos y las externalidades.<sup>25</sup> Estos riesgos y externalidades limitan, además de la propia tecnología nuclear, sus perspectivas de desarrollo. Por el contrario, es previsible la mejora de la eficiencia técnica y económica de las energías renovables.

Y, finalmente, ¿qué hacer con los residuos radioactivos generados por la actividad de los reactores nucleares? Por un lado, si aumentase el parque de reactores nucleares con el objetivo de reducir las emisiones de gases de efecto invernadero, los residuos crecerían de tal manera que sería imposible gestionar esta enorme cantidad de material radioactivo. Por otro lado, no podemos olvidar que un mayor número de reactores en funcionamiento incrementaría la probabilidad de sufrir un nuevo accidente nuclear de consecuencias parecidas a las de Fukushima.

Así pues, el aumento del número de reactores nucleares para producir electricidad, ante la obligación de reducir las emisiones de gases de efecto invernadero, no parece que sea una opción acertada. Entre las dos tecnologías con menores emisiones de gases de efecto invernadero, la nuclear y las renovables, esta última presenta mayores ventajas. Además de emitir menor cantidad de CO<sub>2</sub> que la nuclear (véase la tabla 2), las inversiones necesarias para la instalación de nuevas plantas de producción resultan más económicas que las nucleares y su funcionamiento no genera residuos radioactivos. Tampoco presenta problemas futuros de abastecimiento de combustible, a diferencia de la nuclear, cuyos recursos minerales son finitos. Además la aceptación pública de la energía nuclear es baja, al contrario de las renovables con un índice alto de aceptación.

Añadamos a todo lo anterior que la producción de electricidad a partir de la energía nuclear ha ayudado a perpetuar el sistema eléctrico centralizado y a consolidar el poder económico y político de las grandes corporaciones eléctricas. Una producción de electricidad a partir de energías renovables permitiría un modelo energético descentralizado, con producción local de electricidad, facilitaría la autoproducción y posibilitaría la soberanía energética. Invertir en energía nuclear entorpecería el desarrollo de las tecnologías que utilizan energías renovables para generar electricidad.

---

<sup>25</sup> A. Verbruggen, «Renewable and nuclear power: A common future?», *Energy Policy*, núm. 36, 2008, pp. 4036-4047.