

OCTUBRE 2023

---

# Informe de Soluciones de Climate Central: Energía Nuclear

---

Parte de la Serie de Soluciones Climáticas



Las plantas de energía nuclear generan alrededor de [una quinta parte](#) de la electricidad en los Estados Unidos y alrededor del [10%](#) a nivel mundial. La energía nuclear es una fuente de energía baja en carbono que puede desplegarse junto con fuentes de energía renovables variables, como la solar y la eólica; como tal, a menudo se cita como un complemento de las energías renovables en el camino hacia una economía descarbonizada. Sin embargo, los riesgos y preocupaciones asociados con los costos, el tiempo de construcción, el potencial de proliferación y la seguridad de la energía nuclear han influido en su desarrollo.

Este informe explora los aspectos básicos de la producción de electricidad nuclear, así como las oportunidades y los impedimentos que pueden influir en el papel que tendrá la energía nuclear en la futura mezcla energética.

## Índice

CONCEPTOS BÁSICOS DE ENERGÍA NUCLEAR	2
LA ENERGÍA NUCLEAR EN LOS EE. UU. HOY	3
TABLA: CAPACIDAD Y GENERACIÓN DE ENERGÍA NUCLEAR A NIVEL ESTATAL	4-5
LA ENERGÍA NUCLEAR EN LA FUTURA MEZCLA ENERGÉTICA DE EE. UU.	5
RECURSOS ADICIONALES	8
GLOSARIO	9

## CONCEPTOS BÁSICOS DE ENERGÍA NUCLEAR

La [energía nuclear](#) se produce a través de la fisión, un [proceso](#) que rompe los enlaces entre las partículas subatómicas en los núcleos de algunos isótopos débilmente unidos de elementos pesados, como el [uranio-235](#) (U-235). Combustible [enriquecido en el isótopo U-235](#) se usa más comúnmente en los reactores nucleares de los EE. UU.

La fisión libera una cantidad sustancial de energía que puede ser capturada como calor para producir vapor que impulsa las turbinas para generar electricidad. La fisión produce [residuos radiactivos](#) de larga vida, en combustible gastado como subproducto, que requieren un almacenamiento seguro a largo plazo.

### Fuente de energía de alta capacidad y baja en carbono

Las centrales nucleares funcionan con altos [factores de capacidad](#), lo que significa que funcionan en promedio al 90% o más de su capacidad máxima durante un año típico. Esta es una de las principales razones por las que la energía nuclear [se cita](#) a menudo como un compañero fiable de las fuentes de energía renovables, como la solar y la eólica. La electricidad nuclear puede estar disponible en cualquier momento en que esas fuentes renovables variables no lo estén.

La fisión no produce gases de efecto invernadero y, por lo tanto, no contribuye al calentamiento global, a diferencia de la combustión de los **combustibles fósiles** (es decir, carbón, petróleo y gas natural) que actualmente son la fuente predominante de energía eléctrica en los EE. UU. y en todo el mundo. Aunque hay emisiones de gases de efecto invernadero derivadas del **ciclo de vida de la producción de electricidad nuclear**, como las de la extracción y el procesamiento de uranio, estas emisiones son mucho menores que las de la generación basada en combustibles fósiles. La Agencia Internacional de la Energía **estima** que la energía nuclear mundial ayuda a evitar casi 1.500 millones de toneladas métricas de contaminación por carbono cada año.

## LA ENERGÍA NUCLEAR EN LOS EE.UU. HOY

En 2022, la energía nuclear generó alrededor de 772 millones de megavatios-hora (MWh) o **el 18% de la electricidad de EE. UU.**, en comparación con alrededor del 22% de fuentes de energía renovables y el 60% de combustibles fósiles. (Generación de electricidad renovable **superó la generación nuclear** en los EE. UU. por primera vez en 2021 y a nivel mundial en 2019).

Durante 2022, había 93 reactores nucleares operativos en 55 centrales ubicadas en 28 estados, con un total de más de 99.000 megavatios (MW) de **capacidad de generación** (la cantidad máxima instantánea de electricidad que puede generar el equipo).

La instalación más grande es la **planta de energía nuclear de Palo Verde** en Arizona, que tiene una capacidad de generación de alrededor de 4.200 megavatios (MW) vía tres reactores. Palo Verde produjo aproximadamente 31.943.000 MWh de electricidad en 2022, equivalente a la cantidad utilizada por más de 3 millones de **hogares estadounidenses promedio** en un año.

En general, Illinois es el estado con la mayor capacidad nuclear: alrededor de 12.400 MW a partir de 11 reactores en 6 centrales eléctricas. Las centrales nucleares de Illinois produjeron aproximadamente 98.870.000 MWh de electricidad en 2022.

### Recuadro 1. Capacidad entrante

El 31 de julio de 2023, Georgia Power **anunció** que su instalación nuclear más nueva, la Unidad 3 de la Planta Vogtle, había comenzado sus operaciones comerciales y que se espera que la Unidad 4 entre en servicio a finales de 2023 o principios de 2024. Estos nuevos reactores se encuentran entre las pocas unidades que han entrado en funcionamiento en los EE. UU. en las últimas décadas. (Antes de Vogtle, la adición más reciente a la flota nuclear de EE. UU. fue la **Unidad 2 de Watts Bar en Tennessee en 2016**, precedido por la Unidad 1 de Watts Bar en la misma instalación en 1996).

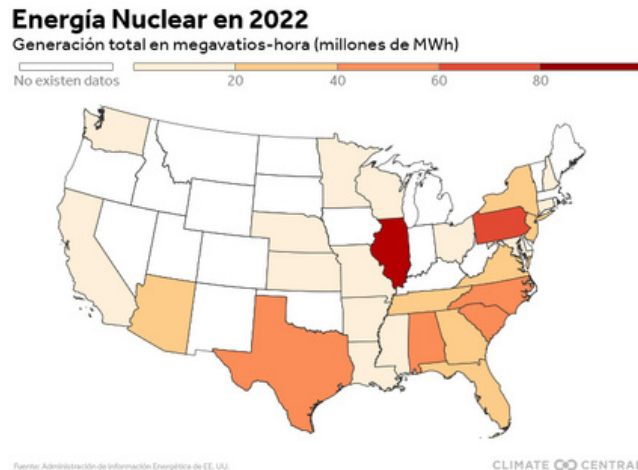
Juntas, estas dos unidades agregarán alrededor de **2.200 MW** de capacidad, aproximadamente duplicando la capacidad en ese sitio. Las expansiones posicionarán a la instalación de Georgia como la planta de energía nuclear más grande del país, por delante de la de Palo Verde en Arizona.

## Una flota nuclear estadounidense envejecida

La flota nuclear activa de los EE. UU. está envejeciendo y reduciéndose, ya que algunos reactores están cerrando sin nuevos reactores que los reemplacen. Como consecuencia, la cantidad de electricidad generada por las instalaciones nucleares está disminuyendo en los EE. UU.

La edad promedio de los reactores nucleares operativos de los EE. UU. es de alrededor de 40 años, o aproximadamente la mitad de la vida útil potencial máxima de 80 años para una instalación nuclear según las regulaciones actuales. (La licencia inicial para una instalación nuclear tiene una duración de 40 años, pero los operadores pueden solicitar dos prórrogas de 20 años. A la gran mayoría de los reactores en funcionamiento en los EE. UU. se les ha otorgado al menos una extensión de 20 años; pero solo a dos se les han otorgado renovaciones de licencias para extender las operaciones por un total de 80 años).

Las instalaciones que llegan al final de su vida útil operativa pasan por un proceso conocido como **desmantelamiento** (finalización permanente de las operaciones y restauración del sitio a su estado original) que puede tardar décadas en completarse. Más de dos docenas de reactores están **actualmente en proceso de desmantelamiento** en todo el país.



**Figura 1:** Generación de energía nuclear por estado en 2022 en EE. UU.

**Tabla 1.** Datos a nivel estatal sobre la capacidad y la generación de energía nuclear (2022) en los EE. UU., expresados en megavatios (MW) y megavatios-hora (MWh), respectivamente. En el **Apéndice 1** de este informe se proporcionan detalles adicionales, incluidas las fechas de concesión de licencias para todos los reactores operativos durante 2022. (Fuentes: **Administración de Información Energética de EE. UU.** y **Comisión Reguladora Nuclear de EE. UU.**)

Estado	# de centrales nucleares	# de reactores	Capacidad total (placa de identificación) en 2022 (MW)	Generación total en 2022 (MWh)
Alabama	2	5	5.344	42.313.657
Arizona	1	3	4.209	31.942.793
Arkansas	1	2	1.846	14.323.697
California	1	2	2.323	17.593.254
Connecticut	1	2	2.163	16.464.167
Florida	2	4	3.797	30.768.329
Georgia	2	4	4.278	34.073.591

Estado	# de centrales nucleares	# de reactores	Capacidad total (placa de identificación) en 2022 (MW)	Generación total en 2022 (MWh)
Illinois	6	11	12.414	98.869.581
Kansas	1	1	1.268	8.981.959
Luisiana	2	2	2.236	16.164.721
Maryland	1	2	1.850	14.810.684
Míchigan*	3	4	3.502	26.013.361
Minnesota	2	3	1.871	14.696.205
Misisipi	1	1	1.440	8.600.330
Misuri	1	1	1.236	8.874.769
Carolina del Norte	3	5	5.395	42.644.282
Nebraska	1	1	801	5.618.504
Nuevo Hampshire	1	1	1.242	10.921.528
New Jersey	2	3	3.631	28.318.800
Nueva York	2	4	3.398	26.812.164
Ohio	2	2	2.237	16.826.787
Pensilvania	4	8	9.532	76.166.017
Carolina del Sur	4	7	6.876	54.369.751
Tennessee	2	4	4.982	35.635.400
Texas	2	4	5.138	41.606.955
Virginia	2	4	3.656	28.197.337
Washington	1	1	1.200	9.851.535
Wisconsin	1	2	1.286	10.077.018

\*La instalación de [Palisades](#) (Michigan) cerró permanentemente en mayo de 2022. Estas cifras incluyen datos sobre la generación de la instalación (hasta mayo), pero su capacidad no se incluye aquí.

## LA ENERGÍA NUCLEAR EN LA FUTURA MEZCLA ENERGÉTICA DE EE. UU.

La energía nuclear podría seguir desempeñando un [papel importante en la mezcla energética mundial](#), dependiendo de la eficacia con la que varias nuevas tecnologías emergentes aborden los principales desafíos.

### Desafíos para el crecimiento de la energía nuclear

#### ● Problemas de costos y retrasos

Los proyectos de construcción de energía nuclear a menudo han experimentado retrasos y sobrecostos: algunos proyectos han tardado décadas en completarse, y

los costos han aumentado significativamente en el camino. (Por ejemplo, los costos de las Unidades 3 y 4 de Vogtle superaron \$31.000 millones, más del doble del presupuesto original). Por el contrario, los costos de las tecnologías de energía renovable han disminuido sustancialmente en los últimos años. Como resultado, la competitividad económica de la construcción de centrales nucleares adicionales es incierta, especialmente cuando se comparan los costos del ciclo de vida con los de otras fuentes de energía bajas en carbono. Sin embargo, algunos activistas climáticos favorecen la operación continua de las plantas ya construidas para minimizar las emisiones actuales de CO<sub>2</sub> del sector eléctrico.

## ● Manejo de residuos radiactivos

En los EE. UU. se han generado casi 90.000 toneladas métricas de combustible gastado a partir de energía nuclear desde que las primeras instalaciones comerciales comenzaron a funcionar en la década de 1950, y cada año se generan alrededor de 2.000 toneladas métricas de combustible nuclear gastado. La Comisión Reguladora Nuclear es responsable de regular el almacenamiento y la eliminación de estos residuos en los EE. UU. Los residuos de alta actividad (es decir, el combustible nuclear gastado) se almacenan en piscinas especialmente diseñadas o en contenedores secos, normalmente en los predios de los reactores; pero también pueden almacenarse en instalaciones designadas fuera de las plantas, como en reactores no operativos. En la actualidad, el combustible nuclear gastado se almacena en más de 70 instalaciones en todo el país, mientras que el gobierno federal continúa con esfuerzos a largo plazo para desarrollar una instalación de eliminación permanente.

Los métodos actuales de almacenamiento son sólo soluciones provisionales para los residuos radiactivos, que siguen siendo peligrosos para la salud humana y los ecosistemas durante cientos de miles de años. La principal solución propuesta para el almacenamiento a largo plazo es la construcción de depósitos geológicos profundos, que podrían aislar los materiales radiactivos indefinidamente. Sin embargo, estos proyectos pueden requerir mucho tiempo y recursos, y pueden enfrentarse a una importante oposición pública.

El propuesto repositorio de Yucca Mountain en Nevada ha sido disputado desde finales de la década de 1980, cuando se propuso por primera vez el sitio, y las actividades se detuvieron indefinidamente en 2011. Como señaló recientemente un informe de consenso de la Academia Nacional de Ciencias, "... no hay un camino claro a seguir para la ubicación, concesión de licencias y construcción de un depósito geológico para la eliminación de residuos altamente radiactivos (principalmente combustible nuclear comercial gastado)."

## ● Seguridad operativa

Aunque la gran mayoría de las centrales nucleares han funcionado de forma segura durante décadas, algunos incidentes de alto perfil han aumentado la preocupación pública por la seguridad. Los principales son: el accidente nuclear en el reactor de la Unidad 2 en Three Mile Island (Pensilvania) en 1979; la explosión de Chernóbil (Ucrania) en 1986; y el accidente de la Central Nuclear de Fukushima Daiichi (Japón) en 2011 tras un gran terremoto y tsunami.

## ● Opinión pública

Los resultados de múltiples encuestas muestran que el público estadounidense sigue siendo ambivalente acerca de la energía nuclear, influenciado en parte por preocupaciones de seguridad. Una [encuesta realizada por el Pew Research Center en 2022](#) encontró que la opinión pública es mixta, mientras que otra realizada por [Gallup en 2023](#) concluyó que el apoyo a la energía nuclear ha aumentado modestamente desde 2015.

[Según un estudio de 2017](#), alrededor del 81% del público estadounidense cree que los residentes locales deberían participar en las decisiones sobre la ubicación de la energía nuclear, mientras que alrededor del 56% piensa que deberían tener poder de veto. La oposición de la comunidad a menudo complica la ubicación de las instalaciones de energía nuclear y eliminación de residuos. Para minimizar los conflictos dentro de las comunidades donde se proponen instalaciones nucleares, el Departamento de Energía de EE. UU. utiliza un [enfoque basado en el consentimiento](#) para priorizar la participación de la comunidad.

## ● Riesgos para la seguridad

Las instalaciones nucleares pueden ser vulnerables al sabotaje y al robo de materiales nucleares. La Comisión Reguladora Nuclear es responsable de garantizar y regular las [salvaguardias y medidas de seguridad](#) en las instalaciones de energía nuclear en los EE. UU. para protegerse contra estas amenazas.

La actual invasión rusa de Ucrania desde 2022 ha [intensificado](#) la preocupación por la seguridad nuclear en tiempos de guerra, como ha señalado la Administración Nacional de Seguridad Nuclear de EE. UU.: "[El desprecio de Rusia por la seguridad nuclear en Ucrania](#)".

Otra preocupación se refiere a la proliferación de las armas nucleares. Como han [observado](#) los expertos de la Universidad de Defensa Nacional, "las plantas de energía nuclear civil en sí mismas no se consideran un alto riesgo de proliferación porque es difícil fabricar material utilizable para armas a partir del combustible de los reactores. El principal riesgo de proliferación es que los estados nacionales pueden utilizar el ciclo del combustible nuclear civil como fuente de material, tecnología y experiencia necesarios para desarrollar armas nucleares."

## Avances que pueden apoyar a la energía nuclear en la futura mezcla energética

Los avances tecnológicos a corto y largo plazo podrían ayudar a que la energía nuclear permanezca en la mezcla energética de los EE. UU., especialmente si la industria es capaz de reducir los costos, acortar los plazos de construcción y obtener el apoyo público. Todavía no está claro si los reactores modulares pequeños (SMR, por las siglas en inglés) serán competitivos en costos en comparación con otras opciones bajas en carbono.

## ● **Tecnologías emergentes: Reactores modulares pequeños y reactores de cuarta generación**

Los [reactores modulares pequeños \(SMR\)](#) son diseños emergentes para reactores nucleares, destinados a reducir costos y operar de manera más segura que los grandes reactores tradicionales. Las huellas más pequeñas de los SMR también pueden ofrecer más flexibilidad para la ubicación, y sus piezas se pueden prefabricar según el diseño estándar, lo que podría reducir los costos de construcción, el tiempo y la inversión de capital. Los SMR se están diseñando con características de seguridad mejoradas, así como con la capacidad de utilizar refrigerantes alternativos, como sales o gases, que podrían ofrecer beneficios económicos y de seguridad adicionales.

El Departamento de Energía de EE. UU. ha identificado a los reactores nucleares pequeños como [componentes clave en la planificación futura](#). Los SMR aún no se han desplegado en los EE. UU., pero la Comisión Reguladora Nuclear [otorgó su primera certificación de un diseño de SMR a principios de 2023](#), despejando el camino para que se considere para proyectos estadounidenses. (Los proyectos de SMR están en marcha en otros países, incluidos Rusia, China y Argentina.)

También se están desarrollando [reactores de cuarta generación](#), el más destacado de los cuales es el reactor rápido [Natrium](#) de TerraPower. En agosto de 2023, TerraPower [anunció](#) que había comprado un terreno en Wyoming cerca de una instalación de carbón en retiro como sitio para un proyecto de demostración, que está financiado en parte por el Departamento de Energía.

## ● **Instalaciones de almacenamiento a largo plazo**

El almacenamiento subterráneo permanente de los residuos radiactivos se concibió en los primeros días de la energía nuclear comercial. Después de décadas de desarrollo, Finlandia está construyendo la primera de estas instalaciones del mundo, conocida como [Onkalo](#), que podría estar terminada en 2023. Otros depósitos como este serán necesarios para albergar de forma permanente los residuos radiactivos producidos en todo el mundo por la fisión nuclear.

## ● **Fusión: la próxima generación de energía nuclear**

Otro proceso nuclear conocido como fusión crea una enorme cantidad de energía, significativamente más que la fisión por unidad de masa de combustible, en gran parte [sin el subproducto de los residuos radiactivos](#), y sin los mismos riesgos de reacciones incontroladas o accidentes nucleares.

A diferencia de la fisión, que libera energía dividiendo los átomos más pesados en otros más ligeros, la fusión produce energía combinando átomos para formar nuevos elementos, principalmente helio. Sin embargo, los científicos no han sido capaces de mantener estas reacciones durante períodos de tiempo lo suficientemente largos como para producir energía de manera confiable. Aunque a finales de 2022 se anunció un [importante avance en la investigación](#) y en agosto de 2023 se registraron avances adicionales, la mayoría de los expertos creen que es poco probable que la fusión esté disponible a gran escala hasta [mediados de siglo](#), o más tarde.

## Recursos adicionales

- [Sentando las bases para reactores nucleares nuevos y avanzados en los Estados Unidos](#), Academias Nacionales de Ciencias, Ingeniería y Medicina
- [Méritos y viabilidad de los diferentes ciclos de combustible y opciones tecnológicas nucleares y los aspectos relacionados con los residuos de los reactores nucleares avanzados](#), Academias Nacionales de Ciencias, Ingeniería y Medicina

## GLOSARIO DE TÉRMINOS CLAVE

**Capacidad:** el nivel instantáneo máximo de electricidad que puede generar una instalación nuclear, expresado en vatios (W).

**Factor de capacidad:** la razón entre la energía eléctrica producida por una unidad generadora en un año y la energía eléctrica que podría haberse producido en funcionamiento continuo a plena potencia durante ese año.

**Fisión (fisión nuclear):** el proceso por el cual un núcleo atómico de tipo apropiado, después de capturar un neutrón, se divide en (generalmente) dos núcleos de elementos más ligeros, con la liberación de cantidades sustanciales de energía y dos o más neutrones.<sup>1</sup>

**Fusión (fusión nuclear):** el proceso por la cual los núcleos atómicos con números atómicos bajos se fusionan para formar un núcleo más pesado, liberando cantidades sustanciales de energía.

**Generación:** la cantidad de electricidad producida durante un período de tiempo, informada en vatios-hora (Wh).

**Megavatio (MW):** un millón de vatios de capacidad eléctrica.

*Definiciones principalmente del glosario de la Administración de Información Energética de EE. UU. <https://www.eia.gov/tools/glossary/>*

---

Climate Central es un grupo independiente de científicos y comunicadores que investigan e informan sobre los hechos sobre la ciencia, los impactos y las soluciones del cambio climático, y cómo afectan la vida de las personas. Somos una organización sin fines de lucro 501(c)(3) neutral en cuanto a políticas. Para obtener más información, visite [climatecentral.org](https://climatecentral.org)