

Energía eólica



Parque eólico en Texas, Estados Unidos.

Energías renovables



Biocarburante

Biomasa

Energía geotérmica

Energía hidroeléctrica

Energía solar

Energía mareomotriz

Energía eólica

La **energía eólica** es la energía obtenida a partir del viento, es decir, la energía cinética generada por efecto de las corrientes de aire, y que es convertida en otras formas útiles de energía para las actividades humanas. El término «eólico» proviene del latín *aeolicus*, que significa «perteneciente o relativo a Eolo», dios de los vientos en la mitología griega.¹ En la actualidad, la energía eólica es utilizada principalmente para producir electricidad mediante aerogeneradores conectados a las grandes redes de distribución de energía eléctrica. Los parques eólicos construidos en tierra suponen una fuente de energía cada vez más barata y competitiva, e incluso más barata en muchas regiones que otras fuentes de energía convencionales.^{2 3} Pequeñas instalaciones eólicas pueden, por ejemplo, proporcionar electricidad en regiones remotas y aisladas que no tienen acceso a la red eléctrica, al igual que la energía solar fotovoltaica. Las compañías eléctricas distribuidoras adquieren cada vez en mayor medida el excedente de electricidad producido por pequeñas instalaciones eólicas domésticas.⁴ El auge de la energía eólica ha provocado también la planificación y construcción de parques eólicos marinos —a menudo conocidos como parques eólicos *offshore* por su nombre en inglés—, situados cerca de las costas. La energía del viento es más estable y fuerte en el mar que en tierra, y los parques

eólicos marinos tienen un impacto visual menor, pero sus costes de construcción y mantenimiento son considerablemente mayores.

A finales de 2014, la capacidad mundial instalada de energía eólica ascendía a 370 GW, generando alrededor del 5 % del consumo de electricidad mundial.^{5 6} Dinamarca genera más de un 25 % de su electricidad mediante energía eólica, y más de 80 países en todo el mundo la utilizan de forma creciente para proporcionar energía eléctrica en sus redes de distribución,⁷ aumentando su capacidad anualmente con tasas por encima del 20 %. En España la energía eólica produjo un 20,3 % del consumo eléctrico de la península en 2014, convirtiéndose en la segunda tecnología con mayor contribución a la cobertura de la demanda, muy cerca de la energía nuclear con un 22,0 %.⁸

La energía eólica es un recurso abundante, renovable y limpio que ayuda a disminuir las emisiones de gases de efecto invernadero al reemplazar fuentes de energía a base de combustibles fósiles. El impacto ambiental de este tipo de energía es además, generalmente, menos problemático que el de otras fuentes de energía.

La energía del viento es bastante estable y predecible a escala anual, aunque presenta variaciones significativas a escalas de tiempo menores. Al incrementarse la proporción de energía eólica producida en una determinada región o país, se hace imprescindible establecer una serie de mejoras en la red eléctrica local.^{9 10} Diversas técnicas de control energético, como una mayor capacidad de almacenamiento de energía, una distribución geográfica amplia de los aerogeneradores, la disponibilidad de fuentes de energía de respaldo, la posibilidad de exportar o importar energía a regiones vecinas o la reducción de la demanda cuando la producción eólica es menor, pueden ayudar a mitigar en gran medida estos problemas.¹¹ Adicionalmente, la predicción meteorológica permite a los gestores de la red eléctrica estar preparados frente a las previsibles variaciones en la producción eólica que puedan tener lugar a corto plazo.^{12 13}

Cómo se produce y obtiene

La energía del viento está relacionada con el movimiento de las masas de aire que se desplazan desde zonas de alta presión atmosférica hacia zonas adyacentes de menor presión, con velocidades proporcionales al gradiente de presión.

Los vientos se generan a causa del calentamiento no uniforme de la superficie terrestre debido a la radiación solar; entre el 1 y el 2 % de la energía proveniente del Sol se convierte en viento. Durante el día, los continentes transfieren una mayor cantidad de energía solar al aire que las masas de agua, haciendo que este se caliente y se expanda, por lo que se vuelve menos denso y se eleva. El aire más frío y pesado que proviene de los mares, océanos y grandes lagos se pone en movimiento para ocupar el lugar dejado por el aire caliente.



Parque eólico en Vendsyssel-Thy, Dinamarca.

Para poder aprovechar la energía eólica es importante conocer las variaciones diurnas, nocturnas y estacionales de los vientos, la variación de la velocidad del viento con la altura

sobre el suelo, la entidad de las ráfagas en espacios de tiempo breves, y los valores máximos ocurridos en series históricas de datos con una duración mínima de 20 años. Para poder utilizar la energía del viento, es necesario que este alcance una velocidad mínima que depende del aerogenerador que se vaya a utilizar pero que suele empezar entre los 3 m/s (10 km/h) y los 4 m/s (14,4 km/h), velocidad llamada "*cut-in speed*", y que no supere los 25 m/s (90 km/h), velocidad llamada "*cut-out speed*".

La energía del viento se aprovecha mediante el uso de máquinas eólicas o aeromotores capaces de transformar la energía eólica en energía mecánica de rotación utilizable, ya sea para accionar directamente las máquinas operatrices o para la producción de energía eléctrica. En este último caso, el más ampliamente utilizado en la actualidad, el sistema de conversión —que comprende un generador eléctrico con sus sistemas de control y de conexión a la red— es conocido como aerogenerador. En estos la energía eólica mueve una hélice y mediante un sistema mecánico se hace girar el rotor de un generador, normalmente un alternador, que produce energía eléctrica. Para que su instalación resulte rentable, suelen agruparse en concentraciones denominadas parques eólicos.

Un aerogenerador es una máquina que transforma la energía del viento en energía eléctrica aprovechable mediante unas aspas oblicuas unidas a un eje común. El eje giratorio puede conectarse a varios tipos de maquinaria para moler grano (molinos), bombear agua o generar electricidad. Cuando se usa para producir electricidad se le denomina generador de turbina de viento. Las máquinas movidas por el viento tienen un origen remoto, funcionando las más antiguas como molinos.

Historia



Molinos del siglo XVI en Consuegra

La energía eólica no es algo nuevo, es una de las energías más antiguas junto a la energía térmica. El viento como fuerza motriz se ha utilizado desde la antigüedad. Así, ha movido a barcos impulsados por velas o ha hecho funcionar la maquinaria de los molinos al mover sus aspas. Sin embargo, tras una época en la que se fue abandonando, a partir de los años ochenta del siglo XX este tipo de energía limpia experimentó un renacimiento.

La energía eólica crece de forma imparable ya en el siglo XXI, en algunos países más que en otros, pero sin duda alguna en España existe un gran crecimiento, siendo uno de los primeros países, por debajo de Alemania a nivel europeo o de Estados Unidos a escala mundial. El auge del aumento de parques eólicos se debe a las condiciones favorables de viento, sobre todo en Andalucía que ocupa un puesto principal, entre los que se puede destacar el Golfo de Cádiz, ya que el recurso de viento es excepcional.

Los primeros molinos

La referencia más antigua que se tiene es un molino de viento que fue usado para hacer funcionar un órgano en el siglo I de la era común.¹⁴ Los primeros molinos de uso práctico fueron construidos en Sistán, Afganistán, en el siglo VII. Estos fueron molinos de eje vertical con hojas rectangulares.¹⁵ Aparatos hechos de 6 a 8 velas de molino cubiertos con telas fueron usados para moler trigo o extraer agua.



Ilustración de un molino medieval (siglo XIV).

En Europa

Los primeros molinos aparecieron en Europa en el siglo XII en Francia e Inglaterra y fueron extendiéndose por el continente. Eran unas estructuras de madera, conocidas como torres de molino, que se hacían girar a mano alrededor de un poste central para extender sus aspas al viento. El molino de torre se desarrolló en Francia a lo largo del siglo XIV. Consistía en una torre de piedra coronada por una estructura rotativa de madera que soportaba el eje del molino y la maquinaria superior del mismo.

Estos primeros ejemplares tenían una serie de características comunes. De la parte superior del molino sobresalía un eje horizontal. De este eje partían de cuatro a ocho aspas, con una longitud entre 3 y 9 metros. Las vigas de madera se cubrían con telas o planchas de madera. La energía generada por el giro del eje se transmitía, a través de un sistema de engranajes, a la maquinaria del molino emplazada en la base de la estructura.

Los molinos de eje horizontal fueron usados extensamente en Europa Occidental para moler trigo desde la década de 1180 en adelante. Basta recordar los famosos molinos de viento en las andanzas de Don Quijote. Todavía existen molinos de esa clase, por ejemplo, en Holanda.¹⁶

Molinos de bombeo

En Estados Unidos, el desarrollo de molinos de bombeo, reconocibles por sus múltiples velas metálicas, fue el factor principal que permitió la agricultura y la ganadería en vastas áreas de Norteamérica, de otra manera imposible sin acceso fácil al agua. Estos molinos contribuyeron a la expansión del ferrocarril alrededor del mundo, cubriendo las necesidades de agua de las locomotoras a vapor.¹⁷

Turbinas eólicas modernas

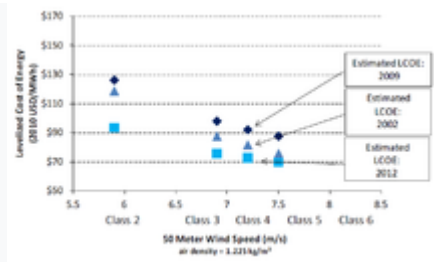
Las turbinas eólicas modernas fueron desarrolladas a comienzos de la década de los años 80 del siglo XX, si bien continuaban evolucionando los diseños.

Utilización de la energía eólica

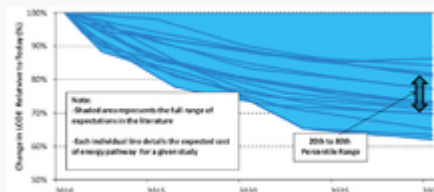
La industria de la energía eólica en tiempos modernos comenzó en 1979 con la producción en serie de turbinas de viento por los fabricantes Kuriant, Vestas, Nordtank, y Bonus. Aquellas turbinas eran pequeñas para los estándares actuales, con capacidades de 20 a 30 kW cada una. Desde entonces, la talla de las turbinas ha crecido enormemente, y la producción se ha expandido a muchos sitios.

Coste de la energía eólica[editar]

La energía eólica alcanzó la paridad de red (el punto en el que el coste de esta energía es igual o inferior al de otras fuentes de energía tradicionales) en algunas áreas de Europa y de Estados Unidos a mediados de la década de 2000. La caída de los costes continúa impulsando a la baja el coste normalizado de esta fuente de energía renovable: se estima que alcanzó la paridad de red de forma general en todo el continente europeo en torno al año 2010, y que alcanzará el mismo punto en todo Estados Unidos en 2016, debido a una reducción adicional de sus costes del 12 %.²



Coste estimado por MWh de la energía eólica en Dinamarca.



El National Renewable Energy Laboratory estima que el coste normalizado de la energía eólica en Estados Unidos disminuirá un 25 % entre 2012 y 2030.¹⁸



Un convoy que transporta palas para aerogeneradores atraviesa la localidad de Edenfield, en Reino Unido (2008). Piezas incluso mayores que la de la imagen son fabricadas por separado y posteriormente ensambladas *in situ* en la propia base del aerogenerador para facilitar su transporte.

La instalación de energía eólica requiere de una considerable inversión inicial, pero posteriormente no presenta gastos de combustible.¹⁹ El precio de la energía eólica es por ello mucho más estable que los precios de otras fuentes de energía fósil, mucho más volátiles.²⁰ El coste marginal de la energía eólica, una vez que la planta ha sido construida y está en marcha, es generalmente inferior a 1 céntimo de dólar por kWh.²¹ Incluso, este coste se ha visto reducido con la mejora tecnológica de las turbinas más recientes. Existen en el mercado palas para aerogeneradores cada vez más largas y ligeras, a la vez que se realizan constantemente mejoras en el funcionamiento de la maquinaria de los propios aerogeneradores, incrementando la eficiencia de los mismos. Igualmente, los costes de inversión inicial y de mantenimiento de los parques eólicos han descendido.²²

En 2004, el coste de la energía eólica era una quinta parte del que presentaba en los años 1980, y los expertos consideran que la tendencia a la baja continuará en el futuro próximo, con la introducción en el mercado de nuevos aerogeneradores "multi-megavatio" cada vez más grandes y producidos en masa, capaces de producir hasta 8 megavatios de potencia por cada unidad.²³ En 2012, los costes de capital de la energía eólica eran sustancialmente inferiores a los de 2008-2010, aunque todavía estaban por encima de los niveles de 2002, cuando alcanzaron un mínimo histórico.²⁴ La bajada del resto de costes ha contribuido a alcanzar precios cada vez más competitivos. Un informe de 2011 de la Asociación Americana de la Energía Eólica (*American Wind Energy Association*) afirmaba:

"Los costes de la energía eólica han caído durante los dos últimos años, situándose recientemente en el rango del 5-6 céntimos por kWh... unos dos céntimos más barato que la electricidad obtenida en plantas de carbón. (...) 5600 MW de nueva capacidad instalada están actualmente en

construcción e los Estados Unidos, más del doble que lo instalado hasta 2010. El 35 % de toda la nueva capacidad de generación construida en Estados Unidos desde 2005 proviene de la energía eólica, más que la suma de nueva capacidad proveniente de plantas de gas y carbón, ya que los proveedores de energía son atraídos cada vez más a la energía eólica como un recurso fiable frente a los movimientos impredecibles en los precios de otras fuentes de energía." ²⁵

Otro informe de la Asociación Británica de la Energía Eólica estima un coste de generación medio para la eólica terrestre de 5-6 céntimos de dólar por kWh (2005).²⁶ El coste por unidad de energía producida se estimaba en 2006 como comparable al coste de la energía producida en nuevas plantas de generación en Estados Unidos procedente del carbón y gas natural: el coste de la eólica se cifraba en \$55,80 por MWh, el del carbón en \$53,10/MWh y el del gas natural en \$52,50.²⁷ Otro informe gubernamental obtuvo resultados similares en comparación con el gas natural, en 2011 en Reino Unido.²⁸ En agosto de 2011 licitaciones en Brasil y Uruguay para compra a 20 años presentaron costos inferiores a los \$65 por MWh.

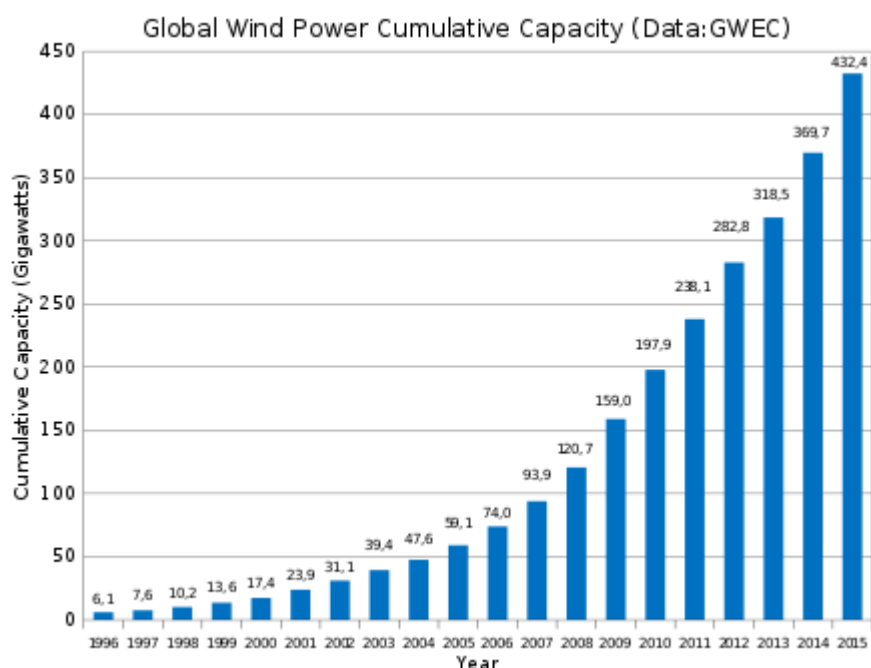
En febrero de 2013 *Bloomberg New Energy Finance* informó de que el coste de la generación de energía procedente de nuevos parques eólicos en Australia es menor que el procedente de nuevas plantas de gas o carbón. Al incluir en los cálculos el esquema de precios actual para los combustibles fósiles, sus estimaciones indicaban unos costes (en dólares australianos) de \$80/MWh para nuevos parques eólicos, \$143/MWh para nuevas plantas de carbón y \$116/MWh para nuevas plantas de gas. Este modelo muestra además que «incluso sin una tasa sobre las emisiones de carbono (la manera más eficiente de reducir emisiones a gran escala) la energía eólica es un 14 % más barata que las nuevas plantas de carbón, y un 18 % más que las nuevas plantas de gas.»²⁹

La industria eólica en Estados Unidos es actualmente capaz de producir mayor potencia a un coste menor gracias al uso de aerogeneradores cada vez más altos y con palas de mayor longitud, capturando de esta manera vientos mayores a alturas más elevadas. Esto ha abierto nuevas oportunidades, y en estados como Indiana, Michigan y Ohio, el coste de la eólica procedente de aerogeneradores de entre 90 y 120 metros de altura puede competir con fuentes de energía convencionales como el carbón. Los precios han caído hasta incluso 4 céntimos por kWh en algunos casos, y las compañías distribuidoras están incrementando la cantidad de energía eólica en su modelo energético, al darse cuenta progresivamente de su competitividad.³⁰

El coste de la unidad de energía producida en instalaciones eólicas se deduce de un cálculo bastante complejo. Para su evaluación se deben tener en cuenta diversos factores, entre los cuales cabe destacar:

- El coste inicial o inversión inicial: el coste del aerogenerador incide en aproximadamente el 60 o 70 %. El costo medio de una central eólica es, hoy, de unos 1200 euros por kW de potencia instalada y variable según la tecnología y la marca que se vayan a instalar (*direct drive*, síncronas, asíncronas o generadores de imanes permanentes).
- La vida útil de la instalación (aproximadamente 20 años) y la amortización de este costo.
- Los costos financieros.
- Los costos de operación y mantenimiento (variables entre el 1 y el 3 % de la inversión);
- La energía global producida en un período de un año, es decir, el factor de planta de la instalación. Esta se define en función de las características del aerogenerador y de las características del viento en el lugar donde se ha emplazado. Este cálculo es bastante sencillo puesto que se usan las curvas de potencia certificadas por cada fabricante y que suelen garantizarse entre el 95 y el 98 % según cada fabricante. Para algunas de las máquinas que llevan ya funcionando más de 20 años se ha llegado a alcanzar el 99 % de la curva de potencia.

Producción por países



Capacidad eólica total instalada en el mundo entre 1996 y 2014 (en Gigavatios [GW]). Fuente: GWEC

Existe una gran cantidad de aerogeneradores operando, con una capacidad total de 369 597 MW a finales de 2014, de los que Europa cuenta con el 36,3 %.³¹ China y Estados Unidos representan juntos casi el 50 % de la capacidad eólica global, mientras que los primeros cinco países (China, EE. UU., Alemania, España e India) representaron el 71,7 % de la capacidad eólica mundial en 2014.³¹

Alemania, España, Estados Unidos, India y Dinamarca han realizado las mayores inversiones en generación de energía eólica. Dinamarca es, en términos relativos, la más destacada en cuanto a fabricación y utilización de turbinas eólicas, con el compromiso realizado en los años 1970 de llegar a obtener la mitad de la producción de energía del país mediante el viento. En 2014 generó el 39,1 % de su electricidad mediante aerogeneradores, mayor porcentaje que cualquier otro país, y el año anterior la energía eólica se consolidó como la fuente de energía más barata del país.³²

La siguiente tabla muestra la capacidad total de energía eólica instalada al final de cada año (en megavatios) en todo el mundo, detallado por países. Datos publicados por el *Global Wind Energy Council* (GWEC).³³

Potencia eólica total instalada (MW) ^{34 35 36 37 38 39 40 41 42 43 44 45 46 47}											
#	País	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015
1	China	2599	5912	12 210	25 104	44 733	62 733	75 564	91 412	114 763	145 104
-	Unión Europea	48 122	56 614	65 255	74 919	84 278	93 957	106 454	117 384	128 752	

Potencia eólica total instalada (MW)^{34 35 36 37 38 39 40 41 42 43 44 45 46 47}

#	País	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015
2	 Estados Unidos	11 603	16 819	25 170	35 159	40 200	46 919	60 007	61 110	65 879	74 472
3	 Alemania	20 622	22 247	23 903	25 777	27 214	29 060	31 332	34 250	39 165	44 947
5	 India	6270	7850	9587	10 925	13 064	16 084	18 421	20 150	22 465	25 088
4	 España	11 630	15 145	16 740	19 149	20 676	21 674	22 796	22 959	22 987	23 025
6	 Reino Unido	1963	2389	3288	4070	5203	6540	8445	10 711	12 440	13 603
7	 Canadá	1460	1846	2369	3319	4008	5265	6200	7823	9694	11 205
8	 Francia	1589	2477	3426	4410	5660	6800	7196	8243	9285	10 358
9	 Italia	2123	2726	3537	4850	5797	6747	8144	8558	8663	8958
10	 Brasil	237	247	339	606	932	1509	2508	3466	5939	8715
11	 Suecia	571	831	1067	1560	2163	2970	3745	4382	5425	6025
12	 Portugal	1716	2130	2862	3535	3702	4083	4525	4730	4914	5079
13	 Dinamarca	3140	3129	3164	3465	3752	3871	4162	4807	4845	5063
14	 Polonia	153	276	472	725	1107	1616	2497	3390	3834	5100
15	 Australia ⁴⁸	651	824	1306	1712	1991	2176	2584	3239	3806	4187

Potencia eólica total instalada (MW)^{34 35 36 37 38 39 40 41 42 43 44 45 46 47}

#	País	20 06	20 07	20 08	20 09	20 10	20 11	20 12	20 13	20 14	20 15
16	 Turquía	65	207	433	801	1329	1799	2312	2958	3763	4718
17	 Rumanía	2	7	10	14,1	462	982	1905	2600	2954	3129
18	 Holanda	1571	1759	2237	2223	2237	2328	2391	2671	2805	3431
19	 Japón	1309	1528	1880	2056	2304	2501	2614	2669	2789	3038
20	 México	84	85	85	520	733	873	1370	1859	2551	3073
21	 Irlanda	746	805	1245	1260	1379	1614	1738	2049	2272	
22	 Austria	965	982	995	995	1011	1084	1378	1684	2095	
23	 Grecia	758	873	990	1087	1208	1629	1749	1866	1980	
24	 Bélgica	194	287	384	563	911	1078	1375	1651	1959	
25	 Chile	-	-	-	20	168	172	205	331	836	
26	 Noruega	325	333	428	431	441	512	704	811	819	
27	 Marruecos	64	125	125	253	286	291	291	487	787	
28	 Uruguay	-	-	-	-	-	43	56	59	701	
29	 Bulgaria	36	70	120	177	500	612	674	681	691	

Potencia eólica total instalada (MW)^{34 35 36 37 38 39 40 41 42 43 44 45 46 47}

#	País	20 06	20 07	20 08	20 09	20 10	20 11	20 12	20 13	20 14	20 15
30	 Taiwán	188	280	358	436	519	564	564	614	633	
31	 Finlandia	86	110	143	147	197	199	288	447	627	
32	 Nueva Zelanda	171	322	325	497	530	623	623	623	623	
33	 Egipto	230	310	390	430	550	550	550	550	610	
34	 Corea del Sur	176	192	278	348	379	407	483	561	609	
35	 Sudáfrica	-	-	-	-	-	-	-	10	570	
36	 Ucrania	86	89	90	94	87	151	302	371	498	
37	 Croacia	n/a	n/a	69,4	104	152	187,4	207,1	302	347	
38	 Hungría	61	65	127	201	295	329	329	329	329	
39	 Estonia	31,8	59	78	142	149	184	269	280	302	
40	 República Checa	57	116	150	192	215	217	260	269	282	
41	 Lituania	56	50	54	91	163	203	263	279	279	
42	 Argentina	-	-	-	-	-	113	167	218	271	

Potencia eólica total instalada (MW)^{34 35 36 37 38 39 40 41 42 43 44 45 46 47}

#	País	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015
43	 Panamá	-	-	-	-	-	-	-	-	270	
45	 Túnez	-	-	-	-	-	54	104	255	255	
46	 Tailandia	-	-	-	-	-	7	112	223	223	
47	 Filipinas	-	-	-	-	-	-	-	66	216	
48	 Costa Rica	-	-	74	123	119	132	147	148	198	
49	 Etiopía	-	-	-	-	-	23	81	171	171	
50	 Nicaragua	-	-	-	-	-	62	102	146	186	
51	 Honduras	-	-	-	-	-	-	102	102	152	
52	 Irán	47	67	82	91	91	91	91	91	n.a.	
53	 Sri Lanka	-	-	-	-	-	-	63	63	n.a.	
54	 Mongolia	-	-	-	-	-	-	-	50	n.a.	
55	 Venezuela	-	-	-	-	-	-	30	-	n.a.	
56	 Cabo Verde	-	-	-	-	-	24	24	24	24	
	Caribe	-	-	-	-	-	-	191	250	250	

Potencia eólica total instalada (MW) ^{34 35 36 37 38 39 40 41 42 43 44 45 46 47}											
#	País	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015
	Islas del Pacífico	-	-	-	-	-	12	12	12	12	
	Resto de Europa	-	-	-	-	-	3815	4956	5715	6543	
	Resto de Latinoamérica y Caribe	-	-	-	-	-	54	54	250	-	
	Resto de África y Oriente Medio	-	-	-	-	-	-	1165	1255	129	
	Resto de Asia	-	-	-	-	-	71	87	-	167	
	Total mundial (MW)	74 151	93 927	121 188	157 899	197 637	238 035	282 482	318 596	369 553	

Energía eólica en España

Artículo principal: Energía eólica en España



Parque Eólico "El Páramo", Alfoz de Quintanadueñas, España.



Parque eólico, con la ciudad de Lanjarón, Granada, España, al fondo.

A finales de 2014, España tenía instalada una capacidad de energía eólica de 23 002 MW, lo que supone el 21,3 % de la capacidad del sistema eléctrico nacional, la segunda fuente de energía del país por detrás del ciclo combinado con 27 199 MW.⁸ Se sitúa así en cuarto lugar en el mundo en cuanto a potencia instalada, detrás de China, EE. UU. y Alemania.³¹ Ese mismo año la energía eólica produjo 51 026 GWh, el 19,7 % de la demanda eléctrica.⁸

El 29 de enero de 2015, la energía eólica alcanzó un máximo de potencia instantánea con 17 553 MW,⁴⁹ cubriendo un 45 % de la demanda.⁵⁰

Asimismo, está creciendo bastante el sector de la minieólica.⁵¹ Existe una normativa de fabricación de pequeños aerogeneradores, del Comité Electrotécnico Internacional CEI (Norma IEC-61400-2 Ed2) la cual define un aerogenerador de pequeña potencia como aquel cuya área barrida por su rotor es menor de 200 m². La potencia que corresponde a dicha área dependerá de la calidad del diseño del aerogenerador, existiendo de hasta 65 kW como máximo.⁵²

Energía eólica en el Reino Unido

El Reino Unido cerró 2008 con 4015 MW eólicos instalados, lo que supone una presencia testimonial en su producción eléctrica. Sin embargo es uno de los países del mundo que más capacidad eólica tiene planificada, y ya ha otorgado concesiones para alcanzar los 32 000 MW eólicos marinos en sus costas:

- Dogger Bank; 9000 MW; Mar del Norte; Forewind * (SSE Renewables, RWE Npower Renewables, StatoilHydro & Statkraft)
- Norfolk Bank; 7200 MW; Mar del Norte; *Iberdrola Renovables (ScottishPower) & Vattenfall
- Mar de Irlanda; 4100 MW; Mar de Irlanda; Céntrica
- Hornsea; 4000 MW; Mar del Norte; * Mainstream Renewables, Siemens & Hochtief Construction
- Ría del Forth; 3400 MW; Escocia; SeaGreen * (SSE Renewables y Fluor)
- Canal de Bristol; 1500 MW; Costa Suroeste; RWE Npower Renewables
- Ría de Moray; 1300 MW; Escocia; * EDP Renovables & SeaEnergy
- Isla de Wight (Oeste); 900 MW; Sur; Enerco New Energy
- Hastings; 600 MW; Sur; E.On Climate & Renewables

Según la administración británica “la industria eólica marina es una de las claves de la ruta del Reino Unido hacia una economía baja en emisiones de CO₂ y debería suponer un valor de unos 75 000 millones de libras (84 000 millones de euros) y sostener unos 70 000 empleos hasta 2020”.⁵³

Energía eólica en Suecia[editar]

Suecia cerró 2009 con 1021 MW eólicos instalados y tiene planes para alcanzar los 14 000 MW en el año 2020, de los cuales entre 2500 y 3000 MW serán marinos.⁵⁴

Energía eólica en Latinoamérica



Parque eólico La Venta, ubicado en Oaxaca, México.

El desarrollo de la energía eólica en los países de Latinoamérica está en sus inicios, y la capacidad conjunta instalada en ellos, hasta finales de 2013, llega a los 4709 MW.⁴⁶ El desglose de potencia instalada por países es el siguiente:⁴⁶

- Brasil: 3456 MW
- Chile: 335 MW
- Argentina: 218 MW
- Costa Rica: 148 MW
- Nicaragua: 146 MW
- Honduras: 102 MW
- Uruguay: 339 MW y 1236 MW en fase de implementación⁵⁵
- Caribe (*): 191 MW
- Otros (**): 54 MW

(*) Incluye: Aruba, Bonaire, Curazao, Cuba, Dominica, República Dominicana, Guadalupe, Jamaica, Martinica.

(**) Incluye: Colombia, Ecuador, Perú, Venezuela.

Energía eólica en África

A finales de 2013, la potencia instalada acumulada por países del continente es la siguiente:⁴⁶

- Egipto: 550 MW
- Marruecos: 291 MW
- Etiopía: 120 MW
- Túnez: 104 MW
- Irán: 91 MW
- Cabo Verde: 24 MW
- Otros: 24 MW

Inconvenientes de la energía eólica

Aspectos técnicos



Parque eólico en Dinamarca.

Debido a la falta de seguridad en la existencia de viento, la energía eólica no puede ser utilizada como única fuente de energía eléctrica.

Este problema podría solucionarse mediante dispositivos de almacenamiento de energía eléctrica, pero hasta el momento no existen sistemas lo suficientemente grandes como para almacenar cantidades considerables de energía de forma eficiente. Por lo tanto, para salvar los valles en la producción de energía eólica y evitar apagones generalizados, es indispensable un respaldo de las energías convencionales como centrales termoeléctricas de carbón, gas natural, petróleo o ciclo combinado o centrales hidroeléctricas reversibles, por ejemplo. Esto supone un inconveniente, puesto que cuando respaldan a la eólica, las centrales de carbón no pueden funcionar a su rendimiento óptimo, que se sitúa cerca del 90 % de su potencia. Tienen que quedarse muy por debajo de este porcentaje para poder subir sustancialmente su producción en el momento en que amaine el viento. Es por ello que, cuando funcionan en este modo, las centrales térmicas consumen más combustible por kWh producido.^[cita requerida] Además, al aumentar y disminuir su producción cada vez que cambia la velocidad del viento se produce un desgaste mayor de la maquinaria.^[cita requerida] Este problema del respaldo en España se va a tratar de solucionar mediante una interconexión con Francia que permita emplear el sistema europeo como colchón de la variabilidad eólica.^[cita requerida]

Además, la variabilidad en la producción de energía eólica tiene otras importantes consecuencias:

- Para distribuir la electricidad producida por cada parque eólico (que suelen estar situados además en parajes naturales apartados) es necesario construir unas líneas de alta tensión que sean capaces de conducir el máximo de electricidad que sea capaz de producir la instalación.
- Técnicamente, uno de los mayores inconvenientes de los aerogeneradores es el llamado hueco de tensión. Ante uno de estos fenómenos, las protecciones de los aerogeneradores con motores de jaula de ardilla provocan la desconexión de la red para evitar ser dañados y consecuentemente nuevas perturbaciones en ella, en este caso, de falta de suministro. Este problema se soluciona bien mediante la modificación del sistema eléctrico de los aerogeneradores, lo que resulta bastante costoso, bien mediante la utilización de motores síncronos, aunque es bastante más fácil asegurarse de que la red a la que se va a conectar sea fuerte y estable.
- Además de la evidente necesidad de una velocidad mínima en el viento para poder mover las aspas, existe también una limitación superior: una máquina puede estar generando al máximo de su potencia, pero si la velocidad del viento sobrepasa las especificaciones del aerogenerador, es obligatorio desconectarlo de la red o cambiar la inclinación de las aspas para que dejen de girar, puesto que su estructura puede

resultar dañada por los esfuerzos que aparecen en el eje. La consecuencia inmediata es un descenso evidente de la producción eléctrica, a pesar de haber viento en abundancia, y supone otro factor más de incertidumbre a la hora de contar con esta energía en la red eléctrica de consumo.

Aunque estos problemas parecen únicos a la energía eólica, son comunes a todas las energías de origen natural:

- Un panel solar solo producirá energía mientras haya suficiente luz solar.
- Una central hidroeléctrica solo podrá producir mientras las condiciones hídricas y las precipitaciones permitan la liberación de agua, a no ser que cuente con una central de bombeo.
- Una central de energía mareomotriz solo podrá producir mientras la actividad acuática lo permita.

Aspectos medioambientales



Molinos en La Mancha, España, famosos desde la publicación de la novela *Don Quijote de la Mancha* en 1605, son un patrimonio nacional.

- Generalmente, aunque no siempre, se combina con centrales térmicas, lo que lleva a que algunas personas consideren que realmente no se ahorran demasiadas emisiones de dióxido de carbono. No obstante, hay que tener en cuenta que ningún tipo de energía renovable permite, al menos por sí sola, cubrir toda la demanda y producción de electricidad, pero sin embargo su aportación a la red eléctrica es netamente positiva desde el punto de vista del ahorro de emisiones.
- Existen parques eólicos en España en espacios protegidos como ZEPA (Zona de Especial Protección para las Aves) y LIC (Lugar de Importancia Comunitaria) de la Red Natura 2000, lo que supone un impacto natural —si bien reducido— debido a la actividad humana.
- Al comienzo de su instalación, los lugares seleccionados para ello coincidieron con las rutas de las aves migratorias o con las zonas donde las aves aprovechan vientos de ladera, lo que hace que los aerogeneradores entren en conflicto con aves y murciélagos. Afortunadamente los niveles de mortandad son muy bajos en comparación con otras causas como por ejemplo los atropellos, aunque esta afirmación es cuestionada por expertos independientes. ^[cita requerida] Actualmente los estudios de impacto ambiental necesarios para el reconocimiento del plan del parque eólico tienen en consideración la situación ornitológica de la zona. Además, dado que los aerogeneradores actuales son de baja velocidad de rotación, el problema de choque con las aves se está reduciendo significativamente.

- El impacto paisajístico es una nota importante debido a la disposición de los elementos horizontales que lo componen y la aparición de un elemento vertical como es el aerogenerador. Producen el llamado «efecto discoteca»: este aparece cuando el sol está por detrás de los molinos y las sombras de las aspas se proyectan con regularidad sobre los jardines y las ventanas, parpadeando de tal modo que la gente denominó este fenómeno «efecto discoteca». Esto, unido al ruido, puede llevar a la gente hasta un alto nivel de estrés, con efectos de consideración para la salud. No obstante, la mejora del diseño de los aerogeneradores ha permitido ir reduciendo progresivamente el ruido que producen.
- La apertura de parques eólicos y la presencia de operarios en ellos hace que la presencia humana sea constante en lugares hasta entonces poco transitados, lo que afecta también a la fauna.

Ventajas de la energía eólica

- Es un tipo de energía renovable ya que tiene su origen en procesos atmosféricos debidos a la energía que llega a la Tierra procedente del Sol.
- Es una energía limpia al no requerir una combustión, por lo que no produce emisiones atmosféricas ni residuos contaminantes, evitando así un incremento del efecto invernadero y el cambio climático.
- Puede instalarse en espacios no aptos para otros fines, por ejemplo en zonas desérticas, próximas a la costa, en laderas áridas o muy empinadas para ser cultivables.
- Puede convivir con otros usos del suelo, por ejemplo prados para uso ganadero o cultivos bajos como trigo, maíz, patatas, remolacha, etc.
- Crea un elevado número de puestos de trabajo en las plantas de ensamblaje y las zonas de instalación.
- Su instalación es rápida, entre 4 y 9 meses.
- Su inclusión en una red eléctrica permite, cuando las condiciones del viento son adecuadas, ahorrar combustible en las centrales térmicas y/o agua en los embalses de las centrales hidroeléctricas.
- Su utilización combinada con otros tipos de energía, habitualmente la energía solar fotovoltaica, permite la autoalimentación de viviendas, logrando autonomías superiores a las 82 horas y terminando así con la necesidad de conectarse a redes de suministro.
- La situación física actual dispersa en países como España permite compensar la baja producción de unos parques eólicos por falta de viento con la alta producción en otras zonas. De esta forma se estabiliza la forma de onda producida en la generación eléctrica, solventando los problemas que presentaban los aerogeneradores como productores de energía en sus inicios.
- Es posible construir parques eólicos en el mar, donde el viento es más fuerte, más constante y el impacto social es menor, aunque aumentan los costes de instalación y mantenimiento. Los parques *offshore* son especialmente importantes en los países del norte de Europa como Dinamarca.

Microgeneración de energía eólica



Una turbina helicoidal de eje vertical (llamada *Quietrevolution QR5*) en Bristol, Reino Unido. Con un diámetro de 3 m y 5 m de altura, permite generar una potencia de 6,5 kW que se vierte a la red eléctrica.

La microgeneración de energía eólica consiste en pequeños sistemas de generación de hasta 50 kW de potencia.⁵⁶ En comunidades remotas y aislada, que tradicionalmente han utilizado generadores diésel, su uso supone una buena alternativa. También es empleada cada vez con más frecuencia por hogares que instalan estos sistemas para reducir o eliminar su dependencia de la red eléctrica por razones económicas, así como para reducir su impacto medioambiental y su huella de carbono. Este tipo de pequeñas turbinas se han venido usando desde hace varias décadas en áreas remotas junto a sistemas de almacenamiento mediante baterías.⁵⁷

Las pequeñas turbinas aerogeneradoras conectadas a la red eléctrica pueden utilizar también lo que se conoce como almacenamiento en la propia red, reemplazando la energía comprada de la red por energía producida localmente, cuando esto es posible. La energía sobrante producida por los microgeneradores domésticos puede, en algunos países, ser vertida a la red para su venta a la compañía eléctrica, generando de esta manera un pequeño beneficio al propietario de la instalación que amortice la instalación.^{58 59}

Los sistemas desconectados de la red pueden adaptarse a la intermitencia del viento, utilizar baterías, sistemas fotovoltaicos o generadores diésel que complementen la energía producida por la turbina. Otros equipos, como pueden ser parquímetros, señales de tráfico iluminadas, alumbrado público, o sistemas de telecomunicaciones pueden ser también alimentados mediante un pequeño aerogenerador, generalmente junto a un sistema fotovoltaico que cargue unas pequeñas baterías, eliminando la necesidad de la conexión a la red.⁶⁰

La minieólica podría generar electricidad más barata que la de la red en algunas zonas rurales de Reino Unido, según un estudio de la organización Carbon Trust, publicado en 2010.⁶¹ Según ese informe, los mini aerogeneradores podrían llegar a generar 1,5 TWh de electricidad al año en Reino Unido, un 0,4 % del consumo total del país, evitando la emisión de 0,6 millones de toneladas de CO₂. Esta conclusión se basa en el supuesto de que el 10 % de las viviendas instalara miniturbinas eólicas a precios competitivos con aquellos de la red eléctrica, en torno a 12 peniques (unos 0,17 €) por kWh.⁵⁶ Otro informe preparado en 2006 por *Energy Saving Trust*, una organización dependiente del Gobierno de Reino Unido, dictaminó que la microgeneración (de diferente tipo: eólica, solar, etc.) podría proporcionar hasta el 30 % o 40 % de la demanda de electricidad en torno al año 2050.⁶²

La generación distribuida procedente de energías renovables se ha incrementado en los últimos años, como consecuencia de la mayor concienciación acerca de la influencia del ser humano en el cambio climático. Los equipos electrónicos requeridos para permitir la conexión de sistemas de generación renovable a la red eléctrica pueden además incluir otros sistemas de estabilidad de la red para asegurar y garantizar la calidad del suministro eléctrico.