

PANORAMA ENERGÉTICO Y ENERGÍA NUCLEAR A OCTUBRE DE 2021



GONZALO JIMÉNEZ VARAS

Profesor contratado doctor
ETSI INDUSTRIALES DE LA UNIVERSIDAD
POLITÉCNICA DE MADRID



ANTONIO GONZÁLEZ JIMÉNEZ

Director de Estudios y Apoyo Técnico
FORO DE LA INDUSTRIA NUCLEAR
ESPAÑOLA



**ALFONSO DE LA TORRE FERNÁNDEZ
DEL POZO**

Presidente de la Comisión de Terminología
SOCIEDAD NUCLEAR ESPAÑOLA

INTRODUCCIÓN

Continuando la tradición iniciada en 2008, este artículo informa sobre la aportación de la generación eléctrica nuclear al mercado energético mundial en 2020 y el detalle de resultados hasta octubre de 2021. Tras un rápido y simplificado análisis del marco energético mundial centrado en el consumo de energía primaria en 2020, se expone con mayor detenimiento lo relacionado con la producción nucleoelectrónica tanto en el mundo como en España. El artículo detalla los resultados del citado parque mundial por países y por tipos de reactor, la continuidad de operación de esas centrales, las nuevas plantas planificadas y propuestas, así como las emisiones que evitan, completándose con un comentario general que valora la situación de la energía nuclear en el ámbito energético.

CONSUMO DE ENERGÍA PRIMARIA Situación en el mundo

En datos del informe *BP Statistical Review of World Energy* de junio de 2021, el consumo mundial de energía primaria en el bienio 2019-2020 –desglosado en las distintas fuentes– se muestra en la Tabla 1.

En 2020, el **consumo** de energía primaria **alcanzó los 556,62 EJ**, con una disminución de 24,89 EJ justificada por la pandemia COVID-19. Se mantiene el protagonismo de los combustibles fósiles (462,77 EJ, 83,1 % del total). Debe destacarse que, en este escenario de crisis económica mundial, China obtiene un crecimiento apreciable (+2,1 %)

y también la tasa positiva de consumo de energías renovables (+9,7 %). En el cómputo de reparto mundial por países, los **mayores consumidores** fueron China con el 26,1 % del total y EE.UU. con el 15,8 %, sumando juntos el 42 %, seguidos a distancia por India (5,7 %), Rusia (5,1 %) y Japón (3,1 %). En la UE-28, cuyos países acumulan el 10 % del consumo total, Alemania representa el 2,2 %, Francia (1,6 %), Reino Unido (1,2 %), Italia (1,1 %) y España (0,9 %).

La **tasa de crecimiento presentó un valor negativo singular del -4,5 %, el mayor registrado desde la Segunda Guerra Mundial**, frente al valor medio de los últimos 10 años del 1,9 %. El petróleo (motivado por el sector del transporte) representa el 73 % de esta reducción de consumo mientras las energías renovables presentan un 12 % de crecimiento y la hidráulica un 2 %. Por **zonas económicas**, el crecimiento presentó tasas negativas en los países pertenecientes a la OCDE (-7,7 %), en los países no pertenecientes (-2,4 %) y en los pertenecientes a la UE-28 (-8,5 %). Por **zonas geográficas**, los mayores descensos sucedieron en América del Norte (-8,0 %) y con igual tasa Europa y América Central (-7,0 %). Al contrario, la región con el índice mayor de crecimiento y que mejor ha soportado la pandemia ha sido Asia-Pacífico (-1,6 %) seguido por Oriente Medio (-3,1 %). En el cómputo ordenado **por los cinco países con mayor peso** en el consumo mundial, las tasas alcanzadas fueron: China (2,1 %), EE.UU. (-7,7 %),

Año	Petróleo	Gas natural	Carbón	Nuclear	Hidráulica	Renovables	Total
2019	191,89	140,54	157,64	24,93	37,69	28,82	581,51
2020	173,73	137,62	151,42	23,98	38,16	31,71	556,62
%Δ 2020/2019	-9,7 %	-2,3 %	-4,2 %	-4,1 %	1,0 %	9,7 %	-4,5 %
Mix 2020	31,2 %	24,7 %	27,2 %	4,3 %	6,9 %	5,7 %	100 %

Datos en exajulios (EJ). 1 EJ = 10¹⁸ julios

Fuente: *BP Statistical Review of World Energy. June 2021* y elaboración propia.

Tabla 1. Consumo de energía primaria en el mundo.

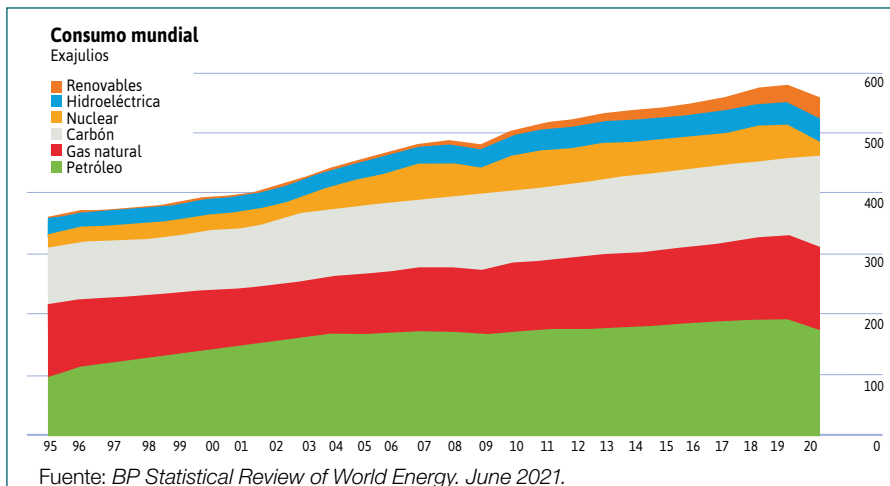


Figura 1. Evolución del consumo acumulado mundial de energía primaria por fuentes.

India (-5,9 %), Rusia (-5,5 %) y Japón (-7,5 %). En UE-28, cabe destacar las cifras de Alemania (-7,5 %), Francia (-10,3 %) y Reino Unido (-11,0 %), Italia (-9,3 %) y España (-11,4 %).

Los **combustibles fósiles** cubren el **83,1 % de la demanda con una tasa de crecimiento negativa del -5,6 %**. La demanda de **petróleo**, que representó el 31,2 % del total, tuvo una tasa de crecimiento negativa del -9,7 % en exajulios (-9,3 % medido en barriles/día). En los países pertenecientes a la OCDE -que consumen el 45,2 % del total mundial- esta tasa fue del -13,1 %, en los países no pertenecientes del -6,7 % y -13,8 % en UE-28. EE.UU. fue el mayor consumidor mundial con el 18,7 % del total, seguido por China (16,4 %) e India (5,2 %). El **carbón** le sigue en importancia con el 27,2 % del consumo global y un decrecimiento del -4,2 %. En los países no pertenecientes a la OCDE -que consumen el 81,9 % del total- esta tasa de crecimiento fue del -1,4 %, en los países pertenecientes el -15,2 % y en la UE-28 el -19,4 %. China es su mayor consumidor con el 54,3 % del total, seguido por India con el 11,6 % y EE.UU. con el 6,1 %. El gas -que supone el 24,7 % del consumo mundial- tuvo una tasa de crecimiento negativa del -2,3 %. En los países pertenecientes a la OCDE que consumen el 46,0 % del total, la tasa fue del -2,6 %, en los países no pertenecientes del -2,1 % y en UE-28 el -3,1 %.

Los mayores consumidores fueron EE.UU. (21,8 %), Rusia (10,8 %), China (8,6 %) e Irán (6,1 %).

La **energía nuclear** cubrió el 4,3 % del consumo mundial con una reducción del -4,1 %. La **energía hidráulica** creció el 1,0 % y supuso el 6,9 % del consumo mundial, y el **resto de las renovables** (eólica, solar, geotérmica y biomasa), que abastecieron el 5,7 % de la demanda, su tasa fue del 9,7 %. Respecto a las renovables, en los países de la OCDE ese crecimiento fue del 8,6 %; en los no pertenecientes del 11,2 % y en UE-28 del 6,7 %.

La Figura 1 muestra la evolución

del consumo acumulado de energía primaria en el período 1995-2020.

El precio medio del barril de petróleo Brent europeo en 2020 se situó en 41,84 dólares, depreciándose 22,37 dólares respecto al precio medio de 2019 y retrocediendo hasta el valor de 2004, acabando el año en 51,22 dólares. El precio del **uranio**, en los contratos de largo plazo, tuvo en 2020 un valor medio de 34,6 \$/lb U_3O_8 , 2,8 \$ superior al de año anterior. En los contratos de largo plazo hasta septiembre de 2020, tuvo un valor medio de 33,8 \$/lb U_3O_8 , 0,8 \$ superior al medio de 2020. Según el último informe disponible de la NEA-OCDE y el OIEA-ONU *Uranium 2020: Resources, Production and Demand*, su abastecimiento cubrirá la demanda del actual parque nuclear mundial en casi 120 años, considerando un precio de 130 \$/kg U.

Situación en España

En 2020, el **consumo de energía primaria** en España disminuyó 0,70 EJ (-13,30 %), hasta la cifra de 4,58 EJ. En la Tabla 2 se desglosa por las distintas fuentes. Destaca la reducción del carbón por el cierre de estas centrales en coherencia con la política de descarbonización para hacer frente

Año	Carbón	Petróleo	Gas	Nuclear	Renovables	Saldo eléctrico (1)	Residuos no renovables	Total
2019	0,21	2,35	1,29	0,64	0,75	0,02	0,01	5,28
2020	0,08	1,90	1,17	0,64	0,77	0,01	0,01	4,58
Δ 2020/2019	-59,86 %	-19,21 %	-9,77 %	-0,14 %	1,90 %	-52,21 %	-15,54 %	-13,30 %
Mix 2020	1,80 %	41,50 %	25,50 %	13,90 %	16,80 %	0,26 %	0,24 %	100 %

Datos en exajulios (EJ). (1) Importación menos exportación de electricidad.

Fuente: Energía 2021 Foro Nuclear y elaboración propia con datos de la Subdirección General de Estudios y Energías Renovables del MITECO. Los datos originales expresados en Mtep (millones de toneladas equivalentes de petróleo) se han convertido a EJ con el factor 1Mtep = 0,04187 EJ.

Tabla 2. Consumo de energía primaria en España.

Año	Carbón	Petróleo	Gas natural	Renovables	Residuos no renovables	Nuclear	Total
2019	0,00	0,00	0,00	0,77	0,01	0,64	1,43
2020	0,00	0,00	0,00	0,77	0,01	0,64	1,42
Autoabastecimiento 2020	3,60 %	0,10 %	0,20 %	100 %	100 %	100 %	31,10 %

Datos en exajulios (EJ).

Fuente: Energía 2021 Foro Nuclear, MITECO (hasta 2019) y Foro Nuclear (estimación 2020 con datos de MITECO, Carbuniión, CORES y Sedigas). Metodología A.I.E. Los datos originales expresados en Mtep (millones de toneladas equivalentes de petróleo) se han convertido a EJ con el factor 1Mtep = 0,04187 EJ.

Tabla 3. Producción de energía primaria en España y grado de autoabastecimiento.

al cambio climático. El *mix* de energía primaria consumido estuvo formado por los combustibles fósiles (68,8 %) y, a distancia, por las energías limpias, que sumaron el 30,9 %, correspondiendo el 13,9 % a la nuclear y el 16,8 % restante a renovables y residuos. España tuvo un saldo importador de 0,01 EJ de energía eléctrica.

La **producción nacional de energía primaria** en 2020 alcanzó 1,42 EJ, un 0,37 % inferior a la del año anterior. El **grado de autoabastecimiento** fue del 31,1 %. Esta producción se desglosa en la Tabla 3. La dependencia energética exterior española ascendió al 68,9 %, superior al valor medio del 57,9 % de la UE-28 en 2019.

País	En operación a lo largo de 2020				En operación a octubre de 2021		En construcción a octubre de 2021		Planificados a octubre de 2021		Propuestos a octubre de 2021	
	Uds.	Potencia neta (MW)	Producción neta (TWh)	% del total	Uds.	Potencia neta (MW)	Uds.	Potencia neta (MW)	Uds.	Potencia bruta (MW)	Uds.	Potencia bruta (MW)
Alemania	6	8.113	60,9	11,3	6	8.113	-	-	-	-	-	-
Arabia Saudita	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	16	17.000
Argentina	3	1.641	10,0	7,5	3	1.641	1	25	1	1.150	2	1.350
Armenia	1	375	2,6	34,5	1	415	-	-	-	-	1	1.060
Bangladés	-	-	-	-	-	-	2	2.160	-	-	2	2.400
Bélgica	7	5.930	32,8	39,1	7	5.942	-	-	-	-	-	-
Bielorrusia	1	1.110	0,3	1,00	1	1.194	1	1.110	-	-	2	2.400
Brasil	2	1.884	13,2	2,1	2	1.884	1	1.340	-	-	4	4.000
Bulgaria	2	2.006	15,9	40,8	2	2.006	-	-	1	1.000	2	2.000
Canadá	19	13.554	92,2	14,6	19	13.6244	-	-	-	-	2	1.500
Corea del Sur	24	23.123	152,6	29,6	24	23.150	4	5.360	-	-	2	2.800
China	49	47.498	330,1	4,9	51	49.569	14	13.875	37	41.660	168	196.860
Egipto	-	-	-	-	-	-	-	-	4	4.800	-	-
Emiratos A.U.	1	1.345	1,6	1,1	2	2.690	2	2.690	-	-	-	-
Eslovaquia	4	1.814	14,4	53,1	4	1.837	2	880	-	-	1	1.200
Eslovenia	1	688	6,0	37,8	1	688	-	-	-	-	1	1.000
España	7	7.121	55,8	22,2	7	7.121	-	-	-	-	-	-
Estados Unidos	94	96.553	789,9	19,7	93	95.523	2	2.234	3	2.550	18	8.000
Finlandia	4	2.794	22,4	33,9	4	2.794	1	1.600	1	1.170	-	-
Francia	56	61.370	338,7	70,6	56	61.370	1	1.630	-	-	-	-
Hungría	4	1.902	15,2	48,0	4	1.902	-	-	2	2.400	-	-
India	22	6.255	40,4	3,3	23	6.885	6	4.194	14	10.500	28	32.000
Irán	1	915	5,8	1,7	1	915	1	974	1	1.057	5	2.760
Japón	33	31.679	43,0	5,1	33	31.679	2	2.653	1	1.385	8	11.562
Jordania	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	1.000
Kazajistán	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2	600
Lituania	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2	2.700
Méjico	2	1.552	10,9	4,9	2	1.552	-	-	-	-	3	3.000
Países Bajos	1	482	3,9	3,3	1	482	-	-	-	-	-	-
Pakistán	5	1.318	9,6	7,1	6	2.332	1	1.014	1	1.170	-	-
Polonia	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	6	6.000
Reino Unido	15	8.923	45,9	14,5	13	7.833	2	3.260	2	3.340	2	2.300
República Checa	6	3.932	28,4	37,3	6	3.934	-	-	1	1.200	3	3.600
Rumanía	2	1.300	10,6	19,9	2	1.300	-	-	2	1.440	1	720
Rusia	38	28.578	201,8	20,6	38	28.578	3	3.459	27	23.725	21	20.100
Sudáfrica	2	1.860	11,6	5,9	2	1.860	-	-	-	-	8	9.600
Suecia	7	7.740	47,4	29,8	6	6.882	-	-	-	-	-	-
Suiza	4	2.960	23,0	32,9	4	2.960	-	-	-	-	-	-
Tailandia	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2	2.000
Turquía	-	-	-	-	-	-	3	3.342	1	1.200	8	9.500
Ucrania	15	13.107	71,5	51,2	15	13.107	2	2.070	-	-	2	2.400
Uzbekistán	-	-	-	-	-	-	-	-	2	2.400	2	2.400
Total	442	393.315	2.553	10,1 (1)	442	394.537	51	53.870	101	102.147	325	353.812

Fuente: PRIS-OIEA, Foro Nuclear y World Nuclear Association. (1) % del total mundial de electricidad generada (nuclear y no nuclear).

Tabla 4. Reactores nucleares en el mundo en 2020 y a primero de octubre de 2021 (en operación, en construcción, planificados y propuestos).

IMPLANTACIÓN MUNDIAL DE LA ENERGÍA NUCLEAR

Parque nuclear y generación nucleoelectrónica en 2020

A 31 de diciembre de 2020 en el mundo había **33 países** con centrales nucleares, con un total de **442 unidades en operación**, cinco menos que en el año anterior, con una potencia instalada neta total de 393.315 MW, 2.217 MW menos que el año anterior; y 51 reactores **en construcción** en 19 países, dos menos que en el año anterior, con una potencia neta total de 53.870 MW.

La **energía eléctrica neta generada** fue de 2.553 TWh, inferior a la del año anterior (2.657 TWh). Dicha generación representó el 10,1 % del total mundial de electricidad. En la UE-28, la participación eléctrica nuclear en 2020 fue cercana al 26 %.

A 31 de diciembre de 2020, la energía eléctrica neta de origen nuclear acumulada desde la conexión a la red del primer reactor nuclear en 1951 era de 85.422 TWh.

Es reseñable que de los 33 países con centrales nucleares, 18 sobrepasaron el 15 % de participación eléctrica nuclear y 13 superaron el 25 %, destacando Francia (70,6 %), Eslovaquia (53,1 %), Ucrania (51,2 %), Hungría (48,0 %), Suecia (29,8 %) y Bélgica (39,1 %); y los países con mayor número de plantas en operación eran EE.UU. (94 unidades), Francia (56), China (49), Rusia (38), Japón (33), Corea del Sur (24) e India (22).

Durante 2020, cinco reactores **se conectaron a la red**: uno en Emiratos Árabes (1.345 MW), dos en China (2.000 MW), uno en Rusia (1.066 MW) y otro en Bielorrusia (1.100 MW), seis pararon **definitivamente** (Estados Unidos (2), Francia (2), Rusia, Suecia), con una potencia total de 5.165 MW, y cuatro unidades **iniciaron su construcción** (Turquía y China (3)), con 4.473 MW.

Desde el año 2000 hasta finales de 2020, la potencia neta total instalada ha aumentado en 43.331 GW, el número de unidades en siete y la energía eléctrica generada anualmen-

te ha crecido en 38 TWh (hay que tener en cuenta las excepcionales circunstancias del año 2020 debidas a la pandemia por la COVID-19).

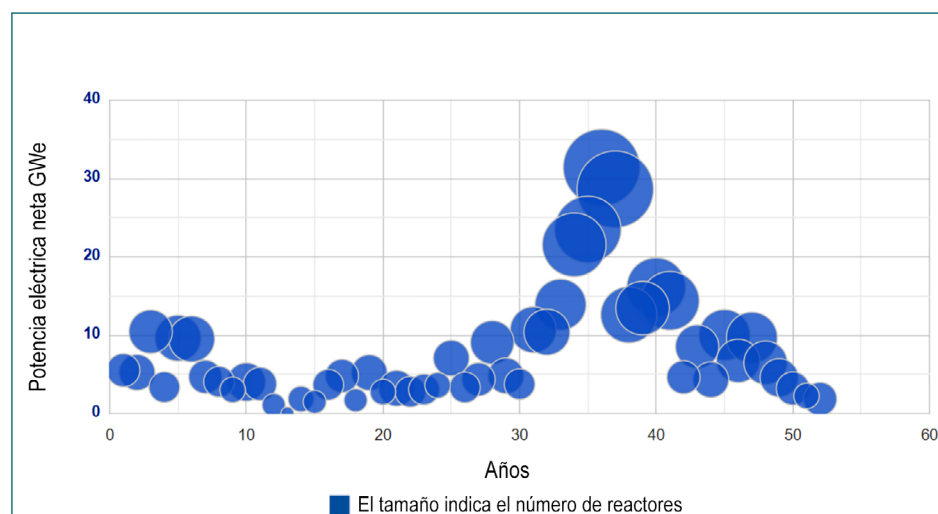
Situación a primero de octubre de 2021

En lo que va de año 2021, cinco unidades se han **conectado a la red**, dos en China, una en India, una en Pakistán y una en Emiratos Árabes Unidos, que suman 5.050 MW; cuatro han **iniciado su construcción** en Turquía (PWR, 1.114 MW) y China (3 PWR, 3.371 MW); y cinco han **cesado su operación definitivamente**: EE.UU. (PWR, 1.030 MW), Reino Unido (2 GCR, 1.090 MW), Pakistán (PHWR, 90 MW) y China (BWR, 985 MW).

Como se muestra en la Tabla 4, el parque mundial a primero de octubre de 2021 cuenta con 442 unidades **en operación**, cinco menos que en octubre 2020, con una potencia neta total de 393.315 MW. El número de reactores **en construcción** es de 51 (tres menos que el año anterior) en diecinueve países, totalizando una potencia neta de 53.870 MW.

Los 442 reactores en operación se dividen por tipo de central en seis grupos (entre paréntesis el número de unidades):

- PWR (305 unidades): incluye los reactores de agua a presión, moderados y refrigerados por agua a presión y los del tipo PWR-VVER, con una potencia total neta de 290.474 MW.
- BWR (62): reactores de agua en ebullición y los avanzados de origen estadounidense (ABWR) (con 63.137 MW).
- PHWR (48): reactores de agua a presión como refrigerante y agua pesada como moderador (con 24.463 MW).
- GCR (12): reactores refrigerados por gas y moderados por grafito de origen británico; incluye el tipo avanzado AGR (con 6.635 MW).
- LWGR (o RBMK) (12): reactores refrigerados por agua en ebullición y moderados por grafito (con 8.358 MW).
- FBR (3): reactores reproductores rápidos refrigerados por sodio (con 1.400 MW).



Fuente: PRIS-OIEA

Figura 2. Número de reactores nucleares por años de operación a primero de octubre de 2021.

La Figura 2 muestra el número de reactores por años de operación. Se aprecian dos máximos en el entorno de 33 y 39 años, correspondientes a la entrada en operación en las décadas de 1970 y 1980, como resultado del aumento en la construcción a raíz de las conocidas crisis del precio del petróleo, observándose en los últimos años un moderado repunte.

A primero de octubre de 2021 hay 51 unidades **en construcción** (53.870 MW) en 19 países: China (con 14); India (6); Rusia (3); Corea del Sur (4), Emiratos Árabes Unidos (2), Bangladés (2), Bielorrusia (1), Japón (2), Pakistán (1), Es-

Tipo de central	Unidades	Potencia neta total (MW)	Países
PWR	43	48.015	Argentina (1), Bangladés (2), Bielorrusia (1), Brasil (1), Corea del Sur (4), China (12), EÁU (2), Eslovaquia (2), EE.UU. (2), Finlandia (1), Francia (1), India (2), Irán (1), Pakistán (2), Rusia (3), Turquía (2), Ucrania (2), Reino Unido (2)
BWR	2	2.653	Japón (2)
PHWR	3	1.890	India (3)
FBR	2	1.112	India (1), China (1)
HTGR	1	200	China (1)
Total	51	53.870	19 países

Fuente: PRIS-OIEA

Tabla 5. Reactores en construcción en el mundo a primero de octubre de 2021.

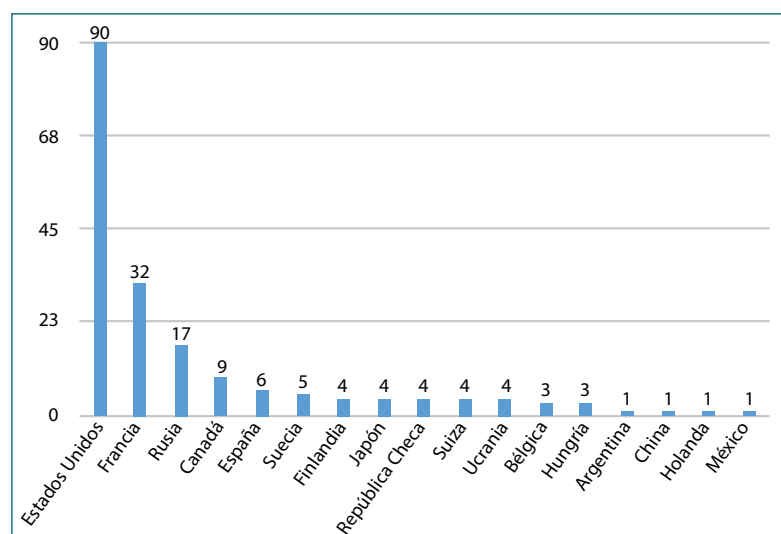
lovaquia (2), Ucrania (2), EE.UU. (2), Reino Unido (2), Turquía (3) Irán, Argentina, Brasil, Finlandia y Francia. En la Tabla 5 se muestra el número de unidades **en construcción por países y tipo de reactor**.

Autorización para la continuidad de la operación

Según datos del OIEA, la NRC y el Foro Nuclear, actualmente en Europa se aplican distintos criterios, como: la autorización de operación indefinida de Suiza y República Checa, las autorizaciones adicionales entre 15 y 30 años de Rusia

y entre 20 y 23 o hasta 2038 en Finlandia, las de 20 años en Hungría, o más de 40 años de operación, sin especificar, en Suecia; así como en Holanda y Bélgica, donde se pone límite a la explotación de sus centrales hasta los años 2033 y 2025, respectivamente, o Canadá, hasta 2028. Japón autoriza hasta 60 años de operación, y Argentina hasta 50 años a una de sus plantas. En EE.UU., 90 reactores en operación han recibido autorización hasta los 60 años; cuatro han recibido autorización para 80 años, dos en estudio de la misma autorización y cuatro han previsto su solicitud en el próximo año.

La Figura 3 muestra el estado mundial relativo a la autorización de la continuidad de la operación; un total de 189 reactores tienen autorización para más de 40 años de operación, que se desglosa de la manera siguiente:



Fuente: Foro Nuclear con datos de PRIS-OIEA, NRC, ASN, Rostechndzor/Rosatom, CNSC, MITECO, SSM, STUK, NRA/Jair, SÚJB, ENSI, FNRIU, FANC, HAEA, ARN, CNNC, ANVS y SENER (Gobierno de México).

Figura 3. Reactores en el mundo con autorización de explotación para la continuidad de su operación a primero de octubre de 2021.

Argentina (1 autorización hasta 2024), Bélgica (3 autorizaciones hasta 2025), Canadá (9 autorizaciones hasta 2028 y 2050), China (1 autorización hasta 2041), España (6 autorizaciones hasta 2027, 2028, 2030 y 2031), Finlandia (4 autorizaciones hasta 2038), Francia (32 autorizaciones para 50 años de operación), Hungría (3 autorizaciones con 20 años adicionales desde fecha de concesión), Japón (4 autorizaciones para 60 años de operación), México (1 autorización hasta 2050), Países Bajos (1 autorización hasta 2033), República Checa (4 autorizaciones con tiempo indefinido), Rusia (17 autorizaciones más allá de su período inicial de concesión), Suecia (5 autorizaciones para más de 40 años de operación), Suiza (4 autorizaciones con tiempo indefinido), Ucrania (4 autorizaciones de 20 años adicionales desde fecha de concesión) y EE.UU. (90 autorizaciones a 60 años, 6 de ellas para 80 años de operación y previsión de otras 5).

Año	Núm. de plantas operadas con datos	Factor de carga (%)	Factor de operación (%)	Factor de disponibilidad (%)	Factor de indisponibilidad no programada (%)
2015	442	73,6	75,7	75,0	3,2
2016	447	73,3	76,3	75,0	4,1
2017	449	73,0	75,2	74,2	4,8
2018	454	74,5	76,2	75,2	3,7
2019	444	73,6	77,5	76,6	4,3
2020	442	74,3	75,7	77,6	4,6
Factores integrales incluidas todas las centrales en operación y paradas desde el inicio de la operación comercial hasta finales de 2020					
Mundial	589	-	76,6	77,7	5,8
España	10	-	84,9	85,8	4,0

Fuente: PRIS-OIEA, Foro Nuclear y elaboración propia.

Tabla 6. Indicadores de funcionamiento de las centrales nucleares del mundo.

HITOS DESTACADOS DEL ÚLTIMO CURSO

Muchos eventos han acaecido en la industria nuclear desde octubre de 2020: varios temas han solicitado recurrentemente la atención. Sirvan estas líneas como breve síntesis de los hechos más notables.

Como hito más relevante, se puede destacar el gran avance de los reactores modulares pequeños (SMR por sus siglas en inglés) en todos los frentes. Los reactores modulares son reactores nucleares de menor potencia que las centrales nucleares convencionales y que están diseñados para poder instalarse y construirse de forma modular. Permiten aplicaciones hasta ahora no demasiado utilizadas por los reactores convencionales, como la cogeneración o la calefacción de distrito. Su tamaño les permite ser instalados en redes eléctricas de menor tamaño o dotar de energía a lugares remotos. Como iniciativas destacables en este último año sirven como ejemplo la del gobierno canadiense, llamada *SMR Action Plan*, la *Net Zero Research and Innovation Framework* del gobierno de Reino Unido y el plan *France 2030* anunciado por el presidente francés Macron para desarrollar un diseño propio de SMR en los próximos años con un presupuesto de 1.000 M€. En países en los que actualmente no hay parques nucleares en funcionamiento, como Australia, Estonia o Polonia, se ha mostrado mucho interés en esta tecnología. Por último, China comenzó en julio de 2021 la construcción de su primer SMR, el ACP100.

En el último año, también se han puesto reactores de Generación III/III+ en marcha, como los APR1400 de Barakah-1 y 2 en Emiratos Árabes Unidos, el VVER-1200 V-491 de Leningrad 2-2 en Rusia o el ACPR1000 de Hongyanhe-5 en China. Estos reactores son una evolución en términos de seguridad y operabilidad de los reactores de Generación II, los cuales componen la mayoría del parque nuclear mundial actualmente en operación. Algunos de los diseños, denominados como Generación III, han optado por incrementar la seguridad gracias a un mayor grado de redundancia en los sistemas de seguridad, mientras que los denominados de Generación III+ han optado por la sustitución de sistemas de seguridad activos (es decir, que necesitan corriente eléctrica alterna para funcionar) por sistemas pasivos basados en la fuerza de la gravedad. En Estados Unidos, la construcción de los AP1000 de Vogtle avanza de forma firme, la unidad 3 realizó las pruebas en caliente en junio de 2021. El reactor EPR de Olkiluoto 3, en construcción desde 2005, ha anunciado este pasado verano otro retraso en su puesta en marcha, prevista ahora para junio de 2022. Por otra parte, el reactor EPR de Flamanville ha programado su arranque para finales de 2022. Los reactores EPR de Hinkley Point C en Reino Unido continúan su construcción en plazo y tiempo.

Todos estos hitos demuestran que el desarrollo de la energía nuclear, pese a algunas dificultades innegables, continua imparable en economías de indudable protagonismo futuro, ayudando a la consolidación de esta fuente energética para alcanzar los objetivos internacionales de reducción de emisiones de CO₂.

Indicadores de funcionamiento

Una de las grandes ventajas de las centrales nucleares es su **alta disponibilidad**. En la Tabla 6 se muestran los indicadores de funcionamiento promediados por año e integrales a lo largo del tiempo de las centrales nucleares del mundo desde su conexión a la red eléctrica hasta nuestros días. Los valores integrales tienen en cuenta todas las plantas (en funcionamiento, paradas y desmanteladas) desde el inicio de su operación comercial.

En la evolución histórica de los últimos años, tras la perturbación que introdujo el accidente de Fukushima en 2011, se observa la mejora general de los indicadores de funcionamiento de las plantas a escala mundial. En España, los resultados son netamente más favorables que los de la media mundial, tanto en los valores anuales, como en los integrales, situándose entre los ocho primeros puestos.

Cierre de centrales

Desde el inicio de la explotación comercial de las plantas nucleares hasta octubre de 2021, se han parado definitivamente un total de 197 reactores nucleares en 21 países, que totalizan una potencia de 90.443 MW. Sobresalen EE.UU., con 40 unidades, Reino Unido (32), Alemania (30), Japón (27) y Francia (14). Le siguen Rusia (9), Canadá (6), Suecia (7); Italia, Bulgaria y Ucrania (4 cada uno); España y Eslovaquia (3); Lituania, Suiza y Corea del Sur (2) y Armenia, Bélgica, Kazajistán, Pakistán y Países Bajos (1).

Centrales nucleares planificadas y propuestas

De acuerdo con la World Nuclear Association (Tabla 4), actualmente existen 101 plantas **planificadas** en el mundo, con una potencia bruta total de 102.147 MW y 325 **propuestas** con 353.812 MW. Los países con más expectativas son China (205 unidades entre ambas opciones), Rusia (48), India (42), EE.UU. (21), Arabia Saudita (16), Turquía (9), Reino Unido (4), Japón (9) e Irán (6).

En la UE-27, diez países han anunciado la construcción de un total de 22 plantas y seis no prevén nuevas unidades (Alemania, Bélgica, España, Francia, Países Bajos y Suecia). Por otra parte, a escala mundial, once países (Arabia Saudita, Bangladés, Bielorrusia, Egipto, Jordania, Kazajistán, Lituania, Polonia, Tailandia, Turquía y Uzbekistán) desean iniciar sus programas nucleares, totalizando 51 plantas.

SITUACIÓN DE LA ENERGÍA NUCLEAR EN ESPAÑA

Generación en el sistema eléctrico

Según datos de Red Eléctrica de España, en 2020 la **producción eléctrica neta** en España fue de 251.159 GWh, experimentando un descenso del 3,8% respecto al año anterior, debido a la reducción de la actividad económica como consecuencia de la pandemia por la COVID-19. Las **tecnologías convencionales** (nuclear, carbón, hidráulica,

ciclo combinado y fuel/gas) representaron el 55,6 % del total, con 139.544 GWh, un 8,7 % menos que el año anterior. Esto se debió al descenso del 60,4 % en el carbón y del 20,4 % en los ciclos combinados de gas natural, que no pudieron ser compensados por el aumento del 23,9 % en la hidráulica. **El resto de tecnologías** (cogeneración, residuos, eólica, solar, turbinación de bombeo y otras renovables), con un aumento del 6,2 % –debido fundamentalmente al incremento del 65,4 % en la solar fotovoltaica–, supusieron el 44,4 % restante.

La **demanda de electricidad** sufrió un importante descenso del 5,6 % respecto al ejercicio anterior, menor al descenso del 11 % del Producto Interior Bruto –ambos consecuencia del efecto del coronavirus–, situándose en 249.819 GWh.

El **saldo eléctrico exterior** fue importador por quinto año consecutivo –frente al saldo exportador registrado entre 2004 y 2015– con 3.280 GWh, inferior en un 52,2 % al del ejercicio 2019, representando el 1,4 % de la cobertura de la demanda. El transporte de electricidad a través del enlace entre la península y las Islas Baleares fue de 1.427 GWh, representando más del 29 % de la demanda del archipiélago.

La **demanda máxima del sistema peninsular** se alcanzó en **periodo invernal** el 20 de enero a las 21 horas con 39.997 MW, un 10,9 % por debajo de la máxima histórica de diciembre de 2007.

Generación nuclear

En 2020, la **energía eléctrica neta producida por el parque nuclear español** fue de 55.757 GWh –un 0,13 % inferior a la del 2019–, lo que representó el 22,2 % del total de la producción neta del país –0,79 puntos porcentuales más que el año precedente–, a pesar de que las cuatro paradas de recarga de combustible realizadas –Almaraz I, Ascó I y II y Trillo– fueron más largas de lo habitual para tener en cuenta las medidas extraordinarias de protección sanitaria frente a la COVID-19 y de que, durante muchas horas en los meses de marzo, abril y mayo, las centrales funcionaron a un 70 % de su potencia nominal. La producción bruta fue

de 58.299,03 GWh, prácticamente igual que en el ejercicio anterior. **La tecnología nuclear fue, por décimo año consecutivo, la fuente de generación con mayor contribución al sistema eléctrico nacional.**

La **potencia eléctrica neta total instalada** a 31 de diciembre de 2020 era de 110.449 MW –prácticamente igual a la de la misma fecha del año 2019–, de los que 7.117 MW netos –el 6,44 % del total– corresponden a los siete reactores que conforman el parque nuclear. El aumento del 29,5 % de los parques solares fotovoltaicos y del 5,3 % de los eólicos compensó la disminución del parque de carbón en 3.951 MW.

La contribución en términos de potencia neta instalada y producción eléctrica neta de las diferentes fuentes de energía que constituyen el sistema eléctrico español se muestra en la Figura 4.

Plan Nacional Integrado de Energía y Clima 2021-2030

En marzo de 2021, el Gobierno de España aprobó el **Plan Nacional Integrado de Energía y Clima 2021-2030 (PNIEC)**, en el que se define un escenario objetivo según el cual los siete reactores nucleares permanecerán en funcionamiento hasta el año 2027, reduciéndose la potencia nuclear instalada a aproximadamente la mitad de la actual en el año 2030, quedando tres unidades cuya operación cesará progresivamente hasta el año 2035, según el acuerdo de marzo de 2019 entre la Empresa Nacional de Residuos Radiactivos (Enresa) y las empresas propietarias de las centrales nucleares auspiciado por el Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico (MITECO).

En este sentido, el 23 de julio de 2020, el **MITECO** –mediante Orden Ministerial TED/773/2020– **concedió la renovación de la autorización de explotación** de la unidad I de la **central nuclear de Almaraz** hasta el 1 noviembre de 2027 y de la unidad II hasta el 31 de octubre de 2028. Ese mismo día concedió la renovación de la autorización de explotación de la **central nuclear de Vandellós II** hasta el 27 de julio de 2030, mediante Orden Ministerial TED/774/2020.

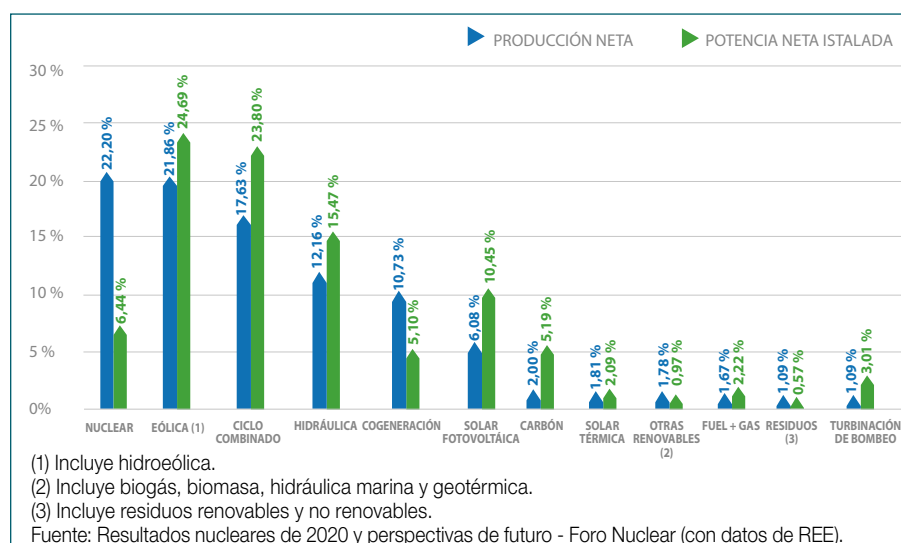


Figura 4. Estructura de la potencia y de la producción netas por fuentes en el sistema eléctrico español en 2020.

De la misma manera, el 27 de marzo de 2020, Iberdrola Generación Nuclear, S.A.U. presentó la solicitud de renovación de la autorización de explotación vigente de la **central nuclear de Cofrentes** hasta el 30 de noviembre de 2030, que ha sido concedida el 18 de marzo de 2021 mediante Orden Ministerial TED/308/2021. Igualmente, el 27 de marzo, la Asociación Nuclear Ascó-Vandellós II, A.I.E. presentó la solicitud de renovación de las autorizaciones de explotación vigentes de la unidad I de la central nuclear de Ascó hasta el 1 de octubre de 2030 y de la unidad II hasta el 2 de octubre de 2031, concedidas el 27 de septiembre de 2021 mediante las Órdenes Ministeriales TED/1084/2021 y TED/1085/2021 respectivamente.

Central	Factor de carga (%)	Factor de operación (%)	Factor de disponibilidad (%)	Factor de indisponibilidad no programada (%)	Producción bruta (GWh)
Almaraz I	77,69	80,42	79,58	1,34	7.161,30
Almaraz II	95,15	99,50	99,21	0,78	8.729,49
Ascó I	88,26	89,51	88,78	0,00	8.005,00
Ascó II	84,65	86,07	85,14	2,51	7.637,72
Cofrentes	96,40	100,00	99,42	0,16	9.247,36
Trillo	88,38	90,86	90,46	0,60	8.275,82
Vandellós II	96,78	99,64	98,33	7,13	9.242,35
Global 2020	89,94	92,39	91,64	1,58	58.299,03
Global 2019	90,10	91,79	91,06	1,70	58.395,55

Fuente: Foro Nuclear.

Tabla 7. Indicadores de funcionamiento del parque nuclear español en 2020.

El parque nuclear durante el temporal *Filomena*

En la segunda semana del mes de enero de 2021 tuvo lugar un hecho meteorológico histórico en España: el **temporal *Filomena*** hizo que gran parte del territorio del país se viera azotado por grandes nevadas –con espesores de más de 50 centímetros en el centro de ciudades como Madrid– y que descendiera la temperatura hasta valores históricos, inferiores incluso a los 30 °C bajo cero en algunas localidades de los Pirineos. Como consecuencia de ello, **la demanda de electricidad aumentó de forma proporcional**.

En los peores días del temporal –entre el 5 y 12 de enero–, la energía nuclear se mantuvo como la segunda fuente de generación en el sistema eléctrico, con el 21,77 % del total, tan solo por detrás de la energía eólica que aportó el 22,5 %.

Los siete reactores nucleares españoles funcionaron al 100 % de su potencia disponible, siendo un factor decisivo en garantizar la estabilidad del sistema eléctrico en ese periodo de máxima exigencia. En comparación, tan solo funcionó algo más del 26 % de toda la potencia eólica instalada.

Indicadores de funcionamiento

En los últimos ejercicios, **los indicadores de funcionamiento de las centrales nucleares españolas se encuentran entre los mejores del mundo**, con valores globales superiores al 90 %, lo que demuestra su fiabilidad y garantiza el funcionamiento técnico del sistema eléctrico. En la Tabla 7 se presentan los valores correspondientes al ejercicio 2020 y su comparación global con los del año anterior.

Emisiones de CO₂ y cambio climático

El **Acuerdo de París** de diciembre de 2015 de la **Convención Marco sobre el Cambio Climático de Naciones Unidas COP21**, que entró en vigor en noviembre de 2016 y al que ha vuelto a adherirse Estados Unidos tras su salida con la Administración Trump, establece mantener el aumento de la temperatura media mundial a final del presente siglo muy por debajo de 2 °C con respecto a los niveles preindustriales, siendo deseable que se mantenga por debajo de 1,5 °C.

Por su parte, en julio de 2021, **la Comisión Europea adoptó la estrategia *Fit for 55***, un paquete de propuestas para que las políticas de la Unión Europea sobre clima, energía, uso de la tierra, transporte y fiscalidad se adecúen para conseguir reducir en **2030 las emisiones netas de gases de efecto invernadero en al menos un 55 %** en comparación a los niveles del año 1990.

En 2020, según datos de BP, las **emisiones energéticas mundiales de CO₂** fueron de 31.983 Mt, con una disminución del 6,3 % respecto al año anterior, debido principalmente a la pandemia por la COVID-19. Entre los mayores países emisores figuran China (con el 30,9 % del total), Estados Unidos (13,9 %), India (7,2 %), Rusia (4,5 %) y Japón (3,2 %). Excepto en China e Irán –donde crecieron el 0,6 % y el 0,4 % respectivamente–, en las distintas regiones del mundo descendieron: Asia-Pacífico (-2,7 %), Oriente Medio (-4,0 %), Comunidad de Estados Independientes (-6,4 %), África (-8,1 %), América del Sur y Central (-9,5 %), América del Norte (-12,1 %) y Europa (-12,3 %). Esto demuestra el alcance de la ralentización económica como consecuencia del coronavirus.

Los 442 reactores nucleares en funcionamiento en el mundo evitaron la emisión a la atmósfera de más de 2.000 Mt CO₂, lo que equivale a más del 6 % del total de las emisiones vertidas a la atmósfera en el año, siendo la nuclear la segunda fuente baja en carbono tras la energía hidráulica.

La **Agencia Internacional de la Energía** publicó en mayo de 2021 el informe ***Net Zero by 2050: A Roadmap for the Global Energy Sector***, según el cual la energía nuclear contribuirá de manera significativa en la transición a un sistema energético de cero emisiones: “en el horizonte 2050 casi el 90 % de la generación eléctrica mundial provendrá de fuentes renovables; **la mayor parte del 10 % restante se generará con energía nuclear**”.

En España, según los datos disponibles del Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico y de Red Eléctrica de España correspondientes al año 2020, las emisiones brutas por cualquier actividad (usos energéticos, procesos industriales, agricultura y residuos) fueron de 299,7 millones de toneladas de CO₂, con una disminución del 4,7 % respecto al año anterior. En el sector eléctrico se produjeron 36,1 millones de toneladas de CO₂ –con una disminución del 27,8 % respecto al año anterior– debido fundamentalmente a la reducción en más de un 60 % de la producción eléctrica con carbón.

En comparación, el parque nuclear español evita cada año la emisión a la atmósfera de entre 20 y 30 millones de toneladas de CO₂, dependiendo del *mix* de generación alternativo para sustituir su producción. En 2020, la producción eléctrica libre de emisiones de CO₂ (nuclear, hidráulica, solar, eólica, turbinación de bombeo y otras renovables) fue del 67 % del total, nueve puntos porcentuales más que en el año anterior. **El parque nuclear generó más del 33 % de la electricidad limpia en España.**■