

# ENERGÍA NUCLEAR Y CAMBIO CLIMÁTICO

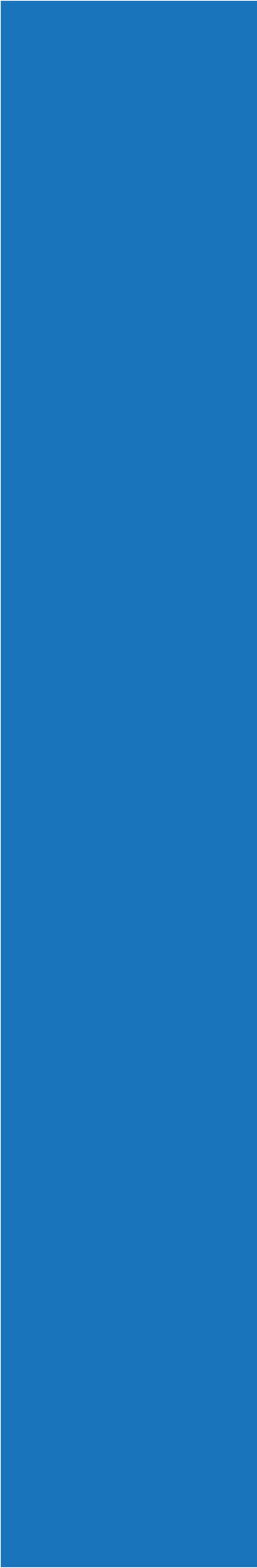


DICIEMBRE 2014



Foro **Nuclear**

Foro de la Industria Nuclear Española



# RESUMEN EJECUTIVO

---

La evidencia científica confirma que las emisiones de gases de efecto invernadero sin restricciones derivadas de las distintas actividades humanas provocarían grandes cambios en el sistema climático de la tierra, lo que generaría impactos profundos en los sistemas ecológicos y socioeconómicos. **La demanda global de energía va a seguir incrementándose en el futuro a medio y largo plazo.** Sin embargo, para poder mantener el aumento de la temperatura media global por debajo de 2°C en relación a los niveles pre-industriales (equivalente a incrementos en la concentración de CO<sub>2</sub> eq en la atmósfera superiores a 450 ppm en volumen), las emisiones de gases de efecto invernadero deberían dejar de incrementarse en la próxima década y después deberían disminuir muy por debajo de los niveles del año 2000 a mediados del presente siglo.

Actualmente, las emisiones totales mundiales por cualquier actividad suponen más de 31 Gt CO<sub>2</sub>, de las cuales cerca de 12 Gt CO<sub>2</sub> son debidas a la utilización de distintas fuentes en la producción de energía eléctrica.

Las negociaciones internacionales para conseguir las reducciones de emisiones necesarias han tenido escaso resultado hasta el momento. El cumplimiento del mandato de la Plataforma de Durban para la Acción Mejorada bajo la Convención Marco sobre Cambio Climático de las Naciones Unidas de establecer un acuerdo global legalmente vinculante para la reducción de las emisiones de gases de efecto invernadero a partir del horizonte del año 2020 es un elemento fundamental de la política medioambiental internacional.

La energía nuclear es una de las tecnologías energéticas disponibles que pueden contribuir a satisfacer los retos climáticos planteados. Las emisiones de gases de efectos invernadero de las centrales nucleares son insignificantes en todo su ciclo de vida, y nulas considerando su operación. El parque nuclear mundial, formado por 437 reactores en 31 países, evita la emisión anual de 2.200 Mt CO<sub>2</sub>. En el caso de España, el parque nuclear evita cada año la emisión de entre 30 y 40 millones de toneladas de CO<sub>2</sub>, representando más del 34% de la electricidad libre de emisiones generada en nuestro sistema eléctrico.

De acuerdo con los distintos estudios de las organizaciones internacionales, tales como el World Energy Outlook de la Agencia Internacional de la Energía, la energía nuclear puede contribuir con más del 17% de la reducción de emisiones en el sistema eléctrico mundial en el año 2050. Si se restringiese su participación o si quedase excluida de cualquiera de los escenarios establecidos para la mitigación del cambio climático, los costes de los mismos se verían aumentados y la eficacia de las políticas puestas en marcha reducida.

Por ello, la energía nuclear debe seguir considerándose como una tecnología medioambientalmente eficiente, y debería incluirse en los mecanismos que posibiliten el acuerdo global que se alcance en la Conferencia de las Partes COP21 de la Convención Marco sobre Cambio Climático de las Naciones Unidas en París en diciembre de 2015.

# INTRODUCCIÓN


---

**E**l cambio climático global ha dominado las agendas medioambiental y energética internacionales en las dos pasadas décadas. La evidencia científica indica que las emisiones antropogénicas de gases de efecto invernadero (GEIs), especialmente las emisiones de CO<sub>2</sub> procedentes del uso de combustibles fósiles, provocan cambios en la atmósfera que alteran el clima terrestre. Existe consenso entre la comunidad científica de que los impactos del cambio climático provocados por un incremento superior a 2°C en la temperatura anual media global por encima del nivel pre-industrial (equivalente a incrementos en la concentración de CO<sub>2eq</sub> en la atmósfera superiores a 450 ppm en volumen) puedan ser ampliamente negativos en sectores clave como ecosistemas, biodiversidad, agricultura, abastecimiento de agua y salud humana en la mayor parte de las regiones del planeta. El doble reto de la sociedad mundial será, por un lado, incrementar el abastecimiento energético para satisfacer el desarrollo socioeconómico de una población en aumento y, por otro, mitigar las emisiones de GEIs.

La energía nuclear puede realizar una importante contribución en la reducción de GEIs, al tiempo que produce grandes cantidades de energía necesarias para el desarrollo socioeconómico futuro. Las centrales nucleares no producen GEIs u otros gases contaminantes en su operación, y tan sólo muy bajas emisiones cuando se considera su ciclo de vida completo.

El accidente de la central japonesa de Fukushima Daiichi en marzo de 2011 provocó una gran preocupación en la opinión pública a nivel mundial, y puso sobre la mesa algunas cuestiones fundamentales acerca del uso futuro de esta tecnología. A pesar de que este suceso supuso una llamada de atención para la industria nuclear mundial, recordando que la seguridad debe ser la preocupación principal en su utilización, la energía nuclear se mantiene como una opción principal en las cestas energéticas de muchos países.

Sus ventajas para la mitigación del cambio climático son la razón por la que muchos países han decidido introducir la nuclear en sus sistemas eléctricos o ampliar su participación. Cualquier país tiene el derecho y la oportunidad de utilizar la tecnología nuclear con fines pacíficos, así como el deber y la responsabilidad de hacerlo de forma segura.



LA ENERGÍA NUCLEAR  
REALIZA UNA  
IMPORTANTE CONTRIBUCIÓN  
EN LA REDUCCIÓN  
DE GEIs

# LOS FUNDAMENTOS DEL CAMBIO CLIMÁTICO

El Quinto Informe de Evaluación del Panel Intergubernamental sobre el Cambio Climático (IPCC) ha adoptado un nuevo enfoque para proyectar el cambio climático antropogénico durante los próximos siglos. Olvidando la senda tradicional de monitorizar los cambios debidos a las emisiones de GEIs a través de las concentraciones atmosféricas y el forzamiento radiativo, la temperatura y las precipitaciones, las nuevas proyecciones se basan en hipótesis alternativas acerca de los valores de forzamiento radiativo para el año 2100.

Los nuevos escenarios incluyen las cuatro llamadas sendas representativas de concentración para explorar a corto y largo plazo la implicación de las distintas emisiones antropogénicas de todos los GEIs,

aerosoles y otros modificadores del clima.

La figura 1 indica el escenario base de continuidad (sin la aplicación de ninguna política climática) y la senda de mitigación RCP2.6 para todos los GEIs incluidos en el Protocolo de Kioto de la Convención Marco sobre Cambio Climático de las Naciones Unidas (UNFCCC) y para las emisiones de CO<sub>2</sub> relacionadas con usos industriales y energéticos aisladamente. Es necesario afrontar un reto enorme: las emisiones totales de GEIs tendrán que empezar a disminuir a un gran ritmo en menos de una década, mientras que las emisiones de CO<sub>2</sub> relacionadas con usos industriales y energéticos tendrán que ser negativas después del año 2070.

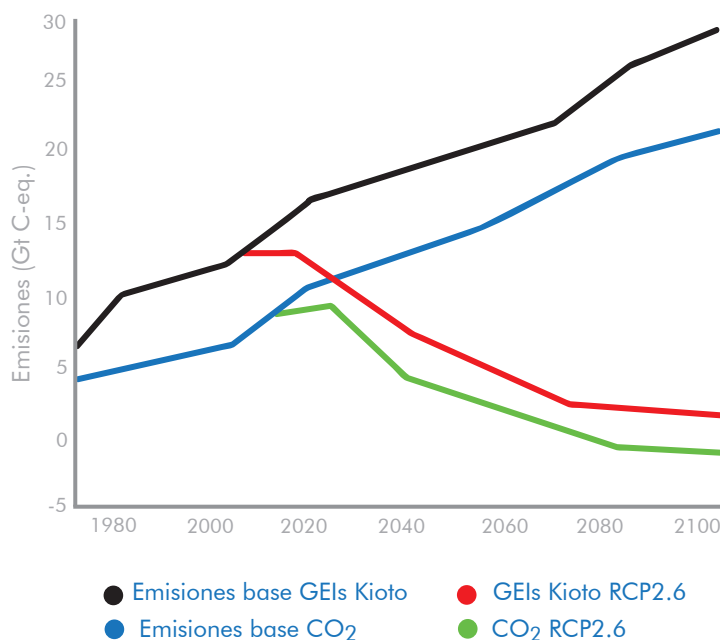


Fig 1. Emisiones de los escenarios base y RCP2.6 incluidas en el Protocolo de Kioto y de las emisiones de CO<sub>2</sub> por usos energéticos e industriales  
Fuente: D. P. Van Vuuren, Exploring the possibility to keep global mean temperature increase below 2 °C. Climate Change 109 (2011)

Esto último requerirá una rápida descarbonización del sistema energético aplicando la captura y secuestro de carbono a una gran parte de las plantas que queman combusti-

bles fósiles, al uso de biocombustibles y a un incremento drástico de la contribución de la energía nuclear y otras fuentes bajas en carbono en la cesta energética global.



# POLÍTICAS GLOBALES SOBRE EL CAMBIO CLIMÁTICO

---

El primer paso de la comunidad internacional para hacer frente a la amenaza del cambio climático fue el UNFCCC, que se adoptó en la Cumbre de la Tierra de Río de Janeiro en 1992 y entró en vigor en 1994. El Artículo 2 especificaba el objetivo último: “la estabilización de las concentraciones de gases de efecto invernadero en la atmósfera a un nivel que pudiera evitar la peligrosa interferencia antropogénica con el sistema climático”. La tercera reunión de la Conferencia de las Partes (COP3) adoptó el Protocolo de Kioto al UNFCCC en 1997, en el que los países industrializados (recogidos en el Anexo I del Protocolo) se comprometían a reducir sus emisiones conjuntas de GEIs en el periodo 2008-2012 en al menos un 5,2% respecto a los niveles del año 1990.

Las negociaciones del UNFCCC sobre las siguientes etapas comenzaron en 2005, pero fracasaron en la consecución de un acuerdo para una acción cooperativa de largo plazo sobre mitigación, adaptación y financiación en la fecha límite de 2009.

En COP15 (Copenhague, 2009) se alcanzó el Acuerdo de Copenhague, que reconocía el enfoque científico de que el incremento en la temperatura global debía estar por debajo de 2°C, y proporcionó un marco de actuación para una reducción voluntaria de las emisiones de GEIs en el horizonte de 2020, pero no supuso compromisos firmes.

COP17 (Durban, 2011) estableció la enmienda formal para un segundo compromiso en el ámbito del Protocolo de Kioto y puso en marcha un Grupo de Trabajo Ad-Hoc con la Plataforma de Durban para la Acción Mejorada (ADP), con el mandato de desarrollar un nuevo protocolo, un instrumento legal o un acuerdo conjunto con validez legal aplicable a todas las Partes para su aprobación en 2015 y entrada en vigor en 2020.

El progreso realizado para alcanzar un nuevo acuerdo ha sido muy lento en los años siguientes a COP17. El mandato ADP supone un cambio fundamental en la dife-



renciación de los países desarrollados y en vías de desarrollo en lo relativo a sus compromisos de mitigación legalmente vinculantes bajo el Protocolo de Kioto, requiriendo un acuerdo que pueda aplicarse a todas las Partes.

COP19 (Varsovia, 2013) mostró grandes diferencias entre las posiciones de los países desarrollados y en desarrollo acerca de las preferencias sobre el carácter legal del acuerdo y acerca de la diferenciación de obligaciones. La decisión de COP19 sobre ADP invitaba a todas las Partes a iniciar o intensificar los preparativos para sus contribuciones nacionales previstas, para conseguir el objetivo de la Convención tal como se establecía en el Artículo 2 y para su comunicación mucho antes de COP20 (Lima, 2014), de manera que se facilite la transparencia, la claridad y el entendimiento de las contribuciones previstas, sin perjuicio de la naturaleza legal de las mismas.

A principios de 2014, las negociaciones de la ADP no han alcanzado el nivel de detalle en el que las Partes pudieran considerar acercamientos y mecanismos para implementar un nuevo acuerdo. Sin embargo, los resultados futuros acerca de las discusiones sobre marcos para varios mecanismos (nuevos mercados, otros mercados y mecanismos no basados en el mercado) y las normas de evaluación necesarias pueden afectar a la elección de las tecnologías en el acuerdo post-2015. La aplicabilidad del Acuerdo de Bonn y los Acuerdos de Marrakech –que en la práctica excluyen a la energía nuclear de dos de los meca-

nismos de flexibilidad internacionales del Protocolo de Kioto (el mecanismo de desarrollo limpio y la implementación conjunta) permanece incierta.





# POLÍTICAS DE LA UNIÓN EUROPEA SOBRE EL CAMBIO CLIMÁTICO

---

**E**n marzo de 2007, el Consejo Europeo respaldó la Revisión Estratégica de la Energía de la Comisión Europea y acordó una reducción unilateral del 20% en las emisiones de gases de efecto invernadero de la UE en el año 2020, en relación a los niveles del año 1990.

El compromiso anterior era una reducción del 8% en el año 2012 (Protocolo de Kioto). Esto requería un reforzamiento y una ampliación de los acuerdos de comercio de carbono, así como el desarrollo de una tecnología baja o no emisora de carbono. El Consejo Europeo también respaldó el objetivo de conseguir una reducción del 30% en las emisiones de GEIs en 2020 en el caso de que otros países desarrollados se comprometiesen a una reducción comparable y que los países en desarrollo más avanzados (India, Brasil y China) contribuyesen de forma adecuada de acuerdo con sus responsabilidades y capacidades.

El Consejo Europeo también estableció un objetivo de satisfacer el 20% de las necesidades energéticas de la UE con renovables en 2020, dejando a cada país miembro decidir su política propia, de tal manera que se permitiese a la energía nuclear formar parte de sus cestas energéticas, tomando en consideración el reparto de energías renovables en los objetivos nacionales individuales. El Consejo indicó “la evaluación de la Comisión Europea de la contribución de la energía nuclear para satisfacer la preocupación creciente respecto a la seguridad del suministro y la reducción de las emisiones de CO<sub>2</sub>” y reconoció el papel de la energía nuclear como una fuente energética baja en carbono. De esta manera, en 2008 quedó aproba-

da la Directiva 20/20/20, que establecía una reducción del 20% de las emisiones de CO<sub>2</sub>, un 20% en el consumo final de energía procedente de fuentes renovables y un 20% de mejora en la eficiencia energética en 2020.

El Marco de Actuación de la Unión Europea en materia de clima y energía hasta el año 2030, aprobado por el Consejo Europeo en octubre de 2014, hace mayor hincapié en la confianza en las energías renovables para conseguir los objetivos de reducción de emisiones y reconoce el alcance de la energía nuclear para jugar un papel mayor. Se focaliza en la reducción de las emisiones de CO<sub>2</sub>, no en los medios para su consecución, y presta mayor atención a la relación coste-beneficio.

**El objetivo central es una reducción vinculante del 40% de las emisiones de GEIs en el año 2030 en comparación con el nivel de referencia del año 1990 para el conjunto de la Unión Europea, lo que requerirá un mayor compromiso por parte de los Estados Miembros.** Implica una reducción del 43% del CO<sub>2</sub> respecto a 2005 en los sectores contemplados por el Esquema de Comercio de Emisiones de la UE (ETS). También se establecen, globalmente para el año 2030, un objetivo vinculante del 27% para las energías renovables y un objetivo indicativo de mejora de la eficiencia energética de un 27%. No se contemplan objetivos nacionales en ninguno de los tres ámbitos de actuación, por lo que cada estado miembro es soberano para utilizar la tecnología que considere más adecuada para conseguirlos. En todo caso, no se fijarían hasta la celebración de COP21 en París en diciembre de 2015.



# EL PAPEL DE LA ENERGÍA NUCLEAR

En la segunda mitad de la década de 1950, la energía nuclear comenzó a utilizarse en el mundo para la producción de energía eléctrica, llegando a haber en servicio más de 570 reactores, aunque no de forma simultánea. Actualmente, el parque nuclear mundial en operación está formado por 437 reactores en 31 países, que generan alrededor del 14% de la electricidad consumida en el planeta, unos 2.400 TWh anuales. En 11 de los países, la energía nuclear suministra más del 30% de sus necesidades eléctricas, alcanzando en algunos de ellos valores superiores al 50%.

## EMISIONES DE GASES DE EFECTO INVERNADERO EVITADAS POR LA ENERGÍA NUCLEAR

Actualmente, las emisiones totales mundiales por cualquier actividad suponen más de 31 Gt CO<sub>2</sub>, de las cuales cerca de

distintas fuentes en la producción de energía eléctrica.

Durante los últimos 50 años, la utilización de la energía nuclear ha evitado la emisión de grandes cantidades de GEIs en todo el mundo, comparable a la evitada por la energía hidroeléctrica. Esto se demuestra mediante el cálculo de las emisiones de CO<sub>2</sub> evitadas por la energía nuclear, la hidroeléctrica y otras fuentes renovables en la producción eléctrica global.

La figura 2 muestra la evolución histórica de las emisiones globales del sistema eléctrico mundial y las emisiones evitadas por las diferentes tecnologías. La altura total de las columnas muestra cuáles habrían sido las emisiones totales sin las tres fuentes bajas en carbono. Los segmentos rojo, azul y amarillo muestran las emisiones anuales evitadas por la energía nuclear (2.200 Mt CO<sub>2</sub>), la energía hidroeléctrica (2.800 Mt CO<sub>2</sub>) y otras renovables (600 Mt CO<sub>2</sub>).

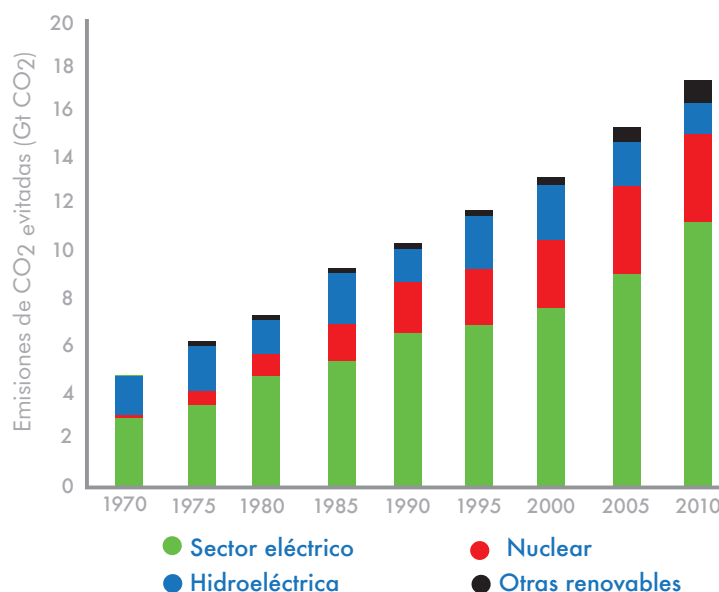


Fig. 2: Emisiones de CO<sub>2</sub> globales en el sector eléctrico mundial y emisiones evitadas por las tecnologías bajas en carbono  
Fuente: International Energy Agency (OECD), World Energy Statistics and Balances (2013)

Lógicamente, las cantidades evitadas dependen de las hipótesis sobre las tecnologías y sus proporciones que hubiesen reemplazado a las tecnologías con bajo contenido en carbono. Hubiese sido necesario aumentar la proporción relativa de producción de las centrales térmicas de carbón, petróleo y gas natural.

En el caso de España, nuestro parque nuclear, formado actualmente por 8 reactores en 6 emplazamientos, que genera un 20% de la electricidad consumida anualmente en el país, evita cada año la emisión a la atmósfera de entre 30 y 40 millones de toneladas de CO<sub>2</sub>, representando más del 34% de la electricidad libre de emisiones generada en el conjunto de nuestro sistema eléctrico.

## ANÁLISIS DEL CICLO DE VIDA DE LAS DISTINTAS TECNOLOGÍAS DE GENERACIÓN DE ELECTRICIDAD

El nuevo acuerdo de mitigación global aumentará la importancia de las tecnologías energéticas que emiten pequeñas cantidades de GEIs por unidad de energía producida. Debido a esta mayor importancia, las emisiones deben identificarse y evaluarse de forma precisa. El método más apropiado para cuantificar las emisiones totales de GEIs es el análisis del ciclo de vida (LCA), sumando todas las emisiones de GEIs de la infraestructura (desde la construcción al desmantelamiento de las centrales y todos los equipos, sistemas y componentes) y del ciclo de combustible asociado (desde la minería hasta el almacenamiento final de los residuos).

El informe *Comparison of lifecycle greenhouse gas emissions of various electricity generation sources* de World Nuclear Association de julio de 2011 realiza un análisis exhaustivo de las emisiones de gases de efecto invernadero del ciclo de vida de distintas fuentes de generación eléctrica, comparando y homogeneizando los resultados de una veintena de estudios realizados por distintos tipos de organizaciones (gobiernos, agencias especializadas, universidades, asociaciones sectoriales y compañías energéticas) de varios países del mundo.

El informe muestra que las centrales térmicas de carbón tienen las emisiones más altas entre todas las tecnologías. Aunque el gas natural y, de alguna manera, el petróleo producen menos emisiones, la biomasa, la nuclear, la hidráulica, la eólica y la solar fotovoltaica tienen emisiones en sus ciclos de vida significativamente inferiores a las centrales que se basan en la combustión de combustibles fósiles.

La tabla 1 recoge los valores inferiores, superiores y medios, expresados en toneladas de CO<sub>2</sub> equivalente por GWh de electricidad producido, para cada una de las tecnologías consideradas, representándose gráficamente esta información en la figura 3.

Las emisiones medias de la energía nuclear son un 7% de las del gas natural, y sólo el 3% de las de las centrales térmicas de carbón, teniendo el mismo orden de magnitud que las de las tecnologías renovables, incluyendo la biomasa, la hidráulica y la eólica.

FUENTE DE ENERGÍA	tCO <sub>2</sub> eq/ GWh		
	Valor Medio	Inferior	Superior
Lignito	1054	790	1372
Petróleo	733	547	935
Gas natural	499	362	891
Solar FV	85	13	731
Biomasa	45	10	101
Nuclear	29	2	130
Hidráulica	26	2	237
Eólica	26	6	124

Tabla 1. Emisiones de GEIs del ciclo de vida de distintas tecnologías de generación de electricidad  
Fuente: WNA. Comparison of lifecycle greenhouse gas emissions of various electricity generation sources (julio 2011)

Las emisiones de GEIs del ciclo de vida de la energía nuclear podrán disminuir ampliamente en el futuro debido a diferentes mejoras:

- 1 Tecnologías de enriquecimiento de uranio, pasando de la difusión gaseosa altamente intensiva en consumo eléctrico a las tecnologías de centrifugación o láser que tienen mucho menor consumo eléctrico.
- 2 La mayor proporción de electricidad producida con tecnologías bajas en carbono utilizada en el enriquecimiento.
- 3 Mejoras en la utilización del combustible, tales como el alcance de mayores grados de quemado, lo que reduce las emisiones

por unidad de energía eléctrica producida asociadas al ciclo de combustible.

- 4 La operación a largo plazo de las centrales nucleares, pasando de 40 a 60 años, con lo que se reducen las emisiones ligadas a la construcción y el desmantelamiento.

Las bajas emisiones de GEIs del ciclo de vida de la energía nuclear, la convierten en una importante opción tecnológica en las estrategias de mitigación del cambio climático para muchos países. Las cifras demuestran que la energía nuclear, junto con la hidráulica y la eólica, es una de las más bajas emisoras de GEIs en términos de toneladas de CO<sub>2</sub>eq por GWh producido.

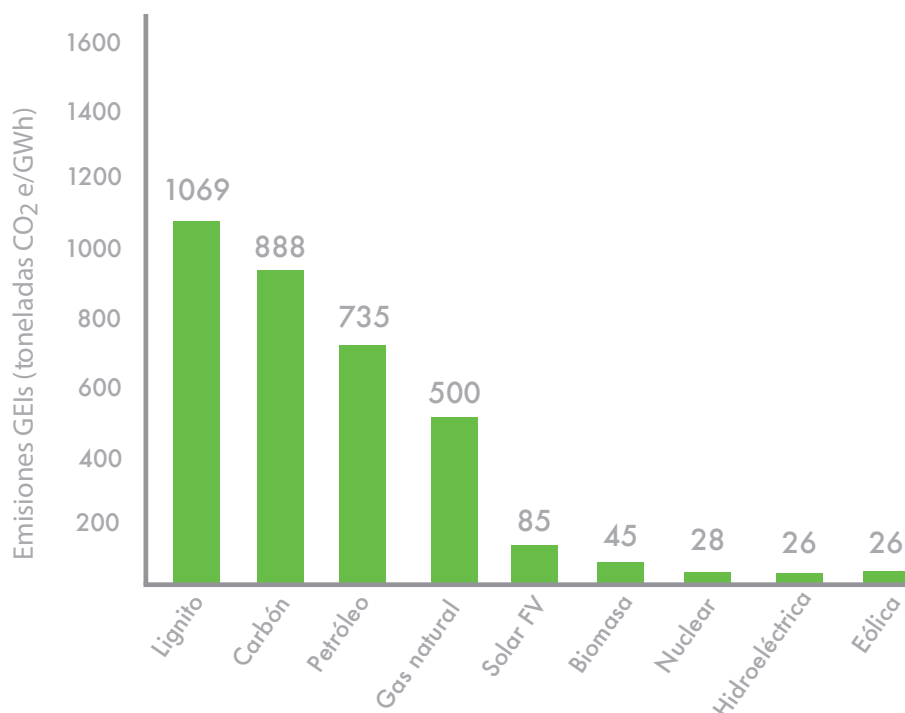


Fig. 3: Emisiones medias de GEIs del ciclo de vida de distintas tecnologías de generación de electricidad  
Fuente: WNA. Comparison of lifecycle greenhouse gas emissions of various electricity generation sources (julio 2011)

De acuerdo con el informe *Energy Technology Perspectives 2012* de la Agencia Internacional de la Energía de la OCDE, un estudio en profundidad de las diferentes tecnologías y su evolución hasta 2050 presenta un escenario de referencia denominado Escenario 6°C (6DS) en el que se extienden al futuro las políticas y tendencias actuales. Se evalúan dos escenarios: el escenario 4°C (4DS) y el Escenario 2°C (2DS), que reflejan los objetivos de limitar el incremento medio de temperatura a 4°C y 2°C respectivamente, con un mayor énfasis en el 2DS, que es consistente con el acuerdo de Copenhague del UNFCCC. El escenario 2DS plantea un camino ambicioso en el que las emisiones globales de CO<sub>2</sub> relacionadas con el uso de la energía aumentan a un máximo antes de 2020 y

descienden a casi el 50% de los niveles de 1990, alrededor de 17 Gt CO<sub>2</sub>, en 2050.

Según este Escenario 2DS, el sector eléctrico se descarbonizará sustancialmente en 2050. La contribución de varias tecnologías se presenta en la figura 4. Mejoras en el uso final de la energía, la captura y almacenamiento de carbono y la producción eléctrica nuclear representan las mayores proporciones de los mecanismos de mitigación. La energía nuclear supone 3,2 Gt CO<sub>2</sub> anuales, el 17% de las reducciones de CO<sub>2</sub> del sector energético. La energía nuclear representará, en el escenario 2DS, el 19% de la producción eléctrica global en 2050.



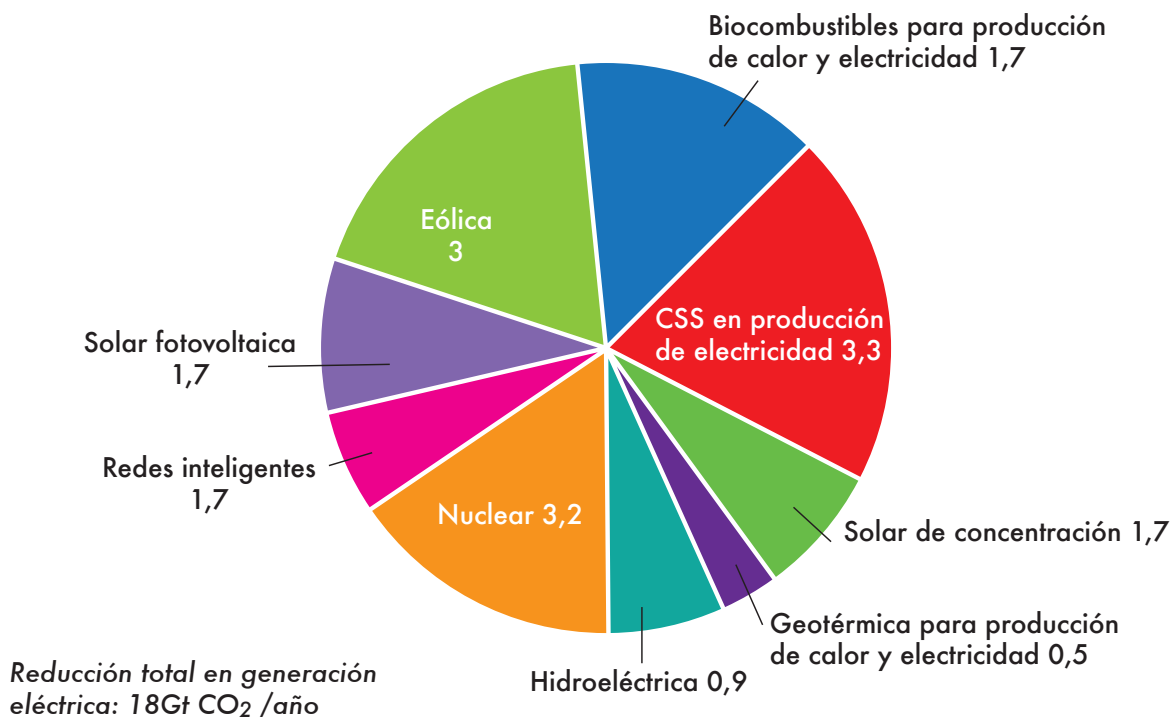


Fig. 4: Contribución de las distintas tecnologías para la reducción de las emisiones de CO<sub>2</sub> en el sector eléctrico en el año 2050  
Fuente: International Energy Agency (OECD). Energy Technology Perspectives 2012

Este informe también presenta un escenario de alto crecimiento de la energía nuclear, en el que la energía nuclear alcanza una participación del 34% de la producción eléctrica en 2050. Este escenario supone una mayor aceptación pública de la

trucción de casi el doble de los 27 GW anuales que contempla el 2DS: 50 GW cada año. También contempla un mayor suministro de combustible nuclear, a través del reciclado y la explotación de reservas no convencionales.

## SIGLAS Y ACRÓNIMOS

- ADP: Plataforma de Durban para la Acción Mejorada. Conferencia de las Partes COP 17, Durban 2011
- COP: Conferencia de las Partes
- ETS: Esquema de Comercio de Emisiones de la Unión Europea
- GEIs: Gases de efecto invernadero
- IPCC: Panel Intergubernamental sobre el Cambio Climático
- LCA: Análisis del ciclo de vida
- OCDE: Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico
- UE: Unión Europea
- UNFCCC: Convención Marco sobre Cambio Climático de las Naciones Unidas

Boix y Morer, 6 - 3º 28003 Madrid  
Tel. +34 915 536 303  
Fax +34 915 350 882  
[correo@foronuclear.org](mailto:correo@foronuclear.org)  
[@ForoNuclear](#)  
[www.foronuclear.org](http://www.foronuclear.org)

