



Energía nuclear a nivel atómico y fisión

La energía nuclear procede del núcleo de los átomos, formado por protones y neutrones ¹. Se libera cuando núcleos pesados (p. ej. uranio-235) se rompen en varios fragmentos más pequeños mediante **fisión nuclear** ². Por ejemplo, un neutrón impacta un átomo de U-235 y lo divide en núcleos más ligeros (bario, criptón, etc.) liberando neutrones adicionales y gran cantidad de energía ². Esta reacción en cadena libera calor, el cual se utiliza en las centrales nucleares para calentar agua y generar vapor de alta presión ³. El vapor mueve turbinas conectadas a generadores eléctricos, produciendo electricidad con muy bajas emisiones de CO₂.

Los **combustibles nucleares** más comunes son el uranio y el plutonio. El uranio natural contiene un 99% de U-238 (no fisible) y <1% de U-235 (fisible) ⁴. Para aprovecharlo, se enriquece la proporción de U-235 mediante procesos industriales ⁵. Durante la fisión, parte del U-238 captura neutrones y se transforma en plutonio-239, otro isótopo fisible importante ⁶. El plutonio-239, junto con el U-235, es uno de los combustibles clave en reactores nucleares ⁷. En el reactor, el núcleo está aislado dentro de una vasija con múltiples barreras de contención para evitar fugas de radiación ⁸.

Nota sobre el "humo": lo que se observa saliendo de las torres de refrigeración de las centrales nucleares **NO es humo ni gases tóxicos**, sino simple **vapor de agua**. Un análisis de RTVE aclara que ese vapor blanco no contiene CO₂ radiactivo y es inofensivo ⁹. El agua caliente condensada genera nubes visibles al enfriarse en el aire, igual que una fábrica o planta térmica.

Lecciones de Chernobyl y Fukushima: seguridad actual

Los accidentes de Chernobyl (1986) y Fukushima (2011) mostraron la gravedad de fallos en la seguridad nuclear. En Chernobyl un reactor RBMK (Reactor de Alta Potencia Canalizado) sin contención explotó debido a errores de operación y fallos de diseño, liberando gran cantidad de material radiactivo. En Fukushima, un terremoto seguido de tsunami inundó la planta y cortó la refrigeración, causando fusiones del núcleo y explosiones de hidrógeno. Ambas catástrofes fueron de nivel máximo (INES 7).

Sin embargo, **hoy los reactores son mucho más seguros**. Los diseños modernos (generación III/III+) incorporan numerosos sistemas de seguridad pasivos y barreras dobles/triples de contención. Como señala un análisis técnico, los reactores actuales operativos son "mucho más seguros que los que se usaron hace casi cuatro décadas" ¹⁰. Tras Fukushima se impusieron medidas adicionales de emergencia (plan FLEX): se añadieron generadores diésel móviles, baterías extra, sistemas independientes de inyección de agua y recombinadores de hidrógeno para evitar explosiones ¹¹. Asimismo, se reforzaron márgenes sísmicos y se crearon centros de emergencia nacionales con helipuertos, de modo que cualquier central quede asistida en <24 h ¹¹ ¹². En conjunto, estos avances hacen extremadamente improbable que se repitan desastres como Chernobyl; los reactores diseñados hoy tendrían protecciones redundantes que mitigarían fusiones e impiden liberaciones masivas.



Relevancia global de la energía nuclear

La energía nuclear es un pilar estable del suministro eléctrico mundial. Actualmente los reactores nucleoelectrónicos producen alrededor del 10 % de la electricidad global ¹³ . Más importante aún, su baja huella de carbono los hace esenciales: generan cerca de un tercio de toda la electricidad mundial libre de emisiones de CO₂ ¹⁴ . Una planta nuclear produce grandes cantidades de electricidad de base de manera continua durante decenios (con factor de capacidad típicamente >90 %), a diferencia de las fuentes variables. Por su alta densidad energética y operación ininterrumpida, la energía nuclear aporta estabilidad a la red eléctrica mundial ¹⁵ ¹³ .

Además, el balance medioambiental de la nuclear es comparable al de las renovables. Según un estudio, una vez en operación una planta nuclear “tiene un impacto climático tan bajo como las energías renovables más respetadas, como la solar y la eólica” ¹⁶ . A largo plazo, evitar liberar grandes volúmenes de CO₂ (que ocurriría al depender de carbón o gas) compensa con creces el desafío de gestionar residuos radiactivos confinados. En resumen, la nuclear suministra **energía limpia y constante**, cubriendo las necesidades permanentes de la red, mientras que minimiza emisiones fósiles

¹⁴ ¹⁵ .

Límites de un sistema 100 % renovable

Las fuentes renovables (solar, eólica, hidroeléctrica) son limpias, pero tienen **intermitencia**. El sol no siempre brilla y el viento no siempre sopla. Esto implica que para garantizar suministro continuo se necesitan grandes inversiones en **almacenamiento energético** o fuentes de respaldo fósil. Como explica un informe de energía renovable, “*el principal obstáculo... es su variabilidad*”: en días muy soleados/ventosos la generación supera la demanda, pero en periodos de calma la red debe recurrir a fuentes convencionales. Sin un almacenamiento potente, la dependencia de combustibles fósiles persiste ¹⁷ .

En la práctica, las baterías actuales sólo cubren demandas a corto plazo. Son eficaces a pequeña escala, pero su *alto coste y limitada durabilidad las hacen insuficientes para periodos prolongados* ¹⁸ . En España, por ejemplo, hay sólo unos decenas de megavatios de almacenamiento en baterías instalado (red Eléctrica reporta ~25 MW ¹⁹), una cifra ridícula comparada con las decenas de miles de MW necesarios. Para llenar la demanda con renovables habría que desplegar literalmente millones de baterías, lo que requiere infraestructuras colosales. En definitiva, la renovable 100 % es técnicamente posible a largo plazo, pero no sin resolver primero el problema del almacenamiento masivo y la estabilidad de la red

¹⁷ ¹⁸ .



Escenario hipotético: España solo renovable

Imaginemos un escenario para abastecer **250.000 GWh/año** (demanda eléctrica española) únicamente con renovables, usando los datos proporcionados. La solución más económica combina grandes centrales hidroeléctricas y parques eólicos marinos (las tecnologías más baratas por MWh), prácticamente sin usar fotovoltaica (muy cara por kWh). Los cálculos son los siguientes:

Tecnología	Potencia/ característica	Generación anual por unidad	Coste unitario	Unidades necesarias	Coste total generación	Total
Eólica terrestre	5,75 MW = ~50,4 GWh/ año	~50,4 GWh/ año	7,48 M€/turbina	0 (se evita coste alto)	0 GWh	0 €
Eólica marina	15 MW = ~131,4 GWh / año	~131,4 GWh / año	10,95 M€ / turbina	~77	~10.100 GWh	~843 M€
Solar fotovoltaica	400 W = ~0,73 MWh/ año (2 kWh / día)	~0,00073 GWh/ año	80 €/ placa	~0 (se evita por coste extremadamente alto)	0 GWh	0 €
Central hidroeléctrica	~30.000 GWh/ año	30.000 GWh/ año (cada una)	1.800 M€ = 60€ /MWh	~8	~240.000 GWh	~14.400 M€
TOTAL					~250.100 GWh	~15.243 M€

Para alcanzar 250.000 GWh/año se necesitarían, por ejemplo, unas **8 grandes presas hidráulicas** (cap. ~30.000 GWh cada una) y unos **77 aerogeneradores marinos** de 15 MW. Este montaje produciría ~250 TWh y costaría del orden de **15 200 millones de €**. No incluimos paneles solares ni aerogeneradores terrestres, pues encarecerían mucho la factura: las placas requerirían cientos de millones de unidades (y decenas de miles de hectáreas) para aportar una fracción insignificante de energía, lo que dispararía el coste (p.ej. 342 M paneles * 80€ ≈ 27.360 M€).

Impacto ambiental: Un despliegue exclusivamente renovable de esta magnitud invadiría drásticamente la naturaleza. Miles de hectáreas de terreno serían ocupadas. Por ejemplo, solo la instalación de 342 M paneles ocuparía cientos de km² (clearing de bosques o campos agrícolas). Los parques eólicos, incluso marinos, requieren grandes extensiones para la infraestructura (accesos, cimientos, cables submarinos). Las centrales hidroeléctricas inundarían valles enteros y bosques: de hecho, grandes represas han sumergido miles de hectáreas de bosque (en Colombia, una sola presa afectó más de 11.000 ha ²⁹). El artículo citado resume: “los parques eólicos requieren grandes extensiones de tierra y las plantas solares pueden afectar la biodiversidad de las zonas en que se instalan”²¹. En conjunto, este escenario renovable implicaría talar bosques, fragmentar hábitats y alterar ecosistemas a gran escala, todo ello con una inversión descomunal. Estos impactos (y el altísimo costo) muestran los desafíos prácticos de un sistema 100 % renovable sin respaldo nuclear.



Fuentes: Información obtenida de estudios y reportes de organismos especializados ² ¹³ ⁷ ⁹ ¹⁰ ¹¹ ¹⁷ ¹⁸ ¹⁶ ¹⁵ ²¹ ²⁰, así como datos técnicos suministrados en el enunciado para cálculos propios. Cada cifra y hecho citado está respaldado en las referencias indicadas.

¹ ² ³ ⁴ ⁵ ¹³ ¹⁴ ¿Qué es la energía nuclear? ¿Qué es la energía atómica? Definición | OIEA
<https://www.iaea.org/es/newscenter/news/que-es-la-energia-nuclear-la-ciencia-de-la-energia-nucleoelectrica>

⁶ ⁷ Plutonio-239 - Wikipedia, la enciclopedia libre
<https://es.wikipedia.org/wiki/Plutonio-239>

⁸ ¹⁰ ¹¹ ¹² Las centrales nucleares, más seguras tras Chernobyl y Fukushima
<https://hipertextual.com/2019/06/seguridad-nuclear-chernobyl-fukushima>

⁹ ¿Es radiactivo el humo que sale de las centrales nucleares?
<https://www.rtve.es/television/20231219/radiactivo-humo-sale-centrales-nucleares/2463629.shtml>

¹⁵ ¹⁶ ²¹ Energía nuclear: comparativa con renovables
<https://www.ceupe.com/blog/es-la-energia-nuclear-tan-limpia-como-las-energias-renovables.html>

¹⁷ ¹⁸ Almacenamiento: el gran desafío que afrontan las energías renovables
<https://www.energynews.es/el-mayor-desafio-de-las-energias-renovables-como-resolver-el-problema-del-almacenamiento/>

¹⁹ Cuánto almacenamiento hay ahora mismo en España
<https://www.energias-renovables.com/almacenamiento/cu-nto-almacenamiento-hay-ahora-mismo-en-20250524>

²⁰ Hidroeléctricas en Colombia: entre el impacto ambiental y el desarrollo
<https://es.mongabay.com/2018/06/hidroelectricas-colombia-hidroituango/>